

# ЛЕСНОЙ ВЕСТНИК / FORESTRY BULLETIN

Научно-информационный журнал

№ 5 ' 2020 Том 24

## Главный редактор

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

## Редакционный совет журнала

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

**Ковачев Атанас**, д-р архитектуры, профессор, член-корр. Болгарской АН, профессор Международной Академии

Архитектуры, Лесотехнический университет, Болгария, Варна

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

**Титов Анатолий Матвеевич**, канд. техн. наук, зам. начальника

отделения, ученый секретарь Совета ЦУП ЦНИИМАШ, Королёв

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

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

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

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

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

**Шегельман Илья Романович**, д-р техн. наук, профессор, Управление научных исследований, базовая кафедра

«Сквозные технологии и экономическая безопасность», главный научный сотрудник ПетрГУ, Петрозаводск

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

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

Ответственный секретарь Расева Елена Александровна

Редактор Л.В. Сивай

Перевод М.А. Карпухиной

Электронная версия Ю.А. Рязжской

Учредитель МГТУ им. Н.Э. Баумана

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

Свидетельство о регистрации ПИ № ФС 77-68118 от 21.12.2016

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

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

Выходит с 1997 года

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

Дата выхода в свет 25.09.2020.

Тираж 600 экз.

Заказ №

Объем 17,0 п. л.

Цена свободная

# LESNOY VESTNIK / FORESTRY BULLETIN

Scientific Information Journal  
№ 5 ' 2020 Vol. 24

## Editor-in-chief

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

## Editorial council of the journal

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

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

Assistant Editor Raseva Elena Aleksandrovna

Editor L.V. Sivay

Translation by M.A. Karpukhina

Electronic version by Yu.A. Ryazhskaya

## Founder BMSTU

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

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

It is sent for the press 25.09.2020.  
Circulation 600 copies  
Order №  
Volume 17,0 p. p.  
Price free

# СОДЕРЖАНИЕ

## ЛАНДШАФТНАЯ АРХИТЕКТУРА

<b>Бочкова И.Ю., Тулуш М.Д.</b> К вопросу об экстенсивном озеленении кровли .....	5
<b>Дормидонтова В.В., Кузнецова К.И.</b> Архитектурно-ландшафтный ансамбль Дворца пионеров на Воробьевых горах. История и современность .....	12
<b>Заигралова Г.Н., Калмыкова А.Л., Гусева Е.А., Терешкин А.В., Азарова О.В.</b> Оценка уровня адаптации лиан к воздействию неблагоприятных факторов среды в условиях г. Саратова .....	20
<b>Леонов Л.А.</b> О роли природного окружения в развитии и формировании культурных ландшафтов Гурзуфа и территории МДЦ «Артек» .....	28

## БИОЛОГИЧЕСКИЕ И ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЕ АСПЕКТЫ ЛЕСНОГО ХОЗЯЙСТВА

<b>Максимова А.Н., Карминов В.Н., Мартыненко О.В., Онтиков П.В.</b> Анализ почвенных ресурсов лесов Северо-Восточного Подмосковья на основе геоинформационных технологий .....	39
<b>Оплетаев А.С., Залесова Е.С., Белов Л.А., Иванчина Л.А.</b> Обеспеченность подростом предварительной генерации спелых и перестойных светлохвойных насаждений Осинского лесничества Пермского края .....	51
<b>Смирнов А.И., Орлов Ф.С., Васильев С.Б., Аксенов П.А., Никитин В.Ф.</b> Обработка некондиционных семян сосны Банкса ( <i>Pinus Banksiana</i> Lamb.) и сосны обыкновенной ( <i>Pinus sylvestris</i> L.) низкочастотным электромагнитным полем .....	59
<b>Бутко Г.П.</b> Экономические проблемы лесоустройства на современном этапе развития .....	66

## ДЕРЕВООБРАБОТКА И ХИМИЧЕСКАЯ ПЕРЕРАБОТКА ДРЕВЕСИНЫ

<b>Пастори Э., Горбачева Г.А., Санаев В.Г., Мохачине И.Р., Борчок Э.</b> Состояние и перспективы использования древесной коры .....	74
<b>Кононов Г.Н., Вережкин А.Н., Сердюкова Ю.В., Зайцев В.Д.</b> Микелиз древесины, его продукты и их использование. II. Биолого-морфологические процессы микологического разрушения древесины .....	89
<b>Иванкин А.Н., Зарубина А.Н., Олиференко Г.Л., Кулезнев А.С., Куликовский А.В.</b> Исследование процесса получения и подготовки к использованию экологически чистого биотоплива на основе таллового масла .....	97
<b>Серегин Н.Г., Запруднов В.И.</b> Исследования повышения несущей способности грунтов оснований методом цементации .....	104

## МАТЕМАТИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ

<b>Есаков А.М.</b> Планирование сеансов наблюдений изучаемых объектов на поверхности Земли с борта российского сегмента МКС .....	109
<b>Полещук О.М.</b> Применение нечетких множеств второго типа и Z-чисел для формализации групповой экспертной информации .....	116
<b>Ветошкин А.М., Шум А.А.</b> Строго косые проекторы и их свойства .....	122

## ЛЕСОИНЖЕНЕРНОЕ ДЕЛО

<b>Чирков Е.В., Скрыпников А.В., Козлов В.Г., Саблин С.Ю., Боровлев А.О.</b> Методы проектирования лесовозных автомобильных дорог, основанные на расчете однозначно определенной трассы .....	128
--	-----

# CONTENTS

## LANDSCAPE ARCHITECTURE

<b>Bochkova I.Y., Tulush M.D.</b> About extensive green roofs .....	5
<b>Dormidontova V.V., Kuznetsova K.I.</b> Architectural landscape ensemble of Pioneer palace on Vorobyovy gory. History and modernity .....	12
<b>Zaigralova G.N., Kalmykova A.L., Guseva E.A., Tereshkin A.V., Azarova O.V.</b> Liana adaptation level to influence of adverse environmental factors in Saratov city .....	20
<b>Leonov L.A.</b> Role of natural environment in cultural landscapes development and formation in Gurzuf city and in ICC «Artek» territory .....	28

## BIOLOGICAL AND TECHNOLOGICAL ASPECTS OF FORESTRY

<b>Maksimova A.N., Karminov V.N., Martynenko O.V., Ontikov P.V.</b> Forest soil resources analysis in north-eastern Moscow region based on geoinformation technologies .....	39
<b>Opletaev A.S., Zalesova E.S., Belov L.A., Ivanchina L.A.</b> Preliminary generation young growth of mature and overmature light-coniferous plants in Osinsky forestry Perm region .....	51
<b>Smirnov A.I., Orlov F.S., Vasil'ev S.B., Aksenov P.A., Nikitin V.F.</b> Processing of substandard seeds of Banksia pine ( <i>Pinus Banksiana</i> Lamb.) and Common pine ( <i>Pinus sylvestris</i> L.) by a low-frequency electromagnetic field .....	59
<b>Butko G.P.</b> Economic problems of forest management at current development stage .....	66

## WOODWORKING AND CHEMICAL WOOD PROCESSING

<b>Pásztory Z., Gorbacheva G.A., Sanaev V.G., Mohácsiné I.R., Börcsök Z.</b> State and prospects of tree bark use .....	74
<b>Kononov G.N., Verevkin A.N., Serdyukova Yu.V., Zaitsev V.D.</b> Mycolysis of wood, its products and their use. II. Biological and morphological processes of mycological destruction of wood .....	89
<b>Ivankin A.N., Zarubina A.N., Oliferenko G.L., Kuleznev A.S., Kulikovskiy A.V.</b> Research of the process of receiving and preparing for to use of ecologically pure biofuel on the basis of tall oil .....	97
<b>Seregin N.G., Zaprudnov V.I.</b> Research of properties of cement-soil piles of foundations of buildings and structures .....	104

## MATH MODELING

<b>Esakov A.M.</b> Planning of observation sessions of the studied objects on the surface of the Earth from the Russian segment of the ISS .....	109
<b>Poleshchuk O.M.</b> Using of type-II fuzzy sets and Z-numbers for expert group information formalization .....	116
<b>Vetoshkin A.M., Shum A.A.</b> Strictly oblique projectors and their properties .....	122

## FOREST ENGINEERING

<b>Chirkov E.V., Skrypnikov A.V., Kozlov V.G., Sablin S.Yu., Borovlev A.O.</b> Methods for designing truck haulroads based on calculation of uniquely defined route .....	128
--	-----

УДК 712.3.378

DOI: 10.18698/2542-1468-2020-5-5-11

## К ВОПРОСУ ОБ ЭКСТЕНСИВНОМ ОЗЕЛЕНЕНИИ КРОВЛИ

**И.Ю. Бочкова, М.Д. Тулуш**

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

Представлены результаты изучения приемов создания зеленых крыш экстенсивного типа от истоков до нашего времени. Исследованы исторические, историко-архитектурные, нормативные документы и литературные источники. Проанализирована история использования зеленых крыш, начиная с IX в. на примере жилищ викингов, проживавших на Фарерских островах. Выполнен сравнительный анализ исторических и современных технологий. Рассмотрены конструктивные особенности экстенсивного озеленения крыш и современные приемы экстенсивного озеленения. Приведен перечень растений, пригодных к кровельному озеленению. Даны рекомендации по применению материалов гидроизоляции из рулонных битумных и других материалов. Изложены особенности современного подхода к подбору субстратов для выращивания растений на крышах экстенсивным способом. Установлено, что современные материалы значительно снижают удельный вес конструкции, обеспечивают отличную работоспособность системы и жизнеспособность растений в течение всего срока эксплуатации крыши. Охарактеризованы проблемы технологии выращивания посадочного материала для озеленения крыш: моховые или седумные маты, выращивание растений в паллетах и мультиплатах и др.

**Ключевые слова:** зеленые крыши, экстенсивный тип, история, технологии, ассортимент растений

**Ссылка для цитирования:** Бочкова И.Ю., Тулуш М.Д. К вопросу об экстенсивном озеленении кровли // Лесной вестник / Forestry Bulletin, 2020. Т. 24. № 5. С. 5–11. DOI: 10.18698/2542-1468-2020-5-5-11

В современных реалиях зачастую городская среда при плотной застройке располагает минимальным озеленением. Решением данной проблемы является озеленение крыш зданий [1]. Первые инженерные сооружения садов на крыше, появившиеся вначале на Ближнем Востоке, где было принято строить здания с плоскими крышами, практиковались еще в глубокой древности. Их родиной считаются Ассирийское государство и Вавилонское царство. В масштабах современных застроек и нехватки пространства для озеленения в городах остро стоит вопрос о рациональном и экологически оправданном решении их организации [2].

Эксперты-экологи рассматривают зеленую кровлю в первую очередь с точки зрения ее пользы для городской экологии. В частности, при исследовании окружающей среды канадскими учеными было доказано, что одноэтажное здание с экстенсивным типом озеленения крыши (толщиной субстрата 10 см) снижает потребность в кондиционировании воздуха летом на 25 %. Растительность кровли способна задержать и частично впитать (до 50–80 %) дождевые осадки, а за год экстенсивная зеленая кровля площадью 1000 м<sup>2</sup> абсорбирует 8 кг пыли [3]. Таким образом, озеленение кровли любого дома — это реальное решение многих проблем, с которыми сталкиваются жители мегаполисов.

Озеленение крыш зданий практически не имеет ограничений и может выполняться для любого типа здания, в зависимости от особенностей проекта. Рассмотрим экстенсивное озеленение как возможный тип кровельного озеленения с ми-

нимальным агротехническим уходом [4]. Важно понять, сохранились ли старые технологии, и выявить, как они продолжают развиваться сегодня.

### Цель работы

Цель работы — изучение приемов экстенсивного озеленения, а также устойчивого ассортимента растений в условиях кровельного озеленения.

### Результаты и обсуждение

Зеленые крыши — это современный атрибут озеленения городов, используемый как инструмент планирования в эстетических и экологических целях, а именно для улучшения качества городской среды.

Озеленение крыш — представляет собой способ устройства кровли с использованием почвенного субстрата и растительности как главного элемента озеленения при частичном или полном покрытии имеющейся площади, что впоследствии образует систему жизнедеятельности в виде микроэкосистемы.

В зависимости от устойчивости конструкции и от высаживаемых растений озеленение крыш подразделяют на две группы: 1) экстенсивные; 2) интенсивные.

Они отличаются друг от друга толщиной слоя субстрата, стоимостью проведения работ и эксплуатации, видами используемых растений. Приступая к проектированию, важно выбрать одну из групп озеленения в целях расчета и планирования будущих нагрузок и создания приемлемых условий для растений [5].

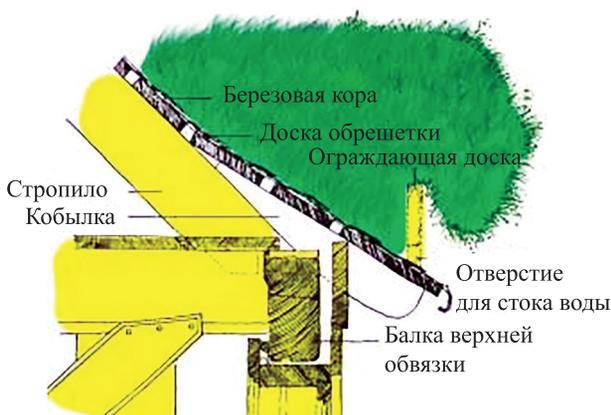


Рис. 1. Устройство крыши с травяным покрытием  
Fig. 1. Arrangement of a green roof



Рис. 2. Ограждающий элемент из доски и кругляка  
Fig. 2. Filing element made of boards and round wood

С каждым годом совершенствуются технологии озеленения крыш и используемые при этом материалы.

Впервые в Европе травяные крыши появились в Норвегии и на Фарерских островах еще в глубокой древности и до сих пор являются здесь традиционными и исторически значимыми. Несколько столетий для озеленения кровель крыш норвежцы использовали природные материалы: торф, дерн, кору березы и др. Это было удобно и экономично, вполне доступно. Особый уход для таких крыш не требовался, они служили долго и к тому же помогали замаскироваться от врагов. Потомки высоко оценили такой способ озеленения кровель и сумели сохранить их до наших дней.

Почти до начала XIX в. такой натуральный материал как дерн служил универсальным субстратом, с помощью которого озеленяли крыши домов представители всех сословий Норвегии.

На Фарерских островах дома с озелененной крышей, главным образом крестьянские, гармонично сочетались с окружающей средой, чему обязаны натуральным строительным материалам, прежде всего местные природные камни, дерн и привезенную с континента древесину. Стены таких крестьянских домов возводили из тесаных камней, а несущая конструкция представляла собой каркас из толстых досок или бревен, на который и опиралась стропильная конструкция [6]. Они были похожи на жилища исландцев, также покрытые травой. Подобную конструкцию широко применяли вплоть до XVIII–XIX вв.

Крыши с высаженными на них травами и дикорастущими делали как с висячими, так и с наклонными стропилами.

Образец исторического экстенсивного озеленения крыши представлял собой несущую стропильную конструкцию и обрешетку из необрезных досок, поверх которых укладывали дерн (рис. 1).

Взамен широко применяемой сегодня гидроизоляции из рулонных битумных или других материалов на обрешетку настилали слой березовой коры, поверх которого и укладывали в два слоя дерн или же отсыпали почвосмесь для засева ее семенами трав. Далее для защиты травяного покрытия от эрозии использовали ветровую доску. Крепили ее деревянными нагелями, а от влаги укрывали березовой корой. Иногда вместо коры использовали горизонтально уложенную укрывную доску.

При озеленении крыш немаловажное значение имеет их уклон, который зависит и от ширины дома и от конструкции кровли, поскольку именно уклон обеспечивает стекание жидких атмосферных осадков, а выстланные слои дернины не скатываются вниз.

Так, в южных и западных регионах Норвегии при возведении крыш с висячими стропилами длину стропил брали равной  $3/5$  от ширины дома. В этом случае наклон скатов крыши составлял 22 град.

При сооружении крыши с наклонными стропилами наклон скатов определяли по отношению высоты крыши в коньке к ширине дома. Например, при наклоне скатов  $33^\circ$  этот параметр составляет  $1/5$ .

Согласно рекомендациям современных норвежских специалистов, оптимальный наклон скатов крыш с травяным покрытием составляет 20...27 град. В регионах, где выпадает большое количество осадков, не рекомендуется строить озеленяемые крыши с наклоном скатов менее 18 град. Таким образом, уклон крыш старинных домов на Фарерских островах достигал иногда даже  $45^\circ$ , что оправдано обильными атмосферными осадками в этом регионе.

При наклоне скатов более  $23^\circ$  следует принимать дополнительные меры, предотвращающие сползание дерна. Во избежание этого непременным конструктивным элементом зеленых крыш были ограждения. Их функцию традиционно выполняли уложенные по свесам дерноограждающие брусья или доски — так называемые дернодержатели (рис. 2).

Как видно из рис. 2, в качестве ограждающего элемента используется бревно, поддерживаемое закрепленным под обрешеткой упорным крюком. Врубленный в бревно верхнего венца упорный крюк закреплен под обрешеткой, а сам кругляк полностью лежит на березовой коре. Кругляк, в свою очередь, также обкладывают березовой корой. Несмотря на наличие такой влагозащиты, дернодержатели периодически заменяли.

Для обеспечения беспрепятственного стока дождевой воды со скатов крыш следовало не только правильно выбрать форму дернодержателей, но и соответствующим образом прикрепить их к обрешетке. Исходя из этого на нижней кромке доски через каждые 20 см делали отверстия, или прорези, размером  $3 \times 3$  см. На стороне контактирования с дерном их расширяли, придавая форму воронки. Иногда устанавливали дернодержатели и без сточных отверстий. В этом случае их крепили так, чтобы они на 2...3 см выступали за пределы свесов. Для этого использовали, как правило, упорные стальные уголки, которые привинчивали шурупами к обрешетке.

Для увеличения срока службы крыши непосредственно на конструкцию кровли укладывали полосы березовой коры с напуском одну на другую в качестве гидроизолирующего слоя. Кору укладывали наружной стороной вниз, поскольку внутренняя ее сторона обеспечивает более эффективную защиту обрешетки от содержащейся в почве смеси сигуминовых кислот. При этом выпущенные из-под ограждающего бруса и напущенные на него полосы бересты укладывали наружной стороной вверх в 5–8 слоев для обеспечения эффективного отвода воды и защиты от увлажнения дернодержателя и концевых частей досок обрешетки. К тому же кора, уложенная наружной стороной вверх, служила важным декоративным элементом (рис. 3).

Слабое место крыш с травяным покрытием — это проемы (в частности, для дымовых труб). Во избежание стока воды по стенкам трубы внутрь дома в ее кладку замуровывали каменные плиты, выступающие за пределы трубы. Одновременно под эти плиты клали листы березовой коры, отводившие поток воды на крышу. Каменные плиты со стороны скатов располагали ступенчато, что способствовало более эффективному отводу от стенок трубы дождевой или талой воды [7].

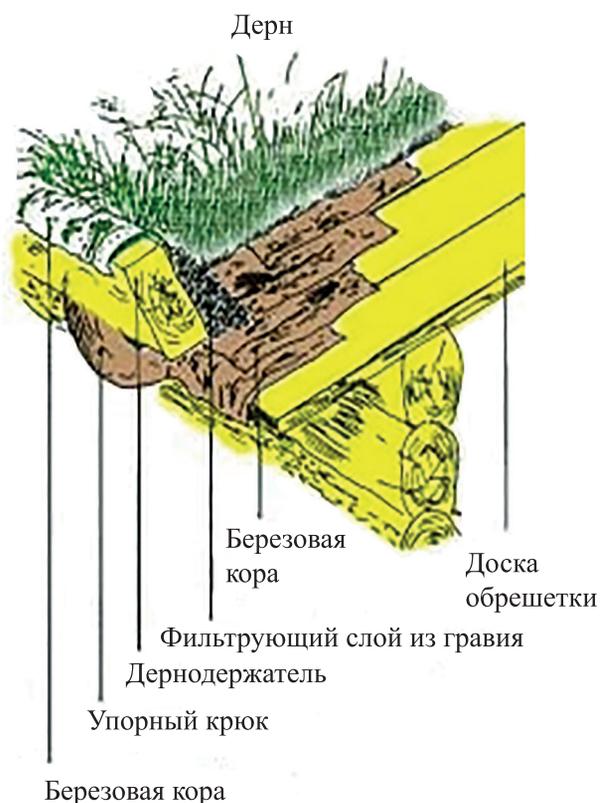


Рис. 3. Устройство гидроизоляции  
Fig. 3. Waterproofing device

Экстенсивное озеленение крыш пользовалось большим спросом продолжительное время. Как экономически и экологически выгодный этот способ озеленения сохранил популярность и до настоящего времени. Однако взамен настилам из березовой коры сегодня широко применяется гидроизоляция из рулонных битумных или других материалов. В современном исполнении масса конструкции при экстенсивном озеленении является более облегченной, кроме того, искусственный субстрат максимально тонкий и состоит в основном из минеральной фракции колотого керамзита и небольшой по объему и массе фракции торфа, т. е. толщина насыпного грунта составляет 6...15 см, при этом нагрузка на крышу — от  $70 \text{ кг/м}^2$ . В водонасыщенном состоянии нагрузка при экстенсивном озеленении кровли составляет  $80...160 \text{ кг/м}^2$  [8].

*Современная конструкция экстенсивной кровли.* Строение современной конструкции при экстенсивном озеленении кровли представлено определенной последовательностью слоев (снизу вверх) (рис. 4):

- 1) несущая конструкция верхнего покрытия, кровельный настил;
- 2) гидроизоляция;
- 3) защитный слой;
- 4) противокорневой слой;



Рис. 4. Структура зеленой крыши экстенсивного типа [10]  
Fig. 4. Extensive green roof structure [10]

- 5) защитный (накопительный) слой;
- 6) дренажный слой;
- 7) фильтрующий слой;
- 8) облегченный субстрат;
- 9) почвопокровные растения, не требующие высоких эксплуатационных расходов [9].

*Гидроизоляция* необходима для всех типов кровель. К ней предъявляются повышенные требования, поскольку это важнейшее условие задержания воды, а значит, и долговечности всей конструкции кровли [11].

*Противокорневой слой* можно создать с помощью таких материалов, как мембрана FLW-800 и FLW-500. Противокорневые материалы необходимы для всех типов кровель, где нет строительного корневого барьера. При склейке полотнища с перехлестом до 1,5 м, особое внимание уделяется местам примыканий, окончаний и отверстий в кровле.

Для *влагонакопительного эффекта* используются маты VLS-300. Материал удерживает до 5 л воды на 1 м<sup>2</sup>. Маты укладывают исключительно на чистую поверхность с нахлестом в 10...15 см [12].

Для стабилизации и отведения избыточной влаги применяются ячеистые дренажные элементы марки DiaDrain-25h, DiaDrain-40h, DiaDrain-60. Конструкция дренажных элементов обеспечивает вентиляцию корневого слоя и материалов кровли.

Фильтрующий слой предотвращает вымывание частиц субстрата в дренажный элемент, но доступен для проникновения корней. Укладывается с нахлестом минимум 10 см, напуски заводятся в вертикальном направлении, но не должны выходить за пределы субстрата [13].

*Требования к субстрату.* При проектировании зеленой крыши использование обычной почвы не допускается. Почва быстро уплотняется, перекрывая доступ кислорода к корням растений, а также возрастает риск заиливания дренажной системы. В связи с этим, при озеленении крыш

предпочтение отдается почвенным смесям, которые именуются субстратом. В настоящее время выделяют два вида субстратов: 1) сыпучие, состоящие из минеральной и органической частей (компост + перегной); 2) плитные.

Плиты производят на основе пиломатериалов либо искусственных волокон, которые спрессовываются из смеси глины, торфа, и питательных веществ во влажном состоянии. Плиты отлично подходят для посадки почвопокровных и низких стелющихся растений. Такие плиты обладают предельно малой массой в сухом состоянии и имеют прекрасные абсорбирующие функции во влажном. Однако их можно применять только в условиях постоянного увлажнения [14].

Сыпучие субстраты обладают многокомпонентным составом. Количество компонентов может достигать 15–20. Это — перлит, керамзит или вермикулит, кирпичная крошка, компост и др.

Выбор субстрата важно осуществлять в соответствии требованиями для создания благоприятных условий на озеленяемой кровле, что является ключевым пунктом при этом. Субстрат должен обладать такими свойствами, как пористость, влагоемкость, воздухопроницаемость, и не должен подвергаться влиянию ветровой эрозии.

Рекомендуемое содержание органических веществ в субстрате — от 6 до 12 % по массе. При экстенсивном озеленении допускается применение субстрата по нижней границе. Однако есть растения, для которых органических веществ вовсе не требуется, в частности мхи и отдельные виды седумов, способных селиться на минеральной части субстрата.

Важны и характеристики гранулометрического состава субстрата: содержание глины должно составлять не более 20 %, фракция частиц от 0,05 до 10...15 мм.

Рекомендуется использовать граненные структуры минеральной основы, что обеспечивает проседание субстрата не более на 10 % относительно общей толщины слоя.

Что касается влагоемкости, то ее значение не должно превышать 65 % во избежание замокания растений. Удержание влаги происходит как за счет собственных пор минерального материала, так и за счет пространства между материалами.

Очень важно профессионально подойти к выбору субстрата, ведь именно он обеспечивает отличную работоспособность системы и жизнеспособность растений в течение всего срока эксплуатации крыши.

Такая конструкция кровли имеет как положительные, так отрицательные факторы. Кровля при экстенсивном озеленении достаточно экономична в монтаже и техническом обслуживании, поскольку предусматривает не более двух инспекций в год.

**Группы растений для экстенсивного озеленения крыш**  
**Plants for extensive green roof landscaping**

Группа растений	Русское название	Латинское название
Очитки	Очиток едкий	<i>Sedum acre</i>
	Очиток ложный	<i>Sedum spurium</i>
	Очиток шестигранный	<i>Sedum sexangulare</i>
	Очиток камчатский	<i>Sedum kamschaticum</i>
	Очиток белый	<i>Sedum album</i>
	Очиток гибридный	<i>Sedum hybridum</i>
Молодило	Молодило кровельное	<i>Sempervivum tectorum</i>
	Молодило отпрысковое	<i>Sempervivum soboliferum</i>
Злаки	Овсяница красная	<i>Festuca rubra</i>
	Щучка дернистая	<i>Deschampsia cespitosa</i>
	Вейник остроцветковый	<i>Calamagrostis acutiflora</i>
	Ячмень гривастый	<i>Hordeum jubatum</i>
Многолетники	Тысячелистник обыкновенный	<i>Achillea millefolium</i>
	Кошачья лапка двудомная	<i>Antennaria dioica</i>
	Гвоздика-травянка	<i>Dianthus deltoides</i>
	Коровяк высокий	<i>Verbascum densiflorum</i>
	Шнитт-лук	<i>Allium schoenoprasum</i>
	Мышиный горошек	<i>Vicia cracca</i>
	Нивяник обыкновенный	<i>Leucanthemum vulgare</i>
Шалфей дубравный	<i>Salvia nemorosa</i>	

Она характеризуется небольшой глубиной почвенного субстрата, за счет чего снижается удельный вес конструкции, но приводит к ограничению ассортимента высаживаемых растений [15].

*Ассортимент растений для экстенсивных крыш.* Используются растения с высокой зимостойкостью, засухоустойчивостью, устойчивостью к изменениям температуры, способностью накапливать влагу в листьях и стеблях. Крыши, озелененные экстенсивным способом, характеризуются не только плотной дерниной, обеспечивающей надежную теплоизоляцию, но и высокой декоративностью. Для этого используются суккуленты, мхи, луковичные, злаковые растения и травянистые многолетники. Подробный ассортимент растений, рекомендуемый для экстенсивного типа озеленения приведен в таблице [16].

*Технологии выращивания посадочного материала.* В европейских странах чаще всего экстенсивное озеленение крыш осуществляется рулонным способом. Схожим способом выращивают седумы на кокосовом волокне. Для закладки площадки используют кокосовое волокно — маты. Стандартные размеры 60×200 см и

120×100 см, толщина — 2...4 см, масса полотна с растениями — 15 кг/м<sup>2</sup>. Маты прошиты армирующей пластиковой арматурой. Кокосовое волокно укладывают на геотекстиль. Далее на этот слой сеялкой вносится удобрение. За ней идет машина (пескоразбрасыватель), которая наносит тонким слоем субстрат — не более 2 см. Вслед за этим происходит посев седумов. Для такого способа посева не нужны маточки. По типу газонокосилки скашиваются укоренившиеся маты, материал остается в сборнике, оставшиеся обрезки высеваются вновь.

Листья седума неприхотливы, укореняются в течение 2...6 мес (в зависимости от сезона). В среднем на готовность газона уходит один сезон. Осенью материал уже укореняется. При реализации точно так же, как и при выращивании рулонного газона, материал срезается и закатывается в рулоны. Таким образом создаются целые поля на кокосовом волокне [17].

Также для создания экстенсивной кровли применяются мультиплеты. Размеры боксов бывают двух вариантов: 450×495 и 500×600 мм. Сегменты забиваются субстратом, где идет посев почвопокровных. Как правило, высевается смесь от 10 до 14 сортов седумов. Делается выбор в пользу большего количества сортов, потому что в процессе зимовки, в особенности для неэксплуатируемых крыш, так как некоторые седумы очень плохо выходят из зимы. В период вегетации они могут восстанавливаться и зарастать, но чтобы крыша все время смотрелась декоративно, рекомендуется использовать несколько сортов.

Конструкция продумана и рассчитана таким образом, чтобы необходимый запас влаги сохранялся постоянно, растения не пересыхали и не требовали дополнительного полива. Во время обильных осадков влага выводится за счет небольших микропор на дне конструкции. В связи с этим такие конструкции можно укладывать прямо на крышу без дополнительного ухода и полива [18].

Кроме почвопокровных седумов во Франции очень модно создавать и вводить в ландшафт фрагменты из почвопокровных многолетников. Фрагменты выращиваются в поддонах фирмы Vuzon. Выбираются многолетники, которые декоративны весь сезон: ясколка Биберштейна, гвоздика, овсяница, душица карликовая и др. Очень часто такие фрагменты используются на автомобильных стоянках. Если этот материал используется не для эксплуатируемых крыш, то растения вытаскивают из поддона и закладывают в субстрат [19].

Еще одним развивающимся способом создания экстенсивных кровель являются моховые маты, разрабатываемые по немецким технологиям. В защиту данной технологии можно привести многочисленные экологические свойства

моховых матов. Доказано, что мхи увлажняют воздух, медленно испаряя накопленную влагу, удерживают мелкую пыль и превращают ее минеральные компоненты в фитомассу, поглощают газообразные и водные загрязнители воздуха, особенно соединения азота, а также углекислый газ, снижая парниковый эффект.

Чисто моховые маты иногда оспариваются, поскольку у них узкая специализация. Так называемая моховая штукатурка создается при использовании матов мхов-седумов, мхов-трав. Везде присутствуют мхи, так как они формируют полноценный биотопный компонент.

Приведем основные виды мхов, используемые для этих целей, по рекомендациям немецких специалистов: Цератодон пурпурный (*Ceratodon purpureus*) и Бриум серебристый (*Bryum argenteum*), так называемые кочковые мхи. Эти два вида космополита, они присутствуют практически на всем Европейском континенте и в Азии [20].

## Выводы

В настоящее время дни зеленые крыши приобретают актуальность в многонаселенных городах и на территориях, подверженных пагубному антропогенному воздействию. Современные сады на крышах — возможность вернуть городу утраченную площадь, занятую застройкой [21]. Значительно расширился ассортимент растений, изменились как технологии озеленения крыш, так и используемые для этого материалы. Знаковым элементом Фарерского архипелага по-прежнему являются дерновые крыши, но во всем мире взамен настилам из березовой коры сегодня используется гидроизоляция из рулонных битумных материалов. Существует выбор между технологиями устройства зеленой крыши — применение моховых или седумных матов, мультиплат или поддонов с многолетниками. Исключается использование почв, применяются лишь субстраты. Применение субстрата значительно уменьшает нагрузку от зеленой крыши на несущие конструкции здания и увеличивает жизнеспособность растений.

## Список литературы

[1] Булдакова Е.А. Современные приемы организации зеленых зон в уплотненной застройке города // Современные научные исследования и инновации, 2012.

- № 5. URL: <http://web.snauka.ru/issues/2012/05/12660> (дата обращения: 02.02.2020).
- [2] Малинина Т.А., Ткач Е.В. Зеленые крыши городского ландшафта // Молодой ученый, 2019. № 48 (286). С. 74–76. URL: <https://moluch.ru/archive/286/64522/> (дата обращения 19.04.2020).
- [3] Зеленые крыши. URL: <http://www.greenroof.pro> (дата обращения 10.04.2020).
- [4] Зеленые крыши // Архитектон: известия вузов, 2012. № 38. URL: [http://www.archvuz.ru/2012\\_22/751](http://www.archvuz.ru/2012_22/751) (дата обращения 12.04.2020).
- [5] Все о крышах. URL: <http://www.krovportal.ru/krovlya/naturalnye-materialy/zelenaya-krysha-texnologiya/ustrojstva-travyanoj-krovli/> (дата обращения 12.04.2020).
- [6] Голлвитцер Г., Вирсинг В. Сады на крышах. М.: Стройиздат, 1972. С. 117.
- [7] Все о архитектуре. URL: [http://www.landscape.totalarch.com/search\\_new\\_forms\\_landscape\\_architecture/6](http://www.landscape.totalarch.com/search_new_forms_landscape_architecture/6) (дата обращения 13.04.2020).
- [8] Достоинства и недостатки зеленой крыши. URL: <http://www.gidproekt.com/ustrojstvozelenoj-krovli-konstrukciya-vidy-dostoinstva-i-nedostatki-ozeleneniya-kryshi> (дата обращения 13.04.2020).
- [9] Структура системы экстенсивной крыши. URL: <http://www.stroypodskazka.ru/krysha/zelenaya/> (дата обращения 15.04.2020).
- [10] Зеленые кровли. URL: <http://www.ecosoil.ru> (дата обращения 15.04.2020).
- [11] Панова Е.А. Современные строительные товары. М.: Траст Пресс, 1999. 192 с.
- [12] Битумные материалы. URL: <http://www.teremkatalog.com/ekstensivnaya-sistema-zelenyh-krysh/> (дата обращения 15.04.2020).
- [13] Создай жизнь на крыше. URL: <https://www.zinco.ru/systems> (дата обращения 15.04.2020).
- [14] Субстрат. URL: <http://s-terrace.ru/products/sub-grnroof> (дата обращения 16.04.2020).
- [15] Сердюк Я.В., Воропаева О.В. Современные технологии озеленения в архитектуре // Известия вузов Воронежский ГТУ, 2017. № 1. С. 7–14.
- [16] Donnelly M.C. Architecture in the Scandinavian countries. Cambridge (Mass.) ; London : MIT press, cop. 1992, p. 401.
- [17] Osmundson T. The Changing Technique of Roof Garden Design // Landscape Architecture, 1979, v. 69, no. 5. p. 239.
- [18] Osmundson T. Roof gardens: history, design, and construction. New York: W.W. Norton & Company, 1999. 318 p.
- [19] Фрагментарное озеленение. URL: <http://buzon-opora.ru/series-pb/> (дата обращения 11.04.2020).
- [20] The Roof Gardens at Derry & Toms. URL: <http://www.ralphhancock.com/theroofgardensatderry%26toms> (дата обращения 15.12.2019).
- [21] Черешнев И.В. Значение зеленых насаждений и элементов внешнего благоустройства в улучшении микроклимата жилой застройки // Жилищное строительство, 2005. № 4. С. 17–19.

## Сведения об авторах

**Бочкова Ирина Юрьевна** — канд. с.-х. наук, доцент МГТУ им. Н.Э. Баумана (Мытищинский филиал), [frog-flower@yandex.ru](mailto:frog-flower@yandex.ru)

**Тулущ Мария Дмитриевна** — магистрант МГТУ им. Н.Э. Баумана (Мытищинский филиал), [tulush.mari@mail.ru](mailto:tulush.mari@mail.ru)

Поступила в редакцию 26.05.2020.

Принята к публикации 15.06.2020.

## ABOUT EXTENSIVE GREEN ROOFS

**I.Y. Bochkova, M.D. Tulush**

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

frog-flower@yandex.ru

There are so many things made of concrete, glass and metal in modern cities. All of this displace nature and there is no space for planting. Plants produce oxygen and clean the environment. That is why the landscaping of the roofs of buildings is a kind of compensation in landscaping. The article is about studying methods of creating extensive green roofs from the origin to nowadays. The work includes the study of historical, architectural and regulatory documents and some literary sources. It also includes some facts from the history of green roofs creation, which appeared in the 9th century, on the example of the old house of the Vikings, who lived on the territory of the Faroe Islands. There is a comparative analysis of historical and modern technologies in the article. The design features of extensive roof landscaping are considered. The study revealed modern techniques of extensive landscaping, as well as a list of plants that are resistant to roof landscaping. Recommendations for the usage of waterproof materials like bitumen roll and other are given. The modern approach to the selection of substrates for growing plants on extensive green roofs is also considered. The study revealed modern techniques of extensive landscaping, as well as a list of plants that are resistant to roofing landscaping. It has been revealed that modern materials significantly reduce the specific weight of the construction and ensure the excellent efficiency of the system and the viability of plants during the all working lifespan of the roof. They are discussed the technology of growing planting material for roof landscaping like moss or sedum mats, growing plants in pallets and multiboards, etc.

**Keywords:** green roofs, extensive type, history, technology, assortment of plants

**Suggested citation:** Bochkova I.Y., Tulush M.D. *K voprosu ob ekstensivnom ozelenenii krovli* [About extensive green roofs]. *Lesnoy vestnik / Forestry Bulletin*, 2020, vol. 24, no. 5, pp. 5–11. DOI: 10.18698/2542-1468-2020-5-5-11

## References

- [1] Buldakova E.A. *Sovremennyye priemy organizatsii zelenykh zon v uplotnennoy zastroyke goroda* [Modern methods of organizing green areas in a compact city development]. *Sovremennyye nauchnyye issledovaniya i innovatsii* [Modern Scientific Research and Innovation], 2012, no. 5. Available at: <http://web.snauka.ru/issues/2012/05/12660> (accessed 02.02.2020).
- [2] Malinina T.A., Tkach E.V. *Zelenyye kryshi gorodskogo landshafta* [Green roofs of the urban landscape]. *Molodoy uchenyy* [Young Scientist], 2019, no. 48 (286), pp. 74–76. Available at: <https://moluch.ru/archive/286/64522/> (accessed 19.04.2020).
- [3] *Zelenyye kryshi* [Green roofs]. Available at: <http://www.greenroof.pro> (accessed 10.04.2020).
- [4] *Zelenyye kryshi* [Green Roofs]. *Arkhitekton: izvestiya vuzov* [Architecton: University News], 2012, no. 38. Available at: [http://www.archvuz.ru/2012\\_22/751](http://www.archvuz.ru/2012_22/751) (accessed 12.04.2020).
- [5] *Vse o kryshakh* [All about the roofs]. Available at: <http://www.krovportal.ru/krovlya/naturalnye-materialy/zelenaya-krysha-tekhnologiya-ustrojstva-travyanoj-krovli/> (accessed 12.04.2020).
- [6] Gollvittser G., Virsing V. *Sady na kryshakh* [Roof Gardens]. Moscow: Stroyizdat, 1972, p. 117.
- [7] *Vse o arkhitekture* [All about architecture]. Available at: [http://www.landscape.totalarch.com/search\\_new\\_forms\\_landscape\\_architecture/6](http://www.landscape.totalarch.com/search_new_forms_landscape_architecture/6) (accessed 13.04.2020).
- [8] *Dostoinstva i nedostatki zelenoy kryshi* [Advantages and disadvantages of a green roof]. Available at: <http://www.gidproekt.com/ustrojstvovzelenoj-krovli-konstrukciya-vidy-dostoinstva-i-nedostatki-ozeleneniya-kryshi> (accessed 13.04.2020).
- [9] *Struktura sistemy ekstensivnoy kryshi* [The structure of the extensive roof system]. Available at: <http://www.stroypodskazka.ru/krysha/zelenaya/> (accessed 15.04.2020).
- [10] *Zelenyye krovli* [Green roofs]. Available at: <http://www.ecosoil.ru> (accessed 15.04.2020).
- [11] Panova E.A. *Sovremennyye stroitel'nye tovary* [Modern building products]. Moscow: Trust Press, 1999, 192 p.
- [12] *Bitumnyye materialy* [Bitumen materials]. Available at: <http://www.teremkatalog.com/ekstensivnaya-sistema-zelenykh-krysh/> (accessed 15.04.2020).
- [13] *Sozday zhizn' na kryshe* [Create life on the roof]. Available at: <https://www.zinco.ru/systems> (accessed date: 15.04.2020).
- [14] *Substrat* [Substrate]. Available at: <http://s-terrace.ru/products/sub-grnroof> (accessed 16.04.2020).
- [15] Serdyuk Ya.V., Voropaeva O.V. *Sovremennyye tekhnologii ozeleneniya v arkhitekture* [Modern gardening technologies in architecture]. *IVUZ Voronezhskiy GTU* [IVUZ Voronezh State Technical University], 2017, no. 1, pp. 7–14.
- [16] Donnelly M.C. *Architecture in the Scandinavian countries*. Cambridge (Mass.); London: MIT press, cop. 1992, p. 401.
- [17] Osmundson T. The Changing Technique of Roof Garden Design. *Landscape Architecture*, 1979, v. 69, no. 5, p. 239.
- [18] Osmundson T. *Roof gardens: history, design, and construction*. New York: W.W. Norton & Company, 1999, 318 p.
- [19] *Fragmentarnoe ozelenenie* [Fragmented gardening]. Available at: <http://buzon-opora.ru/series-pb/> (accessed 11.04.2020).
- [20] *The Roof Gardens at Derry & Toms*. Available at: <http://www.ralphhancock.com/theroofgardensatderry%26toms> (accessed 15.12.2019).
- [21] Chereshev I.V. *Znachenie zelenykh nasazhdeniy i elementov vneshnego blagoustrojstva v uluchshenii mikroklimata zhilykh zastroyki* [The value of green spaces and elements of external improvement in improving the microclimate of residential buildings]. *Zhilishchnoe stroitel'stvo* [Housing], 2005, no. 4, pp. 17–19.

## Authors' information

**Bochkova Irina Yur'evna** — Cand. Sci. (Agriculture), Associate Professor of the BMSTU (Mytishchi branch), frog-flower@yandex.ru

**Tulush Maria Dmitrievna** — Master graduand of the BMSTU (Mytishchi branch), tulush.mari@mail.ru

Received 26.05.2020.

Accepted for publication 15.06.2020.

## АРХИТЕКТУРНО-ЛАНДШАФТНЫЙ АНСАМБЛЬ ДВОРЦА ПИОНЕРОВ НА ВОРОБЬЕВЫХ ГОРАХ. ИСТОРИЯ И СОВРЕМЕННОСТЬ

**В.В. Дормидонтова, К.И. Кузнецова**

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

Рассмотрена проблема значимости советского периода в развитии ландшафтной архитектуры в Российской Федерации и за рубежом. Объектом исследования является архитектурно-ландшафтный ансамбль Дворца пионеров на Воробьевых горах. Для определения истоков и композиционной ценности данного объекта прослежены этапы в развитии советской ландшафтной архитектуры. Охарактеризован первый этап — период конструктивизма 1920–1930 гг., сформировавший типологически новые объекты ландшафтной архитектуры — парки культуры и отдыха, и оказавший определяющее влияние на развитие модернизма во всем мире. Изучение творчества советских ландшафтных архитекторов Л.А. Ильина, М.П. Коржева, В.И. Долганова, М.И. Прохоровой позволило выявить приемы архитектурно-ландшафтной организации объектов данного периода: функциональность, лаконичность, динамика, асимметрия и масштабность. Показано, что Дворец пионеров на Воробьевых горах, является одним из ярких примеров второго этапа, наступившего после Великой Отечественной войны, наследовавших приемы конструктивизма и несущих цивилизационные признаки советской эпохи в России. Проведен сравнительный композиционный анализ его архитектурно-ландшафтной композиции в прошлом и настоящем. Выделены приемы, посредством которых Дворец пионеров на Воробьевых горах обладал качеством ансамбля.

**Ключевые слова:** архитектура, ландшафт, ансамбль, модернизм, советский период, приемы композиции

**Ссылка для цитирования:** Дормидонтова В.В., Кузнецова К.И. Архитектурно-ландшафтный ансамбль Дворца пионеров на Воробьевых горах. История и современность // Лесной вестник / Forestry Bulletin, 2020. Т. 24. № 5. С. 12–19. DOI: 10.18698/2542-1468-2020-5-12-19

В XX–XXI вв. отмечено появление за рубежом абсолютно новых по принципам пространственного построения объектов ландшафтной архитектуры [1–3]. Эти объекты исследователи относят к минимализму или хай-теку — направлениям, проявившимся в ландшафтной архитектуре в конце XX в. [4–8]. Однако авторы таких известных объектов, как Парк Ла-Виллетт в Париже (Б. Чуми) [9], Мемориальный парк, посвященный трагедии 11 сентября в Нью-Йорке, Потсдамская площадь в Берлине (П. Уокер), «Урбанистические холмики» в Миннеаполисе и «Сплетенный сад» в Бостоне (М. Шварц) [10] считают, что истоки их стилистических приемов лежат в советском конструктивизме. Десятилетие, заключенное между 1920–1930 гг., оставило яркие образцы архитектуры конструктивизма. Хотя материальные, технические и технологические условия для реализации всего задуманного тогда советскими архитекторами сложились только во второй половине XX в. за рубежом, обеспечив широкие возможности для нового формообразования.

В ландшафтной архитектуре конструктивизм не выделен, хотя это время характеризовалось появлением типологически нового объекта ландшафтной архитектуры — парка культуры и отдыха и массовым строительством скверов. Дыхание времени неизбежно накладывало отпечаток на работы первого поколения советских ландшафтных архитекторов Л.А. Ильина, М.П. Коржева, В.И. Долганова, М.И. Прохоровой [11, 12]. Их

проекты отличались функциональностью и лаконичностью, динамикой, асимметрией и масштабностью. Историчны и новационны композиции курортных и санаторных парков Л.С. Залесской, Н.А. Папкова, П.П. Еськова.

В послевоенное время начался следующий этап развития отечественной ландшафтной архитектуры. Восстанавливаемые и новые города обогащались системами озелененных пространств. Развивалась типология объектов ландшафтной архитектуры.

Социальные изменения начала XX в. уничтожили большое количество усадебных парков рубежа XIX–XX вв. Перепрофилирование архитектурных сооружений влекло за собой реконструкцию парков. В результате в центральной части России почти не осталось памятников садово-паркового искусства в стиле модерн. Отрицание ценностей Советского Союза также нанесло удар по ландшафтной архитектуре, изменив типологию сооружений и обесценив его наследие. Опять сносятся и разрушаются памятники, при этом деградируют «осиротевшие» озелененные территории, сравнительно недавно составлявшие с ними ансамбль, а теперь как будто предвидящие свою участь. Между тем каждый исторический этап страны ценен так же, как и каждый прожитый человеком день. Архитектурно-ландшафтное наследие Советского Союза является составной частью историко-культурного достояния России, и во многом определяет мировую материальную культуру сегодня.

Цивилизационные признаки несут в себе сады Древней Греции и Древнего Рима. Сады раннего Возрождения лучше всех других видов искусства рассказывают о мировосприятии эпохи. Сады и архитектура во все времена являются материальными свидетельствами и красноречивыми свидетелями эпохи. Может, поэтому их и разрушают?

Одним из замечательных объектов второй половины XX в., несущих цивилизационные признаки советской эпохи России, является Дворец пионеров на Воробьевых горах, продолживший и развивший идеи конструктивизма.

### Цель работы

Цель работы — выявление характерных приемов композиции архитектурно-ландшафтного ансамбля Дворца пионеров на Воробьевых горах.

### Материалы и методы

Практическая часть исследования включала натурное обследование объекта, в течение которого были проведены анализ градостроительной ситуации, ландшафтно-визуальный анализ. Проведена оценка степени сохранности архитектурно-ландшафтной композиции и отдельно ее элементов: мощения, малых форм и древесно-кустарниковой растительности. Выполнена фотофиксация. Теоретическая часть включала изучение архивных, историко-архитектурных источников и документов, а также камеральную обработку кроков, эскизов, графоаналитических и фотографических материалов, на основе которых был проведен анализ планировочной и объемно-пространственной архитектурно-ландшафтной композиции ансамбля Дворца пионеров на Воробьевых горах.

### Результаты и обсуждение

Московский Дворец пионеров на Воробьевых горах (далее Дворец пионеров) находится в Гагаринском районе Юго-Западного административного округа г. Москвы по адресу: ул. Косыгина, д. 17. На севере от объекта расположен природный заказник «Воробьевы Горы», объект и заказник разделены ул. Косыгина, на юге ул. Анучина и Университетский проспект ограничивают зону жилой застройки, на юго-западе — Парк им. 40-летия ВЛКСМ [13, 14].

История Дворца пионеров началась в 1936 г., когда в пер. Стопани (ныне — пер. Огородная слобода) был открыт Московский городской дом пионеров и октябрят (рис. 1, а, б) [15].

Уже через год после открытия в МГДПиО функционировали 173 кружка и секции, которые посещали около 3500 детей и подростков. Одного здания не хватало для такого большого количества обучающихся, поэтому Городской дом пио-



а



б

Рис. 1. Здание Московского городского Дома пионеров и октябрят в переулке Стопани [16]: а — фото конца 1930-х гг., автор Цукнер; б — фото 1954 г.

Fig. 1. The building of the Moscow City House of Pioneers and Octobrists in Stopani Lane [16]: а — photo of the late 1930s, author Zuckner; б — photo from 1954



Рис. 2. Территория Дворца пионеров [13]

Fig. 2. The territory of the Pioneer Palace [13]

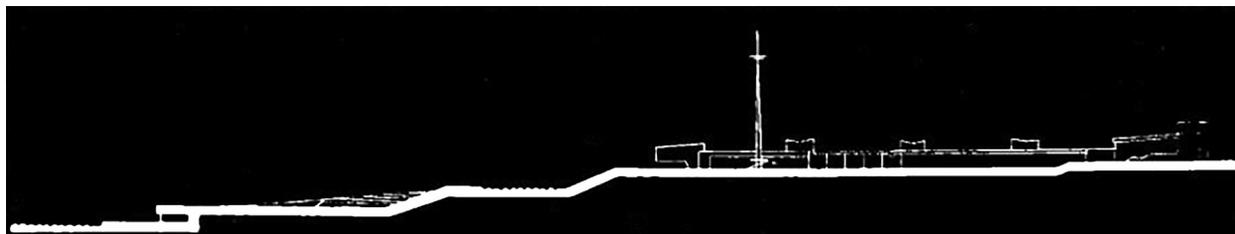
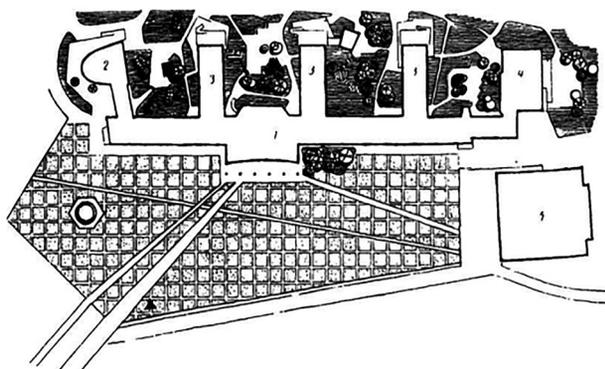


Рис. 3. Расположение Дворца пионеров относительно рельефа  
 Fig. 3. Location of the Pioneer Palace across the relief



*a*



*б*

Рис. 4. Территория Дворца пионеров: *a* — генеральный план площади парадов и дворов;  
*б* — территория Дворца пионеров (вид со спутника, 2019)  
 Fig. 4. Territory of the Pioneer Palace: *a* — general plan of the area of parades and courtyards;  
*б* — the territory of the Pioneer Palace (satellite view, 2019)



Рис. 5. Здание московского городского Дворца пионеров и школьников на Воробьевском шоссе.  
 Съемка 1970 г. Автор Ю. Артамонов. Главархив Москвы  
 Fig. 5. The building of the Moscow City Pioneer and Schoolchildren Palace on Vorobyovskoye Motorway  
 in 1970. Author Y. Artamonov. Main Archive

неров занял соседнее здание (дом № 5), предназначив его для студий технического творчества (авиамодельной и деревообрабатывающей мастерских, лаборатории железнодорожного и водного транспорта, связи, фотолаборатории и др.) [17].

В военные годы здесь действовали швейные, столярные, слесарные и электротехнические кружки для помощи фронту. А в послевоенные годы, начиная с 1946 г., здесь обучалось более 3000 школьников. В конце 1950-х гг. был подан запрос на строительство нового Городского дома пионеров.

Разработка проекта Дворца пионеров началась в 1958 г. Авторский коллектив включал в себя архитекторов В.С. Егерев, В.С. Кубасова, Ф.А. Новикова, Б.В. Палуя, И.А. Покровского, М.Н. Хажакяна, инженера-конструктора Ю.И. Ионова, художников Е.М. Аблина, А.А. Губарева, И.И. Лаврова-Дервиза, Г.Г. Дервиза, И.В. Пчельникова, И.И. Дробышева, А.В. Васнецова, В.Б. Эльконина, скульпторов А.В. Александрова, Ю.В. Александрова, Т.М. Соколова [14]. «Строительство комплекса стало событием в архитектурной жизни СССР: в одном протяженном здании были объединены несколько концертных и театральных залов, бассейны, зимний сад, обсерватория и пространства для выставок. Конкурс выиграли молодые и неизвестные архитекторы под руководством Игоря Александровича Покровского (будущего автора застройки Зеленограда) — всем в команде из семи человек не было и 35 лет. Проект стал их путевкой в жизнь: когда в 1967 году была учреждена Государственная премия РСФСР в области архитектуры, первыми ее получили именно создатели Дворца пионеров» [18].

Архитекторы решили освободиться от регулярной планировки парка, использовали принцип свободного размещения зданий. Дворец пионеров — сооружение, расположенное в центре зеленого массива, не имеющее связи с городской застройкой (рис. 2). В первую очередь учитывались природные особенности территории — рельеф с перепадами высот до 25...30 м. Проектирование предусматривало сохранение ценных древесных пород. Сразу же были ограждены забором белая акация, грецкий орех, каштан, дубовые рощи, что усложняло работу по строительству здания.

Московский «Дворец пионеров и школьников им. 40-летия Всесоюзной пионерской организации» представляет собой комплекс зданий и сооружений с парковой территорией площадью 54 га, созданный в 1962 г., и является памятником градостроительства и архитектуры.

Главное здание Дворца пионеров находится на самых высоких отметках (рис. 3). Рельеф террасирован и обработан низкими подпорными стенками, облицованными известняком. Дорожки и площадки покрыты бетоном с фактурной поверхностью.

Здание Дворца пионеров — это синтез архитектуры и декоративно-монументального искусства. Цельность архитектурной формы является огромными декоративными панно из цветного кирпича. Членения фасадов продолжают членения парадной площади перед Дворцом для проведения пионерских линеек. Парадная площадь разбита на квадраты газонов (8×8 м), на эту сетку легли широкие бетонные дорожки, проложенные в направлении основных

потоков посетителей (рис. 4 а, б, рис. 5) [19, 20]. Один и тот же материал сооружения и мощения — бетон выполняет две функции — несущую и декоративную.

Как писал Ф. Новиков: «Дворец служил витриной советской архитектуры 60-х» [21], на него были направлены все виды из парка. Генеральный план

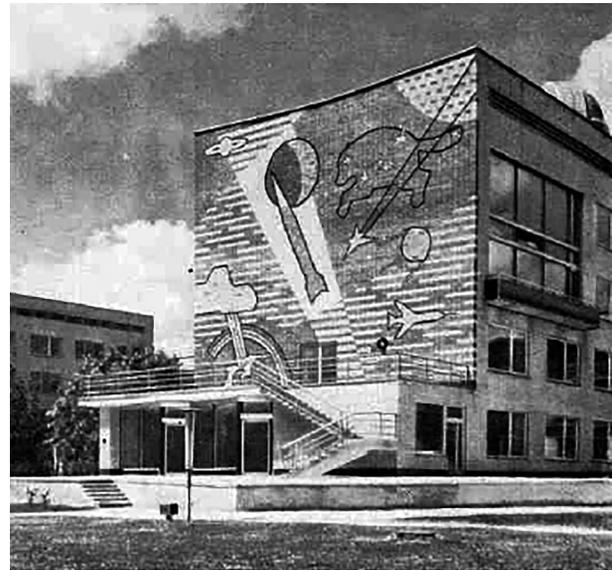


Рис. 6. Панно «Небо»  
Fig. 6. Panel picture «Sky»



Рис. 7. Панно «Земля»  
Fig. 7. Panel picture «Earth»

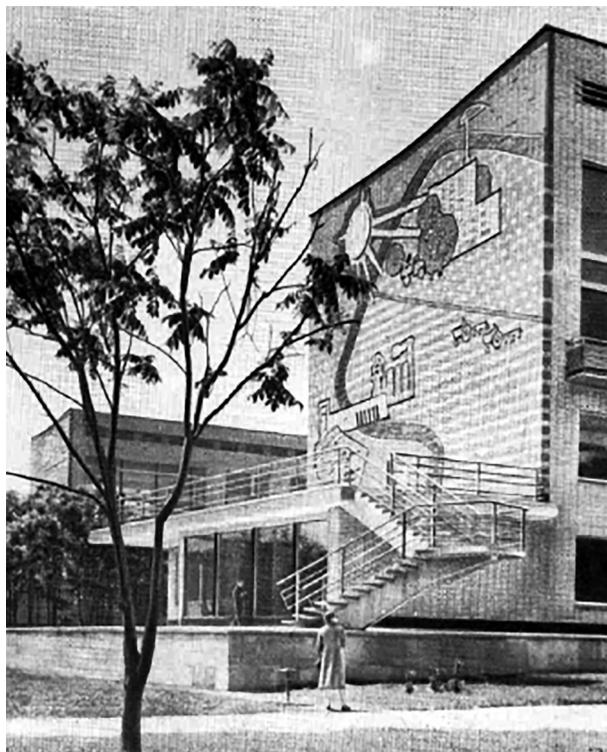


Рис. 8. Панно «Вода»  
Fig. 8. Panel picture «Water»



*a*



*б*

Рис. 9. Парковый фасад Дворца пионеров: *a* — фото начала 1960-х гг.; *б* — фото с той же точки в 2019 г.  
Fig. 9. Park facade of the Pioneer Palace: *a* — photo of the early 1960s; *б* — photo from the same point in 2019

и историческая справка свидетельствуют, о том, что здание было гармонично вписано в окружающий ландшафт, оно отлично сочеталось с природными компонентами, причем буквально. Парковый фасад Дворца украшают панно «Небо» (рис. 6), «Земля» (рис. 7) и «Вода» (рис. 8).

В настоящее время увидеть эти произведения искусства сложнее из-за разросшихся деревьев (рис. 9, *a, б*). На сегодняшний день Дворец пионеров «утонул» в собственном зеленом массиве из насаждений, поэтому его парковый фасад уже не имеет запроектированного авторами значения. Исторические виды, панорамы утрачены.

Между корпусами Дворца пионеров распложены дворники для тихого отдыха, обращенные к солнцу. Асимметричные архитектурно-ландшафтные композиции сформированы такими древесными растениями, как ель голубая, каштан конский, клен остролистный, лиственница, тополь пирамидальный. Основной состав кустарниковых растений представлен бересклетом, жимолостью и сиренью.

Дворик пионерского театра (рис. 10, *a, б*) изначально был озелененной территорией с проложенной дорожно-тропиночной сетью, водоемом, тремя древесно-кустарниковыми группами и одним солитером. Сейчас водоем засыпан землей, где произрастают сорняки (см. рис. 10, *в*); исторические посадки сохранились, но требуют ухода; большое количество молодых деревьев нарушают объемно-пространственную структуру паркового фасада Дворца; асфальтированное покрытие пребывает в неблагоприятном состоянии.

Тем не менее авторы статьи вполне разделяют мнение Ю. Болотова: «Про Дворец пионеров можно сказать ровно одну вещь: это лучшее место в Москве... Асимметричная площадь косо рассечена регулярной сеткой асфальтовых дорожек. С одной стороны — пятидесятиметровый флагшток из нержавеющей стали. С другой — легкое вытянутое здание с куполом обсерватории и козырьком на исчезающих колоннах. По центру — словно стекляшка типового советского кинотеатра. На фасадах модернистские панно, и все очень буквально: пионеры, костры, трубы, Ленин — куда без него. За соединенными в один комплекс зданиями растут ясени и орехи. Тихо, нет машин, по дорожкам гуляют школьники, — даже поздней осенью... (2019 г.) здесь царят наполненные надеждой 1960-е» [18].

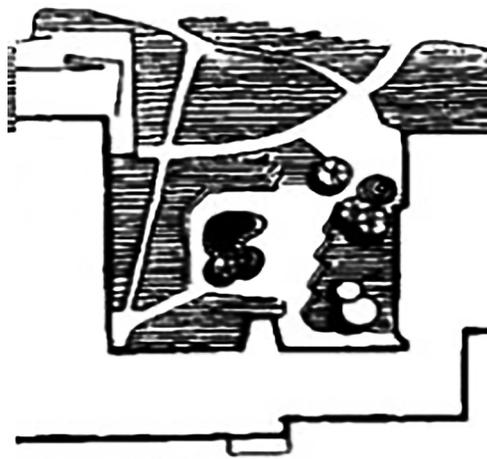
## Выводы

Объемно-пространственная композиция архитектурно-ландшафтного ансамбля Дворца пионеров спроектирована по принципу свободного и динамического построения, использовалось противопоставление горизонтальных и верти-

кальных элементов, прямых плоскостей и криволинейных поверхностей. Деревья и кустарники на территории Дворца пионеров имели большое значение. Дворец вписывался в окружающую природу, здание и насаждения неразрывно были связаны между собой как планировочно, так и пространственно. Все посадки изначально планировались так, чтобы архитектурное сооружение казалось «легким». Древесно-кустарниковые группы дополняли объемно-пространственную композицию зданий. Дворец «вырастал» из природного ландшафта, являясь его продолжением, а окружающие насаждения и открытые пространства дополняли композицию Дворца. Цельность архитектурно-ландшафтного ансамбля достигалась масштабностью композиции человеку и пространству, пропорциональностью и соподчиненностью природных форм архитектуре.

## Список литературы

- [1] Дормидонтова В.В. Характеристика современного этапа развития садово-паркового искусства // Architecture and Modern Information Technologies, 2011. № 4 (17). URL: <https://marhi.ru/AMIT/2011/4kvart11/dormidontova/dormidontova.pdf> (дата обращения 14.08.2019).
- [2] Дормидонтова В.В. Минимализм в садово-парковом искусстве // Архитектон: Известия вузов, 2012. № 38. URL: [http://archvuz.ru/2012\\_2/17](http://archvuz.ru/2012_2/17) (дата обращения 14.08.2019).
- [3] Дормидонтова В.В. Этапы формирования сада XXI века // Архитектон: Известия вузов, 2012. № 37. URL: [http://archvuz.ru/2012\\_1/19](http://archvuz.ru/2012_1/19) (дата обращения 14.08.2019).
- [4] Bradley-Hole C. The Minimalist Garden. London: Mitchell Beazley, 1999, 208 p.
- [5] Meyer J. Minimalism: art and polemics in the sixties. Yale University Press, 2004, 340 p.
- [6] Wilson A. Influential Gardeners. London: Mitchell Beazley, 2002, 192 p.
- [7] Jarrasse D. Grammaire Des Jardins Parisiens. Paris: Parigramme, 2007, 271 p.
- [8] Baumeister N. New Landscape architecture. Berlin: Braun, 2007, 352 p.
- [9] Tschumi B. Cinegramme Folie: Le Parc de la Villette. Princeton, NJ: Princeton Archi-tectural Press, 1988, 64 p.
- [10] Дормидонтова В.В. Концептуальные сады Марты Шварц // Вестник БГТУ им. Шухова, 2012. № 2. С. 34.
- [11] Дормидонтова В.В. Конструктивизм и ландшафтная архитектура конца XIX – начала XX вв. // Вестник ландшафтной архитектуры, 2016. Вып. 8. С. 27–34.
- [12] Дормидонтова В.В., Белкин А.Н. Новое или «нехорошо» забытое старое в ландшафтной архитектуре XX и начала XXI века // Лесной вестник – Forestry Bulletin, 2019. Т. 23. № 3. С. 37–43.
- [13] Расположение Дворца пионеров на карте Москвы. URL: <https://yandex.ru/maps/213/moscow/> (дата обращения 14.08.2019).
- [14] Памятник градостроительства и архитектуры. URL: [https://tools.wmflabs.org/ru\\_monuments/wikivoyage/php?id=7733837000](https://tools.wmflabs.org/ru_monuments/wikivoyage/php?id=7733837000) (дата обращения 14.08.2019).
- [15] История организации. URL: [https://vg.mskobr.ru/info\\_edu/history/](https://vg.mskobr.ru/info_edu/history/) (дата обращения 15.08.2019).



а



б



в

**Рис. 10.** Дворик пионерского театра: а — фрагмент генерального плана; б — вид дворика пионерского театра, 1960-е гг.; в — современное состояние  
**Fig. 10.** Pioneer theater courtyard: а — fragment of the general plan; б — view of the courtyard of the pioneer theater, 1960s; в — current state

- [16] Фото здания Московского городского Дома пионеров и октябрят в переулке Стопани. URL: [https://na-stopani.mskobr.ru/mass\\_media/mass\\_media\\_article/vechnaya\\_molodost\\_stranicy\\_istorii\\_dvorca\\_pionerov/](https://na-stopani.mskobr.ru/mass_media/mass_media_article/vechnaya_molodost_stranicy_istorii_dvorca_pionerov/) (дата обращения 15.08.2019).
- [17] Расширение Московского дворца пионеров. URL: <https://www.mos.ru/news/item/18650073/> (дата обращения 16.08.2019).
- [18] Юрий Болотов — о том, почему Дворец пионеров — лучшее место Москвы. URL: <https://www.the-village.ru/village/city/modern-architecture/169531-dvorets-pionerov-na-vorobievyh> (дата обращения 28.09.2019).
- [19] Егерев В., Кубасов В. Московский дворец пионеров / Под ред. И.В. Киаргано. М.: Московская типография № 23, 1963. 113 с.
- [20] Дворец пионеров на Воробьевых горах. URL: <https://www.google.ru/maps/search/воробьевы+горы/> (дата обращения 16.08.2019).
- [21] Новиков Ф. История с двумя предысториями. О проектировании Московского дворца пионеров // Проект Байкал, 2016. Т. 13. № 50. С. 145-151. URL: [https://elibrary.ru/ip\\_restricted.asp?rpage=https%3A%2F%2Felibrary%2Eru%2Fitem%2Easp%3Fid%3D29159720](https://elibrary.ru/ip_restricted.asp?rpage=https%3A%2F%2Felibrary%2Eru%2Fitem%2Easp%3Fid%3D29159720) (дата обращения 16.08.2019).

## Сведения об авторах

**Дормидонтова Виктория Владиславовна** — канд. архитектуры, член Союза архитекторов РФ, профессор кафедры ландшафтной архитектуры и садово-паркового строительства МГТУ им. Н.Э. Баумана (Мытищинский филиал), [v.dormidontova@mail.ru](mailto:v.dormidontova@mail.ru)

**Кузнецова Карина Игоревна** — магистрант 2-го курса МФ МГТУ им. Н.Э. Баумана, [karinakuznetsova777@gmail.com](mailto:karinakuznetsova777@gmail.com)

Поступила в редакцию 15.06.2020.

Принята к публикации 02.07.2020.

## ARCHITECTURAL LANDSCAPE ENSEMBLE OF PIONEER PALACE ON VOROBYOVY GORY. HISTORY AND MODERNITY

**V.V. Dormidontova, K.I. Kuznetsova**

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

[v.dormidontova@mail.ru](mailto:v.dormidontova@mail.ru)

This article deals with the problem of the significance of the Soviet period in the development of landscape architecture in our country and abroad. The object of research is the architectural and landscape ensemble of the Palace of pioneers on the Vorobyovy gory. To determine the origins and compositional value of this object, the stages in the development of Soviet landscape architecture are traced. The first stage is characterized — the period of constructivism in 1920–1930, which formed typologically new objects of landscape architecture — parks of culture and recreation, and had a decisive influence on the development of modernism throughout the world. The study of the works of Soviet landscape architects L.A. Ilyin, M.P. Korzhev, V.I. Dolganov, and M.I. Prokhorova revealed the techniques of architectural and landscape organization of objects of this period: functionality, conciseness, dynamics, asymmetry and scale. It is shown that the Palace of pioneers on the Vorob'ovy gory is one of the striking examples of the second stage, which came after the great Patriotic war, inheriting the techniques of constructivism and bearing the civilizational signs of the Soviet era in Russia. A comparative compositional analysis of its architectural and landscape composition in the past and present is carried out. The techniques by which the Palace of pioneers on the Vorobyovy gory had the quality of an ensemble are highlighted.

**Keywords:** architecture, landscape, ensemble, modernism, Soviet period, composition techniques

**Suggested citation:** Dormidontova V.V., Kuznetsova K.I. *Arkhitekturno-landshaftnyy ansambl' Dvortsa pionerov na Vorob'evykh gorakh. Istoriya i sovremennost'* [Architectural landscape ensemble of Pioneer palace on Vorobyovy gory. History and modernity]. *Lesnoy vestnik / Forestry Bulletin*, 2020, vol. 24, no. 5, pp. 12–19. DOI: 10.18698/2542-1468-2020-5-12-19

## References

- [1] Dormidontova V.V. *Kharakteristika sovremennogo etapa razvitiya sadovo-parkovogo iskusstva* [Description of the modern stage of the development of landscape gardening art]. *Architecture and Modern Information Technologies* [Architecture and Modern Information Technologies], 2011, no. 4 (17). Available at: <https://marhi.ru/AMIT/2011/4kvart11/dormidontova/dormidontova.pdf> (accessed 14.08.2019).
- [2] Dormidontova V.V. *Minimalizm v sadovo-parkovom iskusstve* [Minimalism in landscape gardening art]. *Arkhitekton: Izvestiya vuzov* [Architecton: University News], 2012, no. 38. Available at: [http://archvuz.ru/2012\\_2/17](http://archvuz.ru/2012_2/17) (accessed 14.08.2019).
- [3] Dormidontova V.V. *Etapy formirovaniya sada XXI veka* [Stages of the formation of the garden of the XXI century]. *Arkhitekton: Izvestiya vuzov* [Architecton: News of universities], 2012, no. 37. Available at: [http://archvuz.ru/2012\\_1/19](http://archvuz.ru/2012_1/19) (accessed 14.08.2019).

- [4] Bradley-Hole C. The Minimalist Garden. London: Mitchell Beazley, 1999, 208 p.
- [5] Meyer J. Minimalism: art and polemics in the sixties. Yale University Press, 2004, 340 p.
- [6] Wilson A. Influential Gardeners. London: Mitchell Beazley, 2002, 192 p.
- [7] Jarrasse D. Grammaire Des Jardins Parisiens. Paris: Parigramme, 2007, 271 p.
- [8] Baumeister N. New Landscape architecture. Berlin: Braun, 2007, 352 p.
- [9] Tschumi B. Cinegramme Folie: Le Parc de la Villette. Princeton, NJ: Princeton Architectural Press, 1988, 64 p.
- [10] Dormidontova V.V. *Kontseptual'nye sady Marty Shvarts* [The conceptual gardens of Martha Schwartz]. Vestnik BGTU im. Shukhova [Bulletin of BSTU named after Shukhov], 2012, no. 2, p. 34.
- [11] Dormidontova V.V. *Konstruktivizm i landshaftnaya arkhitektura kontsa XIX- nachala XX vv.* [Constructivism and landscape architecture of the late XIX - early XX centuries]. Vestnik landshaftnoy arkitektury [Bulletin of landscape architecture], 2016, v. 8, pp. 27–34.
- [12] Dormidontova V.V., Belkin A.N. *Novoe ili nekoroshho zabytoe staroe v landshaftnoy arkhitekture XX i nachala XXI veka* [The new or wrong forgotten original in landscape architecture of XX and the beginning of XXI century]. Lesnoy vestnik / Forestry Bulletin, 2019, vol. 23, no. 3, pp. 37–43. DOI: 10.18698/2542-1468-2019-3-37-43
- [13] *Raspolozhenie Dvortsa pionerov na karte Moskvy* [Location of the Palace of Pioneers on the map of Moscow]. Available at: <https://yandex.ru/maps/213/moscow/> (accessed 14.08.2019).
- [14] *Pamyatnik gradostroitel'stva i arkitektury* [Monument of urban planning and architecture]. Available at: [https://tools.wmflabs.org/ru\\_monuments/wikivoyage.php?id=7733837000](https://tools.wmflabs.org/ru_monuments/wikivoyage.php?id=7733837000) (accessed 14.08.2019).
- [15] *Istoriya organizatsii* [History of the organization]. Available at: [https://vg.mskobr.ru/info\\_edu/history/](https://vg.mskobr.ru/info_edu/history/) (accessed 15.08.2019).
- [16] *Foto zdaniya Moskovskogo gorodskogo Doma pionerov i oktyabryat v pereulke Stopani* [Photo of the building of the Moscow City House of Pioneers and October in Stopani Lane]. Available at: [https://na-stopani.mskobr.ru/mass\\_media/mass\\_media\\_article/vechnaya\\_molodost\\_stranicy\\_istorii\\_dvorca\\_pionerov/](https://na-stopani.mskobr.ru/mass_media/mass_media_article/vechnaya_molodost_stranicy_istorii_dvorca_pionerov/) (accessed 15.08.2019).
- [17] *Rasshirenie Moskovskogo dvortsa pionerov* [Expansion of the Moscow Palace of Pioneers]. Available at: <https://www.mos.ru/news/item/18650073/> (accessed 16.08.2019).
- [18] *Yuriy Bolotov — o tom, pochemu Dvorets pionerov — luchshee mesto Moskvy* [Yuri Bolotov — about why the Palace of Pioneers is the best place in Moscow]. Available at: <https://www.the-village.ru/village/city/modern-architecture/169531-dvorets-pionerov-na-vorobievyh> (accessed 09.09.2019).
- [19] Egerev V., Kubasov V. *Moskovskiy dvorets pionerov* [Moscow Palace of Pioneers]. Ed. I.V. Kiartano. Moscow: Moscow Printing House No. 23, 1963, 113 p.
- [20] *Dvorets pionerov na Vorob'evykh gorakh* [The Palace of Pioneers on the Sparrow Hills]. Available at: <https://www.google.com/maps/search/varobevy+gory/> (accessed 16.08.2019).
- [21] Novikov F. *Istoriya s dvumya predystoriyami. O proektirovanii Moskovskogo dvortsa pionerov* [History with two backstories. On the design of the Moscow Palace of Pioneers]. Proekt Baykal [Project Baikal], 2016, v. 13, no. 50, pp. 145–151. Available at: [https://elibrary.ru/ip\\_restricted.asp?Rpage=https%3A%2F%2Felibrary%2Eru%2Fitem%2Easp%3Fid%3D29159720](https://elibrary.ru/ip_restricted.asp?Rpage=https%3A%2F%2Felibrary%2Eru%2Fitem%2Easp%3Fid%3D29159720) (accessed 16.08.2019).

## Authors' information

**Dormidontova Victoria Vladislavovna** — Cand. Sci. (Architecture), Professor of the BMSTU (Mytishchi branch), Member of the Union of Architects of the Russian Federation, [v.dormidontova@mail.ru](mailto:v.dormidontova@mail.ru)

**Kuznetsova Karina Igorevna** — 2-nd year Undergraduate Student of the BMSTU (Mytishchi branch), [karinakuznetsova777@gmail.com](mailto:karinakuznetsova777@gmail.com)

Received 15.06.2020.

Accepted for publication 02.07.2020.

## ОЦЕНКА УРОВНЯ АДАПТАЦИИ ЛИАН К ВОЗДЕЙСТВИЮ НЕБЛАГОПРИЯТНЫХ ФАКТОРОВ СРЕДЫ В УСЛОВИЯХ г. САРАТОВА

Г.Н. Заигралова, А.Л. Калмыкова, Е.А. Гусева,  
А.В. Терешкин, О.В. Азарова

ФГБОУ ВО «Саратовский государственный аграрный университет имени Н.И. Вавилова», 410012, г. Саратов, Театральная пл., д. 1

galya.zaigralova@icloud.com

Рассмотрено расширение ассортимента лиан в вертикальном озеленении г. Саратова за счет применения интродуцентов из числа дальневосточных видов древовидных лиан: актинидии аргута, актинидии коломикта, виноградовника аконитолистного, лимонника китайского, луносемянника даурского, которые получили распространение на участках индивидуального землепользования преимущественно в качестве пищевых культур. Отмечено, что дальневосточные виды лиан отличаются значительной амплитудой биологической толерантности приспособления, обладают высокой морозостойкостью и иммунитетом. Дано обоснование включения указанных видов в перспективный ассортимент для использования в городских насаждениях с учетом комплексной оценки их засухоустойчивости, жаростойкости, неподверженности к антропогенному воздействию. Указано, что все эти виды толерантны к высоким летним температурам воздуха и недостаточному увлажнению — характерным особенностям климата г. Саратова. Приведена оценка газоустойчивости лиан по сравнению с результатами исследований, проведенных ранее в отношении других видов, по которой определены возможные сочетания растений на объектах озеленения. На основании ранжирования показано, что изученные дальневосточные виды лиан обладают высокой и средней газоустойчивостью. Аргументированы рекомендации для применения изученных лиан в насаждениях различных категорий в г. Саратове в зависимости от обеспечения полноценным уходом и от качества атмосферного воздуха. Обосновано проведение агромероприятий, улучшающих водно-воздушный и пищевой режим почв на участках выращивания, для предупреждения повреждений листьев и побегов в засушливые периоды и в целях повышения их газоустойчивости.

**Ключевые слова:** вертикальное озеленение, дальневосточные лианы, лианы, дизайн городской среды, зеленые стены

**Ссылка для цитирования:** Заигралова Г.Н., Калмыкова А.Л., Гусева Е.А., Терешкин А.В., Азарова О.В. Оценка уровня адаптации лиан к воздействию неблагоприятных факторов среды в условиях г. Саратова // Лесной вестник / Forestry Bulletin, 2020. Т. 24. № 5. С. 20–27. DOI: 10.18698/2542-1468-2020-5-20-27

Вследствие интродукции в зеленых насаждениях г. Саратова сравнительно недавно появились и достаточно успешно культивируются виды лиан, родиной которых является Дальний Восток — самый насыщенный деревянистыми лианами регион Российской Федерации [1, 2]. Эти виды отличаются значительной амплитудой биологической толерантности приспособления, обусловленной характерными особенностями дальневосточного климата, такими, как влажное и теплое лето и сухая малоснежная зима с сильными морозами. Дальневосточные виды обладают высокой морозостойкостью и иммунитетом против некоторых грибных заболеваний [3].

В условиях г. Саратова дальневосточные виды лиан произрастают в основном в насаждениях ограниченного пользования, на участках индивидуальной застройки, на которых за ними осуществляется необходимый уход и снижено влияние антропогенных загрязнителей. В целях более широкого применения этих видов на городских территориях важно дать научную оценку их засухоустойчивости и жаростойкости, а также неподверженности их к антропогенному воздействию. Оценка адаптации видов к воздействию

указанных факторов составляет часть интегральной оценки успешности интродукции растений, которая позволит дать объективные рекомендации для выбора ассортимента растений, пригодного для применения в городском вертикальном озеленении в условиях г. Саратова [4, 5].

### Цель работы

Цель работы — характеристика устойчивости дальневосточных видов лиан к условиям внешней среды, формируемым в крупных населенных пунктах, определение засухоустойчивости и жаростойкости видов дальневосточных лиан, оценка перспектив их использования в озеленении г. Саратова.

### Объекты и методика исследований

Объектом исследований стали следующие виды лиан: актинидия аргута (*Actinidia arguta* Siebold&Zucc.); актинидия коломикта (*Actinidia kolomikta* Maxim.&Rupr.); виноградовник аконитолистный (*Ampelopsis aconitifolia* Bunge.); лимонник китайский (*Schisandra chinensis* Turcz.); луносемянник даурский (*Menispermum dauricum* DC.) [6]. Исходный материал для исследований был

получен с озелененных территорий ограниченного пользования в г. Саратове, удаленных от источников загрязнения. Все исследуемые экземпляры произрастают в сходных агротехнических условиях. Город Саратов находится в условиях резко континентального климата, для которого характерны большие колебания температур летом и зимой, недостаточное количество осадков, наличие суховея [7].

При оценке устойчивости интродуцированных лиан к экстремальным температурам необходимо определить засухоустойчивость, жаростойкость и водоудерживающую способность растений. Эти показатели определены по общепринятым методикам. Исследования проводились в 2018–2019 гг. в летний период времени.

Для оценки засухоустойчивости применялся метод суховейных камер, поскольку высокая температура и иссушение растений горячим воздухом являются обычными условиями засухи [8, 9].

В условиях лаборатории по пять листьев каждого растения поместили в термоустойчивую посуду с водой для исключения недостатка влаги. Затем образцы ставили в сушильный шкаф с открытыми вентиляционными отверстиями при постоянной температуре 55 °С, и через каждые 15 мин проводили учет повреждений.

Степень повреждения листовых пластинок фиксировалась по шестибальной шкале: 1 балл — отсутствие изменений либо появление слабого красного некроза; 2 балла — незначительное появление некротических пятен; 3 балла — слабая степень некротизации, повреждение охватывает до 15 % поверхности листа; 4 балла — средняя степень некротических образований, повреждение до 50 %; 5 баллов — сильная степень некротизации, повреждено более 50 %; 6 баллов — отмирание листа.

Степень повреждения листовых пластин и время воздействия находятся в прямой зависимости, поэтому каждому временному промежутку был присвоен коэффициент для учета времени выдержки: 15 мин — 1; 30 мин — 2; 45 мин — 3; 60 мин — 4. Расчет итогового балла проводился по формуле

$$D_{dw} = \frac{(d_1 \cdot 1 + d_2 \cdot 2 + d_3 \cdot 3 + d_4 \cdot 4)}{4},$$

где  $D_{dw}$  — итоговый балл поврежденности листовых пластинок;

$d_1 \dots d_4$  — балл поврежденности «суховея» в каждый период времени (табл. 1).

Для оценки степени устойчивости интродуцированных видов к высоким температурам (жаростойкости) использовался метод Ф.Ф. Мацкова, который основан на установлении порога повреждения живых клеток экстремальными температурами [10].

Т а б л и ц а 1

**Повреждаемость листьев лиан при имитации суховея при разном времени экспозиции, баллы**

**Damage to lianas leaves when simulating dry wind at different exposure times, points**

Название вида	15 мин	30 мин	45 мин	60 мин	Итоговый балл
Актинидия аргута	2	3	4	5	10
Актинидия коломикта	2	2	2	4	7
Виноградовник аконитолистный	2	2	4	4	9
Лимонник китайский	1	2	4	4	8
Луносемянник даурский	2	2	2	3	6

Т а б л и ц а 2

**Устойчивость лиан к экстремально высоким температурам, баллы**

**Resistance of lianas to extremely high temperatures, points**

Название вида	45 °С	50 °С	55 °С	60 °С	65 °С	Средний балл
Актинидия аргута	4	5	–	–	–	4,5
Актинидия коломикта	1	3	3	5	–	3,0
Виноградовник аконитолистный	1	3	4	5	–	3,3
Лимонник китайский	1	3	3	4	5	3,2
Луносемянник даурский	1	3	3	5	–	3,0

С каждого растения были взяты пробы, которые опускали в водяную баню, предварительно нагретую до 45 °С. Через 30 мин первые пробы вынимали и опускали их в холодную воду. Температуру в бане между пробами постепенно повышали на 5 °С. При каждом новом значении температуры листья выдерживали 10 мин, затем опускали их в холодную воду. После значения достижения 65 °С (предположительно летальный уровень) опыт заканчивали. Во всех пробах холодную воду заменяли 0,2 М раствором соляной кислоты. Через 20 мин листья каждого вида раскладывали на бумаге и по степени побурения вследствие образования феофитина в мертвых клетках под воздействием кислоты определяли реакцию на температурное воздействие.

Степень повреждения оценивали по пятибалльной шкале с учетом качественного и количественного показателей, площади повреждений (в процентах от общей площади листа):

очень слабые (1 балл) — повреждено до 10 % площади;

Т а б л и ц а 3

## Потери воды лианами за разные периоды времени

## Lianas water loss for different periods of time

Название вида	Масса побегов в начале опыта, г	Потери воды на 1 кг массы, г			Потери воды к исходному весу, %		
		30 мин	60 мин	90 мин	30 мин	60 мин	90 мин
Актинидия аргута	13,42	136,36	141,58	173,62	13,64	14,16	17,36
Актинидия коломикта	5,56	21,58	98,92	118,71	2,16	9,89	11,87
Виноградовник аконитолистный	3,78	113,76	132,28	132,28	11,38	13,23	13,23
Лимонник китайский	5,14	58,37	93,39	122,57	5,84	9,34	12,26
Луносемянник даурский	20,32	59,55	74,80	100,89	5,96	7,48	10,09

Т а б л и ц а 4

Сравнительная устойчивость видов лиан к воздействию растворов токсикантов H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>, HCl, HNO<sub>3</sub> в разной концентрации, баллыComparative resistance of lianas to the exposure of toxic solutions H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>, HCl, HNO<sub>3</sub> in different concentrations, points

Название вида	H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub>			HCl			HNO <sub>3</sub>		
	1%	2%	3%	1%	2%	3%	1%	2%	3%
Актинидия аргута	1	1	1	1	2	3	1	1	2
Актинидия коломикта	1	1	1	1	1	2	1	1	2
Виноградовник аконитолистный	1	1	1	1	1	2	1	1	2
Лимонник китайский	1	1	1	1	1	2	1	1	1
Луносемянник даурский	1	1	1	1	1	2	1	1	1

слабые (2 балла) — некроз на 11...30 %;  
 средние (3 балла) — повреждено 31...50 %;  
 сильные (4 балла) — повреждения составляют

51...80 %;

очень сильные (5 баллов) — повреждено от 81 до 100 % листа.

Виды подразделили по категориям поврежденных в соответствии со средними баллами оценки повреждения у каждого вида (табл. 2).

Определение водоудерживающей способности по А. Арланду основано на учете потери воды завядающими растениями [11]. Для ее выявления брали связки облиственных побегов и взвешивали на технических весах для установления их исходной сырой массы. Образцы оставляли в тенистом месте и повторяли взвешивания через каждые 30 мин в течение 1,5 ч. Убыль в массе показала абсолютное количество потерянной воды за определенный интервал времени. По полученным данным определяли количество испарившейся воды и испарившейся массы (в процентах к первоначальному весу) в течение 30, 60, 90 мин. В ре-

зультате определения установлена средняя величина потери воды растениями за время опыта (табл. 3).

Газоустойчивость растений определяли по методу Н.П. Красинского, основанному на окисляемости веществ клеток и тканей [12]. Для оценки значения повреждаемости использован метод измерения морфологических изменений, основанный на определении площади некрозов. [13]

На листья воздействовали водными растворами серной (H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>), соляной (HCl) и азотной (HNO<sub>3</sub>) кислот различной концентрации (1, 2 и 3 %). Площадь некрозных пятен измеряли по фото с помощью компьютерных программ (Corel DRAW), переводили в количественный показатель и оценивали по следующей шкале:

очень слабая (1 балл) — повреждено до 5 % общей площади листа;

слабая (2 балла) — повреждено 6...15 %;

средняя (3 балла) — повреждено 21...30 %;

сильная (4 балла) — 31...50 %;

очень сильная (5 баллов) — повреждено более 50 % [12, 14] (табл. 4).

## Результаты исследований

Сочетание засухоустойчивости и жароустойчивости — основные требования, которым должны отвечать интродуцированные растения в климатических условиях г. Саратова.

Физиологическая засухоустойчивость состоит из способности растений переносить обезвоживание и действие высоких температур. Применение нескольких критериев диагностики позволяет достоверно оценить засухоустойчивость растений [15].

Анализ полученных данных показал, что после первых 15 мин экспозиции в камере отсутствие каких-либо повреждений листовых пластин зафиксировано только у лимонника китайского. У остальных видов были выявлены незначительные повреждения (краевой некроз листьев).

После 30 мин выдержки в сушевой камере актинидия аргута получила слабые повреждения листовой пластины (около 15 % некроза), остальные виды имели незначительный краевой некроз.

Спустя 45 мин экспозиции осталось два вида с незначительным повреждением листа: актинидия коломикта и луносемянник даурский. У остальных видов наблюдалась степень повреждения тканей листа до 50 % его площади.

Через 1 ч выдержки в сушевой камере слабые повреждения листовой пластины были зафиксированы только у луносемянника даурского. Актинидия коломикта, виноградник аконитолистный и лимонник китайский получили до 50 % повреждений листовой пластины. Сильное повреждение листовой пластины (более 50 %) получила актинидия аргута.

После расчета итогового балла все виды растений были подразделены на три группы по степени устойчивости к суховею (рис. 1):

1-я группа — высокая устойчивость, итоговый балл до 4 включительно (0 видов);

2-я группа — средняя степень устойчивости, итоговый балл от 5 до 7 включительно (2 вида — 40 %);

3-я группа — низкая устойчивость, итоговый балл от 8 до 10 включительно (3 вида — 60 %).

Жароустойчивость — это способность древесно-кустарниковых и травянистых растений переносить без перегрева воздействие высоких и экстремально-высоких температур (свыше 40...45 °C) [16, 17].

При температуре 45 °C сильные повреждения листовой пластины (более 50 %) отмечены только у актинидии аргута, остальные виды не проявили каких-либо признаков повреждения. При температуре 50 °C четыре вида (луносемянник даурский, актинидия коломикта, лимонник китайский, виноградник аконитолистный) получили средние повреждения, актинидия аргута — очень сильные повреждения (почти 100 % площади листа). В дальнейших замерах этот вид уже не учитывался.

После увеличения температуры до 55 °C три вида получили среднюю степень повреждения: актинидия коломикта, лимонник китайский и луносемянник даурский. Сильная степень повреждения была выявлена у виноградника аконитолистного.

При температуре 60 °C сильные повреждения были отмечены у лимонника китайского. Все остальные виды получили очень сильные повреждения и также были исключены из дальнейших замеров.

При температуре 65 °C оставшийся лимонник китайский получил очень сильные повреждения (до 100 % всей площади листа).

По полученным результатам был построен ранжированный ряд жаростойкости (рис. 2). Согласно ему можно отметить самые жаростойкие виды: луносемянник даурский и актинидия коломикта. Самый неустойчивый к воздействию высоких температур вид — актинидия аргута.

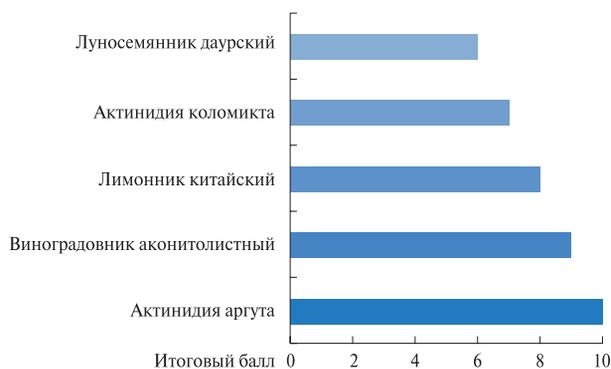


Рис. 1. Ранжирование видов лиан по средней степени устойчивости к суховею

Fig. 1. Ranking of lianas according to the average degree of resistance to dry wind



Рис. 2. Ранжирование видов лиан по средней жаростойкости

Fig. 2. Ranking of lianas according to average heat resistance

Водоудерживающая способность — это способность растений удерживать влагу в листьях, которой обладает каждый растительный вид. Если вид теряет влагу быстро и в большом количестве, то можно говорить о его неустойчивости к засухе в условиях отсутствия атмосферных осадков. Водоудерживающая способность клеток зависит от условий выращивания растений [18]. В частности, большое влияние оказывают условия питания. При оптимальных условиях водоудерживающая способность возрастает, водоотдача за 30 мин составляет 4–6 % исходной величины.

С течением времени меньшая потеря воды отмечается у луносемянника даурского и лимонника китайского, что соответствует повышенной водоудерживающей способности. У двух видов отмечается значительная потеря воды через небольшой промежуток времени, что соответствует низкой водоудерживающей способности, в частности у актинидии аргунта и виноградника аконитолистного. Актинидия коломикта обладает средней степенью водоудерживающей способности (рис. 3).

Многие исследователи [19, 20] указывают на взаимосвязь показателей засухоустойчивости и водного режима растений и их способности противостоять вредному воздействию промышленных газов (сероводорода, оксидов углерода,



Рис. 3. Ранжирование видов лиан по средней водоудерживающей способности

Fig. 3. Ranking of lianas according to average water-retaining power

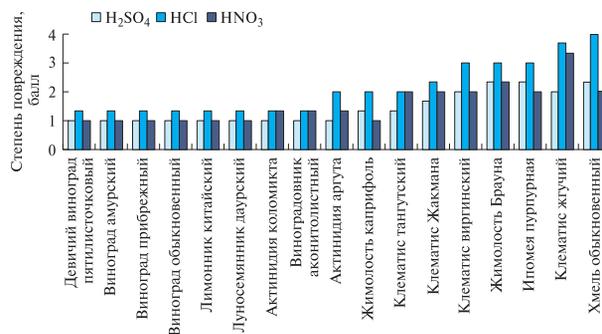


Рис. 4. Ранжирование видов лиан по газостойчивости

Fig. 4. Ranking of lianas according to gas resistance

Т а б л и ц а 5

**Комплексная оценка устойчивости лиан к действию неблагоприятных факторов, баллы**  
**Comprehensive assessment of lianas resistance to unfavorable factors, points**

Название вида	Повреждаемость листьев при имитации суховея	Устойчивость к экстремально высоким температурам	Потери воды	Повреждаемость после воздействия растворов токсикантов, в среднем (по HCl)	Итоговый балл
Актинидия аргута	10	4,5	15,1	2	31,6
Актинидия коломикта	7	3,0	9,1	1,3	20,4
Виноградовник аконитолистный	9	3,3	12,6	1,3	26,2
Лимонник китайский	8	3,2	7,8	1,3	20,3
Луносемянник даурский	6	3,0	8,0	1,3	18,3

*Примечание.* 1 балл = 1 % потери воды к исходному весу образца.

серы, азота и др.), сохраняя свою жизнеспособность, т. е. об их газостойчивости. Отмечено, что виды, стойкие стрессовым факторам, как правило, имеют повышенную газостойчивость. Ослабленные газами растения характеризуются пониженной устойчивостью к воздействию иссушающих факторов. В свою очередь, при оптимизации минерального питания и водоснабжения газостойчивость растений повышается [21].

Изучение газостойчивости растений позволяет точнее определить ассортимент видов, наиболее подходящих для создания долговечных зеленых насаждений в населенных пунктах, а также вокруг предприятий. Изменения в растительном организме зависят от состава и концентрации токсикантов в атмосфере, от выбросов в атмосферу, осуществляемых теми или иными объектами. Растения более чувствительны к таким широко распространенным загрязнителям воздуха, как диоксид серы и азота (SO<sub>2</sub>, NO<sub>2</sub>), фтористые соединения и хлористый водород, по сравнению с животными и человеком [22, 23].

Наиболее сильные повреждения вызывают воздействия соляной кислоты (HCl): актинидия аргута уже при 2%-й концентрации получила слабые некрозы. При воздействии раствора 3%-й концентрации слабые и средние некрозы были отмечены

у всех видов. С увеличением концентрации других кислот (H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>, HNO<sub>3</sub>) внешние признаки изменялись незначительно. Воздействие токсикантов практически не отразилось на состоянии лимонника китайского и луносемянника даурского, причинив им лишь незначительные повреждения. Наименее устойчивым видом, по данным исследования, является актинидия аргута (рис. 4) [24, 25].

По результатам комплексного анализа полученных данных можно сделать вывод о том, что все исследуемые лианы обладают достаточной стойкостью к высоким летним температурам и недостаточному увлажнению (табл. 5). Наиболее перспективными из исследованных видов дальневосточных лиан для озеленения г. Саратова являются луносемянник даурский, актинидия коломикта и лимонник китайский.

Для включения в основной ассортимент городского озеленения можно рекомендовать луносемянник даурский, в дополнительный — актинидию коломикта, лимонник китайский, в ограниченный — актинидию аргута и виноградовник аконитолистный.

**Выводы**

Лианы можно рекомендовать к использованию на территориях различных категорий. Виды, вхо-

дящие в основной ассортимент, пригодны для вертикального озеленения во всех категориях зеленых насаждений, в частности в насаждениях общего (парки, скверы, бульвары и т. д.) и ограниченного пользования (во внутриквартальном озеленении жилых районов, на участках образовательных и лечебных учреждений и т. д.), а также в насаждениях специального назначения (санитарно-защитных зонах промышленных предприятий, вдоль автомобильных и железных дорог и т. д.). Виды, составившие ограниченный и дополнительный ассортимент рекомендуется применять в насаждениях с ограниченным режимом использования.

Для предупреждения повреждений листьев и побегов засухой, а также в целях повышения газоустойчивости растений необходимо регулярно проводить агромероприятия, улучшающие водно-воздушный и пищевой режим почв.

## Список литературы

- [1] Вартазарова Л.С. Некоторые итоги интродукции древесно-кустарниковой флоры Дальнего Востока // Бюл. Главного ботанического сада, 1961. Вып. 42. С. 3–9.
- [2] Онтогенетический атлас: в 8 т. Том VII / под ред. Л.А. Жуковой. Йошкар-Ола: МарГТУ, 2013. 364 с.
- [3] Денисов Н.И. Деревянистые лианы российского Дальнего Востока: автореф. дисс. ... д-ра биол. наук. Владивосток, 2004. 46 с.
- [4] Марченко М.Н., Давыдова Я.А. Вертикальное озеленение и его роль в формировании архитектурной среды города // Научный альманах, 2016, № 4-4(18). С. 397–404.
- [5] Шестаков К.В. Оценка адаптационной способности интродуцентов Европейской и Дальневосточной флор в дендрарии СибГТУ // Плодоводство, семеноводство, интродукция древесных растений: матер. VII Междунар. науч. конф., 15–17 сентября 2004 г., Красноярск / под ред Р.Н. Матвеевой. Красноярск: СибГТУ, 2004. С. 204–208.
- [6] Черепанов С.К. Сосудистые растения России и сопредельных государств (в пределах бывшего СССР). Санкт-Петербург: Мир и семья-95, 1995. 990 с.
- [7] Погода и климат Саратовской области и Саратова. URL: <https://www.meteorovna.ru/klimat/64/Saratovskaya%20Oblast/> (дата обращения 07.04.2020).
- [8] Вигоров Л.И. Практикум по физиологии древесных растений. М.: Высш. шк., 1961. 148 с.
- [9] Дойко Н.М. Засухоустойчивость древесных лиан // Ботанические сады: состояние и перспективы сохранения, изучения, использования биологического разнообразия растительного мира: Тез. докл. Междунар. науч. конф., посвященной 70-летию со дня основания ЦБС, 30–31 мая 2002 г., г. Минск. Минск: Центральный Ботанический сад НАН Беларуси, 2002. С. 91.
- [10] Мацков Ф.Ф. К вопросу о физиологической характеристике сортов яровой пшеницы. М.: Советская ботаника, 1936. С. 98.
- [11] Практикум по физиологии растений / под ред. Н.Н. Третьякова. М.: Агропромиздат, 1990. С. 271.
- [12] Красинский Н.П. Теоретические основы построения ассортиментов газоустойчивых растений // Дымоустойчивость растений и дымоустойчивые сорта. М.; Горький: [Б. и.], 1950. 321 с.
- [13] Илькун Г.М. Газоустойчивость растений. Киев: Наукова думка, 1971. 151 с.
- [14] Заигралова Г.Н. Особенности адаптации североамериканских видов древесных растений в зеленых насаждениях населенных пунктов Саратовской области: дис. ... канд. с.-х. наук: 06.03.04. Саратов, 2002. 189 с.
- [15] Федулов Ю.П., Котляров В.В., Доценко К.А. Устойчивость растений к неблагоприятным факторам среды. Краснодар: КубГАУ, 2015. 64 с.
- [16] К вопросу о жароустойчивости растений. Материалы по интродукции и акклиматизации растений // Тр. ин-та ботаники АН КазССР, 1962. Т. 14. С. 191–213.
- [17] Генкель П. А. Физиология жаро- и засухоустойчивости растений. М.: Наука, 1982. 280 с.
- [18] Удольская Л.Н. Введение в биометрию. Алма-Ата: Наука, 1976. 76 с.
- [19] Климчук А.Т. Особенности фенологии древесных растений при одновременном действии засушливого климата и условий Жезказганского медеплавильного завода // Интродукция растений, сохранение биоразнообразия и зеленое строительство в аридных регионах: материалы Междунар. науч.-практ. конф., посвященной 40-летию создания Мангышлакского экспериментального ботанического сада, Актау, 14–16 июня 2012 г. Актау: Мангышлакский экспериментальный ботанический сад, 2012. С. 86–87.
- [20] Эргашева Г.Н. Древовидные лианы в условиях сухих субтропиков Таджикистана: интродукция, биология, экология и использование: дис. ... д-ра биол. наук. Уфа, 2013. 268 с.
- [21] Косулина Л.Г., Луценко Э.К., Аксенова В.А. Физиология устойчивости растений к неблагоприятным факторам среды. Ростов-на-Дону: РГУ, 1993. 240 с.
- [22] Чудинова Л.А., Орлова Н.В. Физиология устойчивости растений. Пермь: ПГНИУ, 2006. 124 с.
- [23] Кайгородов Р.В. Устойчивость растений к химическому загрязнению. Пермь: ПГНИУ, 2010. 151 с.
- [24] Калмыкова А.Л. Использование лиан в вертикальном озеленении населенных пунктов степи и лесостепи Поволжья: дис. ... канд. с.-х. наук. Волгоград, 2008. 189 с.
- [25] Калугина Н. Дальневосточные лианы // Цветоводство, 2012. № 2. С. 47–49.

## Сведения об авторах

**Заигралова Галина Николаевна** — канд. биол. наук, доцент кафедры «Лесное хозяйство и ландшафтное строительство», ФГБОУ ВО Саратовский ГАУ им. Н.И. Вавилова, [galya.zaigralova@icloud.com](mailto:galya.zaigralova@icloud.com)

**Калмыкова Анна Леонидовна** — канд. с.-х. наук, доцент кафедры «Лесное хозяйство и ландшафтное строительство», ФГБОУ ВО Саратовский ГАУ им. Н.И. Вавилова, [nwuta80@mail.ru](mailto:nwuta80@mail.ru)

**Гусева Екатерина Алексеевна** — аспирант кафедры «Лесное хозяйство и ландшафтное строительство», ФГБОУ ВО Саратовский ГАУ им. Н.И. Вавилова, [katerinkal1989@yandex.ru](mailto:katerinkal1989@yandex.ru)

**Терешкин Александр Валериевич** — канд. с.-х. наук, доцент кафедры «Лесное хозяйство и ландшафтное строительство», ФГБОУ ВО Саратовский ГАУ им. Н.И. Вавилова, [soilzln@mail.ru](mailto:soilzln@mail.ru)

**Азарова Олеся Валентиновна** — канд. с.-х. наук, доцент кафедры «Лесное хозяйство и ландшафтное строительство», ФГБОУ ВО Саратовский ГАУ им. Н.И. Вавилова, [azarovaov@yandex.ru](mailto:azarovaov@yandex.ru)

Поступила в редакцию 05.05.2020.

Принята к публикации 13.07.2020.

## LIANA ADAPTATION LEVEL TO INFLUENCE OF ADVERSE ENVIRONMENTAL FACTORS IN SARATOV CITY

G.N. Zaigralova, A.L. Kalmykova, E.A. Guseva, A.V. Tereshkin, O.V. Azarova

Saratov State Vavilov Agrarian University, 1, Teatralnaya square, 410012, Saratov, Russia

galya.zaigralova@icloud.com

The article is devoted to the actual topic of expansion of assortment of lianas in vertical gardening in Saratov by the use of introduced species of tree lianas from the Far East. Currently, the studied species: *Actinidia arguta*; *Actinidia kolomikta*; *Ampelopsis aconitifolia*; *Schisandra chinensis*; *Menispermum dauricum* — have been distributed in individual land use areas mainly as food crops. It is noted that the far Eastern species of lianas differ in a significant amplitude of biological tolerance of adaptation, have high frost resistance and immunity against diseases. The reason for including these species in the prospective assortment for use in urban plantations is given taking into account a comprehensive assessment of their drought resistance, heat resistance, and resistance to anthropogenic impact. All species are resistant to high summer air temperatures and insufficient humidity, which is typical for the climate of Saratov. The assessment of gas resistance of lianas is given in comparison with the results of studies previously conducted with respect to other species, which allows us to determine possible combinations of plants on landscaping sites. Ranking of species showed that the studied Far Eastern species of lianas have high and medium gas resistance. The obtained data give reason to recommend the studied lianas for use in plantings of various categories in Saratov, depending on the availability of care and air quality. To prevent damage to leaves and shoots by drought, as well as to improve the gas resistance of plants, it is recommended to conduct agro-measures that improve the water-air and food regime of soils in the growing areas.

**Keywords:** vertical gardening, Far Eastern lianas, lianas, urban environment design, green walls

**Suggested citation:** Zaigralova G.N., Kalmykova A.L., Guseva E.A., Tereshkin A.V., Azarova O.V. *Otsenka urovnya adaptatsii lian k vozdeystviyu neblagopriyatnykh faktorov srede v usloviyakh g. Saratova* [Liana adaptation level to influence of adverse environmental factors in Saratov city]. *Lesnoy vestnik / Forestry Bulletin*, 2020, vol. 24, no. 5, pp. 20–27. DOI: 10.18698/2542-1468-2020-5-20-27

### References

- [1] Vartazarova L.S. *Nekotorye itogi introduksii drevesno-kustarnikovoy flory Dal'nego Vostoka* [Some results of the introduction of tree-shrub flora of the Far East]. *Byull. Glavnogo botanicheskogo sada* [Bulletin of the Main Botanical Garden], 1961, v. 42, pp. 3–9.
- [2] *Ontogeneticheskiy atlas. V 8 t. Tome VII.* [Ontogenetic Atlas]. Ed. L.A. Zhukova Yoshkar-Ola: MarGTU [Mari State University], 2013, 364 p.
- [3] Denisov N.I. *Derevyaniyste liany rossiyского Dal'nego Vostoka* [Woody creepers of the Russian Far East]. Diss. ... Dr. Sci. (Biological). Vladivostok, 2004, 46 p.
- [4] Marchenko M.N., Davydova Ya.A. *Vertikal'noe ozelenenie i ego rol' v formirovanii arkhitekturnoy srede goroda* [Vertical gardening and its role in shaping the architectural environment of the city]. *Nauchnyy al'manakh* [Scientific almanac], 2016, no. 4–4(18), pp. 397–404.
- [5] Shestak K.V. *Otsenka adaptatsionnoy sposobnosti introdutsentov Evropeyskoy i Dal'nevostochnoy flor v dendrarii SibGTU* [Assessment of adaptive capacity of introduced European and far Eastern flora in the arboretum of Siberian State University of Science and Technology]. *Plodovodstvo, semenovodstvo, introduktsiya drevesnykh rasteniy: materialy VII Mezhdunarodnoy nauchnoy konferentsii* [Fruit growing, seed growing, introduction of woody plants: Materials of the VII International scientific conference] Krasnoyarsk, 15–17 sentyabrya 2004 g. Krasnoyarsk: SibGTU, 2004, pp. 204–208.
- [6] Cherepanov S.K. *Sosudistye rasteniya Rossii i soprodel'nykh gosudarstv (v predelakh byvshego SSSR)* [Vascular plants of Russia and neighboring States (within the former USSR)]. Sankt-Petersburg: Mir i sem'ya-95, 1995, 990 p.
- [7] *Pogoda i klimat Saratovskoy oblasti i Saratova* [Weather and climate of the Saratov region and Saratov] Available at: <https://www.meteonova.ru/klimat/64/Saratovskaya%20Oblast/> (accessed 07.04.2020).
- [8] Vigorov L.I. *Praktikum po fiziologii drevesnykh rasteniy* [Practicum on the physiology of woody plants]. Moscow: Vysshaya shkola, 1961, 148 p.
- [9] Doyko N.M. *Zasukhoustoychivost' drevesnykh lian* [Drought resistance of woody vines]. *Botanicheskie sady: sostoyanie i perspektivy sokhraneniya, izucheniya, ispol'zovaniya biologicheskogo raznoobraziya rastitel'nogo mira, tezisy dokladov Mezhdunarodnoy nauchnoy konferentsii, posvyashchennoy 70-letiyu so dnya osnovaniya TsBS, g. Minsk, 30–31 maya 2002 g.* [Botanical gardens: state and prospects of conservation, study, use of biological diversity of the plant world: TEZ. Dokl. International scientific conference dedicated to the 70th anniversary of the founding of the Central Botanical garden of the national Academy of Sciences of Belarus]. Minsk: Tsentral'nyy Botanicheskiy sad NAN Belarusi, 2002, p. 91.
- [10] Matskov F.F. *K voprosu o fiziologicheskoy kharakteristike sortov yarovoy pshenitsy* [On the question of the physiological characteristics of spring wheat varieties]. Moscow: Sovetskaya botanika, 1936, p. 98.
- [11] Tret'yakov N.N. *Praktikum po fiziologii rasteniy* [Practicum on plant physiology]. Moscow: Agropromizdat, 1990, p. 271.
- [12] Krasinskiy N.P. *Teoreticheskie osnovy postroyeniya assortimentov gazoustoychivyykh rasteniy* [Theoretical bases of constructing gas-resistant plant assortment]. *Dymoustoychivost' rasteniy i dymoustoychivye assortimenty* [Smoke resistance of plants and smoke-resistant assortments] Moscow, Gor'kiy, 1950, 321 p.
- [13] Il'kun, G.M. *Gazoustoychivost' rasteniy* [Gas Resistance of plants]. Kiev: Naukova dumka, 1971, 151 p.

- [14] Zaigralova G.N. *Osobnosti adaptatsii severoamerikanskikh vidov drevesnykh rasteniy v zelenykh nasazhdeniyakh naselennykh punktov Saratovskoy oblasti*: Diss. ... Candidate of agricultural sciences [Features of adaptation of North American species of woody plants in green spaces of settlements of the Saratov region]. Diss. ... Cand. Sci. (Agric.). Saratov, 2002, 189 p.
- [15] Fedulov Yu.P. *Ustoychivost' rasteniy k neblagopriyatnym faktoram sredy* [The resistance of plants to adverse environmental factors]. Krasnodar: KubGAU, 2015, 64 p.
- [16] *K voprosu o zharoustoychivosti rasteniy. Materialy po introduktsii i akklimatizatsii rasteniy* [On the issue of heat resistance of plants. Materials on introduction and acclimatization of plants] Tr. in-ta botaniki AN KazSSR. [Proceedings of the Institute of botany of the Kazakh SSR], 1962, t. 14, pp. 191–213.
- [17] Genkel' P.A. *Fiziologiya zharo- i zasukhoustoychivosti rasteniy* [Physiology of heat and drought resistance of plants]. Moscow: Nauka [Science], 1982, 280 p.
- [18] Udol'skaya L.N. *Vvedenie v biometriyu* [Introduction to biometrics]. Alma-Ata: Nauka [Science], 1976, 76 p.
- [19] Klimchuk A.T. *Osobnosti fenologii drevesnykh rasteniy pri odnovremennom deystvii zasushlivogo klimata i usloviy Zhezkazganskogo medeplavil'nogo zavoda* [Features of the phenology of woody plants under the simultaneous action of arid climate and conditions of the Zhezkazgan copper smelter]. Introduktsiya rasteniy, sokhranenie bioraznoobraziya i zelenoe stroitel'stvo v aridnykh regionakh: materialy Mezhdunarodnoy nauchno-prakticheskoy konferentsii, posvyashchennoy 40-letiyu sozdaniya Mangyshlaskogo eksperimental'nogo botanicheskogo sada [Materials of the international scientific and practical conference dedicated to the 40th anniversary of the Mangyshlak experimental Botanical garden]. Aktau, 14–16 June 2012. Aktau: Mangyshlaskiy eksperimental'nyy botanicheskiy sad, 2012, pp. 86–87.
- [20] Ergasheva G.N. *Drevovidnye liany v usloviyakh sukhikh subtropikov Tadjikistana: introduktsiya, biologiya, ekologiya i ispol'zovanie* [Tree-like lianas in the conditions of dry subtropics of Tajikistan: introduction, biology, ecology and use]: Diss. ... Dr. Sci. (Biological). Ufa, 2013, 268 p.
- [21] Kosulina L.G. *Fiziologiya ustoychivosti rasteniy k neblagopriyatnym faktoram sredy* [Physiology of plant resistance to adverse environmental factors]. Rostov-na-Donu: RGU, 1993, 240 p.
- [22] Chudinova, L.A. *Fiziologiya ustoychivosti rasteniy* [plant Resistance to chemical contamination]. Perm': PGNIU, 2006, 124 p.
- [23] Kaygorodov R.V. *Ustoychivost' rasteniy k khimicheskomu zagryazneniyu* [Resistance to chemical contamination]. Perm': PGNIU, 2010, 151 p.
- [24] Kalmykova A.L. *Ispol'zovanie lian v vertikal'nom ozelenenii naselennykh punktov stepi i lesostepi Povolzh'ya* [The use of lianas in vertical gardening of settlements in the steppe of the Volga forest-steppe]. Dis. Cand. Sci. (Agricultural). Volgograd, 2008, 189 p.
- [25] Kalugina N. *Dal'nevostochnye liany* [Eastern lianas] Tsvetovodstvo [Floriculture], 2012, no. 2, pp. 47–49.

## Authors' information

**Zaigralova Galina Nikolaevna** — Cand. Sci. (Biology), Associate Professor of the Department of «Forestry and Landscape Construction», Saratov State Agrarian University named after N.I. Vavilova, galya.zaigralova@icloud.com

**Kalmykova Anna Leonidovna** — Cand. Sci. (Agriculture), Associate Professor of the Department of «Forestry and Landscape Construction», Saratov State Agrarian University named after N.I. Vavilova, nwuta80@mail.ru

**Guseva Ekaterina Alekseevna** — Post-graduate student of the Department «Forestry and landscape construction», Saratov State Agrarian University named after N.I. Vavilova, katerinkal1989@yandex.ru

**Tereshkin Aleksandr Valerievich** — Cand. Sci. (Agriculture), Associate Professor of the Department of «Forestry and Landscape Construction», Saratov State Agrarian University named after N.I. Vavilova, soilzln@mail.ru

**Azarova Olesya Valentinovna** — Cand. Sci. (Agriculture), Associate Professor of the Department of «Forestry and Landscape Construction», Saratov State Agrarian University named after N.I. Vavilova, azarovaov@yandex.ru

Received 05.05.2020.

Accepted for publication 13.07.2020.

## О РОЛИ ПРИРОДНОГО ОКРУЖЕНИЯ В РАЗВИТИИ И ФОРМИРОВАНИИ КУЛЬТУРНЫХ ЛАНДШАФТОВ ГУРЗУФА И ТЕРРИТОРИИ МДЦ «АРТЕК»

Л.А. Леонов

ФГБУ «Международный детский центр «Артек», 298645, Республика Крым г. Ялта, пгт. Гурзуф, Ленинградская ул., д. 82  
1006710@mail.ru

В статье рассматриваются природные, исторические и архитектурные особенности развития культурных ландшафтов территории МДЦ «Артек». Приведен анализ длительной истории этого уникального места Южного берега Крыма. Дается краткий анализ функционально-планировочные зон и краткая характеристика существующей застройки Гурзуфа и Артека. Показаны взаимосвязи архитектурных и планировочных особенностей территории лагеря не только с историей развития данной местности, но и ее ландшафтными особенностями. Подробно разбираются архитектурные особенности строительства детского лагерного комплекса, вписанного в окружающий природный ландшафт. Для иллюстрации текстового материала представлено 10 рисунков, даются ссылки на 22 литературных источника, в конце статьи приводятся выводы.

**Ключевые слова:** Гурзуф, МДЦ «Артек», Южный берег Крыма (ЮБК), исторические планировочные зоны, ландшафтные особенности, культурный ландшафт, конструктивный элемент-модуль

**Ссылка для цитирования:** Леонов Л.А. О роли природного окружения в развитии и формировании культурных ландшафтов Гурзуфа и территории МДЦ «Артек» // Лесной вестник / Forestry Bulletin, 2020. Т. 24. № 5. С. 28–38. DOI: 10.18698/2542-1468-2020-5-28-38

Международный детский центр «Артек» (МДЦ «Артек») — всегда был визитной карточкой культурно-социальной жизни Крыма, его гордостью. После воссоединения полуострова с Россией пристальное внимание правительства Российской Федерации было уделено МДЦ «Артек» и его проблемам. Восстановить былую славу места отдыха и развития детей — стало долгом и честью для страны.

Ландшафты МДЦ «Артек», будучи составной частью пгт. Гурзуф, представляют большой интерес для специалистов. До революции территорию лагеря занимали имения богатых и знаменитых людей Российской империи, которые создали там архитектурные здания и сооружения, характерные для начала XX века, и вокруг них разбили рукотворные парки. Так, в пределах МДЦ «Артек» имеется пять парков-памятников, которые представляют собой ценность для садово-паркового искусства нашей страны. Их высокая, историческая, художественная и санитарно-гигиеническая ценность объясняются уникальной взаимосвязью архитектуры и окружающих ландшафтов.

Казалось бы, такой общеизвестный факт не надо доказывать. Однако за последние 30 лет (принадлежности Крыма к Украине) в нашей стране выросло целое поколение руководителей-менеджеров, выросших на материковой части России, которые не обладают знаниями об уникальных горных ландшафтах Южного берега Крыма (ЮБК). И нам пришлось изучить большое количество исторических данных по освоению Гурзуфа и, в частности урочища Артек, чтобы

выявить факты, доказывающие, что к территории лагеря нельзя относиться с теми же мерками, как и к равнинным ландшафтам Краснодарского края и Беларуси. ЮБК — это уникальный уголок горного Крыма, аналог которого невозможно найти нигде в мире. И он достоин того, чтобы новое руководство «Артека» узнало об его уникальности, начав бережно относиться к его культурным ландшафтам, сложившимся в активной сейсмической зоне, и продолжало сохранять традиции отечественного курортостроения.

### Цель работы

Цель работы — на основании литературных источников заново выявить ландшафтные, планировочные и функциональные особенности территорий лагерей МДЦ «Артек» и доказать их уникальность, требующую дальнейшего сохранения.

### Методика исследования

Одной из главных причин настоящего исследования стало отсутствие фундаментальных исторических полноценных сведений об уникальности указанной территории. Известные литературные источники отличаются отсутствием структурированности и систематизации представленного материала в них, отражают слабую изученность архивных источников в большинстве из них. Несмотря на объективную необходимость создания единого, систематизированного перечня документов по истории местности, актуального для настоящего времени, отметим, что задача до сих пор не решена в полной мере, а ее выполне-

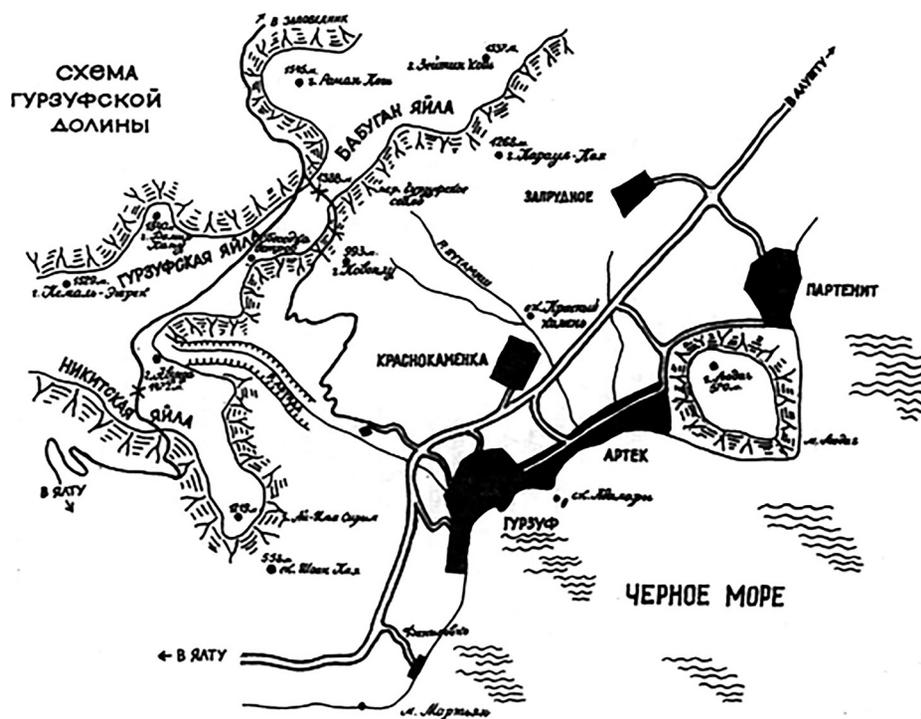


Рис. 1. План-схема Гурзуфской долины [3]  
Fig. 1. The plan-scheme of the Gurguzf valley [3]

ние сопряжено с некоторыми проблемами. Документы размещены в разных фондах, и полный их перечень отсутствует [1].

Нами сделана попытка частично восполнить пробел по истории градостроительного и архитектурного развития МДЦ «Артек» как составной части пгт. Гурзуф. Мы также столкнулись с проблемой несоответствия сведений в исторических источниках с имеющейся современной информацией по данному вопросу. В связи с этим представляем результат наших исследований, напрямую связанный с поставленной задачей. Поскольку территория МДЦ «Артек» развивалась одновременно с Гурзуфом — одним из первых русских курортов начала XX в., необходимо было провести литературный обзор, выполненный по общепризнанной методике, по двум направлениям: 1) историко-архивная экспертиза литературных источников по Гурзуфу; 2) историко-архивная экспертиза по развитию территории МДЦ «Артек».

**Ландшафтные особенности пгт. Гурзуф.** Современный Гурзуф — небольшой курортный городок на Южном берегу Крыма (ЮБК), в составе Большой Ялты, расположенный в небольшой Гурзуфской долине, между городами Алушта и Ялта. Характерной особенностью Гурзуфской долины является ее замкнутость и уединенность (рис. 1). Площадь долины составляет примерно 30 км<sup>2</sup>. С юга она ограничена берегом Черного моря, а с остальных трех сторон — живописными горными хребтами: на востоке — это Аю-Даг

(высота над у. м. составляет 570,8 м), покрыты преимущественно широколиственными лесами, которые представляют такие породы, как ясень, дуб пушистый, граб, клен, терпентиновые деревья, а также кустарники и травы — жасмин, ладанник и др. [2]. На западе к морю спускается Никитская яйла, которая завершается мысом Мартьян, а на севере возвышается Главная гряда Крымских гор. Расстояние между Аю-Дагом и мысом Мартьян по воздуху составляет 9 км (по автомобильной дороге — 18,8 км), береговая линия протянулась примерно на 12 км [3]. В путеводителе Москвича Г.Г. упоминается, что «мыс Мартьян сплошь зарос можжевельником. Обогнув его, впереди на востоке, вырастает во всей красе Аю-Даг (Медведь гора). За Мартьяном тянутся обширные Ай-Данильские удельные виноградники, сливающиеся с виноградниками имения Гурзуф» [4].

Гурзуфская долина как будто скрыта в самом центре ЮБК, загораживает склон Никитской яйлы, поэтому она не видна ни из Ялты, ни с горы Ай-Петри. Своеобразие, замкнутость Гурзуфской долины создали в ней микроклиматические условия и обусловили появление неповторимого по красоте уголка природы, главной особенностью которого стал горный амфитеатр, окружающий городок [5].

Территорию современного Гурзуфа можно условно подразделить на четыре жилых района: 1) *старый Гурзуф*; 2) *современный Гурзуф*; 3) *набережная Гурзуфа*; 4) *МДЦ «Артек»*.



Рис. 2. Улицы Гурзуфа  
Fig. 2. The Streets of Gurzuf

*Старый Гурзуф* расположен в приморской, нижней части поселка и относится к древнейшему приморскому поселению. В его центральной части преобладает малоэтажная застройка, характерная для данной местности. В конце XIX в. начали появляться двух- трехэтажные пансионаты, предназначенные для семейного или общественного отдыха, с характерной для ЮБК архитектурой. До сих пор сохранился дореволюционный колорит зданий, между которыми проложены узкие и кривые улочки [6].

*Современный Гурзуф* располагается над старым городом и представляет собой жилые районы, застроенные в 60–80 годы XX в. участки с многоэтажными домами. Местные жители называют эту часть города «микрорайоном». В нем есть почта, школа, поликлиника, клуб, несколько библиотек, дом быта и сосредоточена основная часть населения.

*Набережная Гурзуфа* — самая популярная часть города, вытянувшаяся дугой вдоль морского берега, с санаториями, пляжами, ресторанами и прочими курортными атрибутами.

МДЦ «Артек» раскинулся от восточной окраины Гурзуфа вдоль берега моря до самого Аю-Дага и занимает территорию в 208 га [7].

**Планировочные и архитектурные особенности Гурзуфа.** Застройка поселения велась в три этапа:

I этап — конец XVIII в. — начало XIX в.;

II этап — конец XIX в. — начало XX в.;

III этап — 40–60 годы XX в.;

IV этап — 2014 г. — настоящее время, ознаменовавшийся строительством новых многоэтажных зданий как в пределах Гурзуфа, так и МДЦ «Артек», в частности нового лагеря «Солнечный», объединяющего весь детский центр в единый комплекс.

На характер застройки территории повлиял сложный рельеф местности. Специфические топографические условия непосредственно отобра-

зились в композиционных условиях улиц Гурзуфа, так как влияние природных факторов на формирование уличной застройки оказалось решающим. Практически все расположенные здесь улицы относятся к элементам планирования, органично связанным с пластичными формами рельефа (рис. 2) [8]. Ниже автодороги с указателем «Артек», располагается детский лагерь. Сложный рисунок дорог говорит о том, что все они проложены в соответствии с рельефом и практически все являются историческими.

Планировка и формирование территории современного МДЦ «Артек», в основном, относится ко II этапу, когда были выработаны основные принципы городской застройки. Особые природные свойства ландшафта, многочисленные исторические памятники, использование местных строительных материалов, сочетание регулярной планировки с принципами застройки, придавали каждому городу на полуострове индивидуальный и хорошо узнаваемый облик [9], в том числе и Гурзуфу.

Для исторического Гурзуфа была характерна стихийная застройка. Старые дороги и тропы позднее были расширены и на их основе созданы современные улицы, из-за чего отсутствует геометрическая планировка поселения.

Территория города всегда подразделялась на две основные зоны: 1) курортную; 2) жилую.

*Курортная зона* (рекреационная) всегда располагалась вдоль моря [10].

*Жилая зона* представлена домами усадебного типа. Это дома местных жителей, представляющие собой невысокие здания из камня с плоской кровлей и небольшими окнами, по обыкновению выходящими на пристроенную галерею, защищенную от солнечных лучей (рис. 3) [11].

В 1920-е годы после окончания гражданской войны Крым приобрел значение важнейшего ку-



Рис. 3. Малоэтажная застройка Старого Гурзуфа  
Fig. 3. The Low-rise buildings in old Gurzuf

порта страны из числа наиболее старых приморских курортов бывшего СССР с самой богатой историей формирования. Разработка проектов для крымских курортов началась еще до революции, когда по инициативе частных предпринимателей и акционерных обществ на побережье стали создавать коммерческие курорты Гурзуф, Суук-Су, Меллас, Алупка и др. Курорты проектировались по западноевропейскому образцу [12].

Одновременно с санаториями для взрослых в Евпатории, Ялте, Симеизе, Феодосии, Гурзуфе и других населенных пунктах Крыма открывались оздоровительные учреждения для детей и подростков. В 1925 г. был создан детский лагерь «Артек». В настоящее время — это круглогодичная детская здравница, на территории которой расположено более 150 современных зданий и сооружений [13].

По архитектурной композиции МДЦ «Артек» представляет собой комплекс отдельных лагерей. Легкие, нарядные по окраске модули из сборного железобетона и стекла, вынесенные наружу лестницы, открытые галереи и навесы позволили создать корпуса разных размеров и объемов. За счет этого архитекторам удалось достичь максимального раскрытия внутреннего пространства лагеря. Весь комплекс представляет собой неповторимый и удачный пример синтеза природы, архитектуры и монументально-декоративного искусства (витражей, мозаичных панно и т. п.) [11].

**Природные, исторические и архитектурные особенности территории МДЦ «Артек».** МДЦ «Артек» расположен в уникальном уголке Крыма. Особую живописность его территории придают три горных массива, два из которых сложены верхнеюрскими мраморовидными известняками, залегающим на глинистых сланцах и являющимися отторженцами Главной гряды:

1) гора-холм Болгатур (Балгатуры) со скалой Дженебез-Кая (лагерь «Кипарисный»);

2) Сууксинский массив со скалами Адалары (лагерь «Лазурный»);

3) Аю-Даг, сложенный интрузивными (глубинными) породами — габбро-диабазами и габбро-диоритами (их возраст 16 млн лет).

Бабуган-яйла — самый высокий горный массив в Крымских горах, является частью Главной горной гряды и закрывает холодным северным ветрам доступ на артековское побережье. Наивысшая точка Бабуган-яйлы — 1545 м над у. м., это гора Роман-Кош (см. рис. 1). Прибрежные морские отложения составляют песчаники и известняки. Галька на берегах — крупная, так как мелкий песок уносится волнами в море и оседает в области подводной террасы. Более крупные частицы под действием волн прибывают к берегу. На берегу моря можно найти образцы таких горных пород, как: таурит, диорит, брекча, песчаник, глинистый сланец, известняк серый и розовый и очень редко, в друзах — кристаллики горного хрусталя и кристаллы пирита [14].

Восточная часть Гурзуфа с МДЦ «Артек» в архитектурно-планировочном решении представляет собой исторический ландшафт, состоящий из разнохарактерных и разновременных застроек. Особенностью его среды является тесно увязанная с рельефом, живописная планировка архитектурных комплексов и малоэтажная, индивидуальная жилая застройка, включающая в себя отдельные ценные здания бывших вилл. Структура рельефа и микрорельефа предопределила особенности визуального восприятия данного района, его композиции и характер планировки [15], что на сегодняшний день составляет его архитектурно-планировочную ценность и уникальность.

Изначальная функция гурзуфской курортной зоны определила характер невысокой застройки, среди которой особое внимание уделялось озеленению имений. В целом застройка этого района



Рис. 4. Общий вид на дворец Суук-Су в начале XX в. и после Великой Отечественной войны  
 Fig. 4. The General view of the Suuk-Su Palace at the beginning of the 20th century and after The World War II



*a*



*б*

Рис. 5. Дача Гучкова (*a*) и дача Кавкасидзе (*б*)  
 Fig. 5. Guchkov's Dacha (*a*) and Kawkasidze's Dacha (*б*)

в архитектурно-историческом отношении достаточно однородна. Однако по объемно-пространственным решениям и образности это чрезвычайно разнообразная и яркая картина. Именно в разнообразии каждого имения заключается историко-культурное наследие данного района.

Старинные дачи лагеря «Лазурный» сохраняют колорит известного аристократического курорта начала XX в. Суук-Су. Дворец Суук-Су является доминантой лагеря. Столовая «Лазурного», построенная в 1954 г. в стиле дворцовой архитектуры, состоит из трех залов: розового, синего и зеленого, что поддерживает дух старины. Однако изюминку «Лазурного» составляют природные комплексы — Пушкинская площадка с изумительным по красоте подводным гротом и три знаменитые скалы — Адалары и Скала Шаляпина. Ниже лагеря располагается прекрасный песчаный пляж, упирающийся в Пушкинский грот [12].

Лагерь «Лазурный» имеет уникальную историю и архитектуру и является городком, создан-

ным на базе фешенебельных российских курортов начала XX в., здесь до сих пор сохранилось ретроочарование. Поэтому при любой реконструкции зданий или сооружений, возведении новой инфраструктуры важно учитывать историческую планировку, чтобы не допустить диссонанс архитектуры с окружающим ландшафтом, и это должно иметь приоритетное значение (рис. 4) [11].

Лагерь «Кипарисный» — самый западный на территории МДЦ «Артек» и расположен по другую сторону Скалы Шаляпина. В настоящее время он включает в себя дачи: «Гуровскую», «Назарова (Гучкова)» и дачу княгини Кавкасидзе (рис. 5). Прибрежная полоса «Кипарисного» выходит в залив Гурзуфа, и в центре лагеря находится пляжный комплекс, расположенный в непосредственной близости от Генуэзской скалы. В старину она называлась Дженевет-Кая (средневековый памятник археологии) [13]. На ней сохранились остатки оборонительных сооружений, которые достигают 40 м в длину и толщиной стены от 3 до 4 м, а их наибольшая высота над



Рис. 6. Урочище Артек, детский лагерь, 1925 г.  
Fig. 6. The Natural boundary Artek, children's camp 1925

скальным основанием Утеса Дженеветс-Кая составляет от 5 до 6 м [16].

На территории лагеря «Кипарисный» также располагается крепость «Горзувиты» (VI–XV вв.) — памятник археологии федерального значения, которая включает в себя:

- цитадель;
- часовню и цистерны на верхней площадке крепости (руины);
- трехапсидную базилику (руины);
- внешнюю оборонительную стену (руины).

Из архитектурных сооружений наиболее интересна дача княгини Кавкасидзе — памятник архитектуры местного значения, XIX в. Здание имеет два этажа, высота первого этажа — 3,1 м, второго — 3,5 м. Общая высота здания от конька крыши составляет 8,665 м. Не менее привлекательна дача Гучкова (дача № 3), также памятник архитектуры местного значения (XX в.). Здание — двухэтажное с подвалом и чердачным помещением. Общая высота здания составляет 11,045 м, размеры в осях 19,85×24,65 м (рис. 5) [11].

Имеются исторические здания и на территории лагерей «Морской» и «Горный». Они связаны с именами владельцев здешних земель: Олизара, Потемкиных, Гартвиса, Виннера, Метальниковых. В настоящее время их используют для нужд лагерей. В «Морском» сохранился крошечный домик, в котором жил основатель лагеря-санатория «Артек» для детей, страдающих туберкулезной интоксикацией, председатель Российского общества Красного креста З.П. Соловьев во время своих посещений. Предположительно дореволюционная история этого здания связана с именем французской графини де ла Мотт, ставшей прототипом Миледи — героини романа Александра Дюма «Три мушкетера» [13].

С лета 1923 г., когда в стране начали создавать первые пионерские лагеря, организаторы отдыха детей руководствовались лозунгом «Юному пионеру — здоровое лето!». Но тогда еще никто

не знал и не представлял, как дать пионеру здоровое лето, что это означает на деле. Устроители первых лагерей, не имея опыта их организации, вынужденно копировали бойскаутские воензированные лагеря со всеми их традиционными атрибутами.

Однако пионерии Советского Союза были нужны оздоровительно-воспитательные детские учреждения принципиально нового характера. Необходимо было найти тип разумно и рационально устроенного пионерского лагеря, где в комплексе сочетались бы вопросы оздоровления и воспитания детей [7].

Поэтому в далеком 1925 г. и появился первый детский лагерь в урочище Артек, он состоял всего из четырех палаток на берегу моря (рис. 6). Но уже в середине весны 1928 г. появились первые шесть деревянных домиков светло-голубого цвета, которые располагались на площадке среди весенней зелени. Внутреннее убранство домиков было таким же скромным и простым, как и в палатках: вдоль стен стояли железные кровати, между ними тумбочки, у каждой кровати табурет, в центре размещался рабочий стол и вешалка для верхней одежды, еще была деревянная кадка с блестящим медным краном для питьевой воды [13].

В 1929 г. советское правительство приняло решение об увеличении пропускной способности лагеря «Артек». С учетом климатических условий ЮБК было решено построить санаторный корпус для круглогодичного пребывания детей. В тот же год был заложен первый камень в фундамент будущего санаторного здания. К 1937 г. архитекторы И. Леонидов, Л. Богданов, М. Чалый разработали проект лагеря, но он не был реализован [17, 18].

К 1954 году был разработан новый проект планировки под названием «Большой Артек», авторы проекта — архитекторы С. Каневский и Е. Сорокина. Проектное решение предусматривало

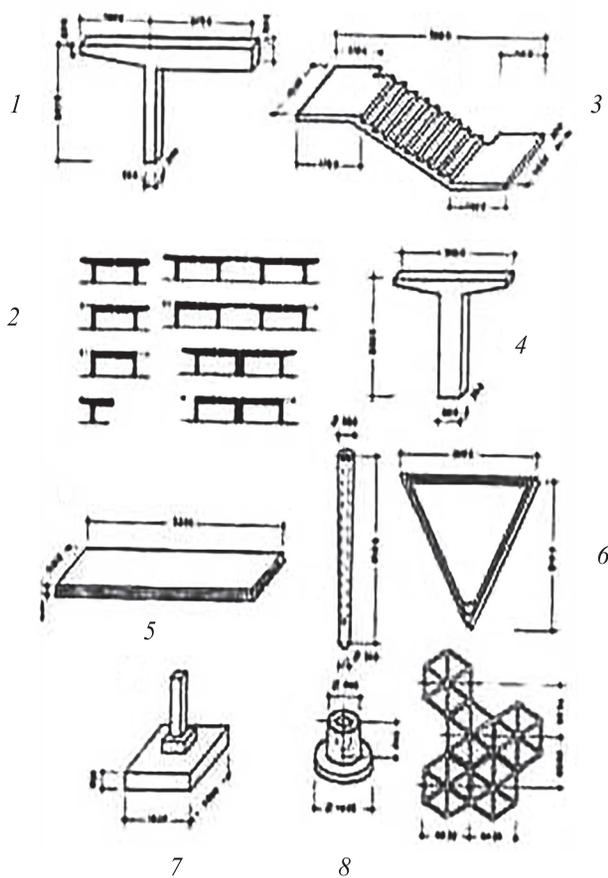
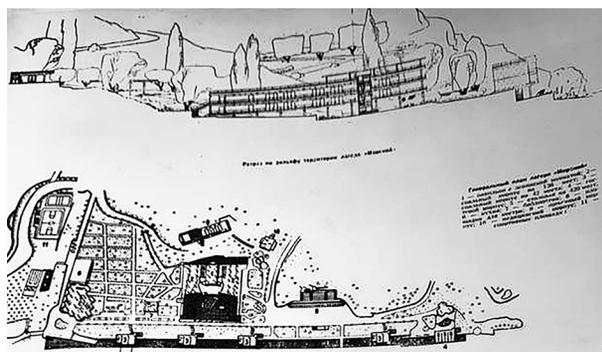


Рис. 7. Перечисленные унифицированные железобетонные детали и построенные корпуса из них: 1 — полурама каркаса зданий; 2 — настил перекрытия; 3 — лестничный марш с консольными площадками; 4 — Т-образная консольная опора лестничных маршей; 5 — стойки грибовидного перекрытия; 6 — треугольный элемент грибовидного перекрытия; 7, 8 — фундаментные блоки

Fig. 7. The listed unified reinforced concrete parts and constructed buildings: 1 — semi-frame of the building frame; 2 — flooring; 3 — flight of stairs with cantilever platforms; 4 — T-shaped console support of flights of stairs; 5 — posts of the mushroom slab; 6 — triangular element of the mushroom slab; 7, 8 — foundation blocks



а

б

Рис. 8. МДЦ «Артек». Комплекс «Морской»: а — разрез по рельефу и генплан; б — панорама пионерского лагеря «Прибрежный»

Fig. 8. ICC Artek. The «Marine» complex: relief cut and master plan (a); panorama of pioneer camp «Coastal» (b)

организацию разбросанных по побережью территорий на протяжении 6 км и объединение их в общий комплекс площадью 400 га [17]. Проект не был реализован.

В начале 1960–1970 гг. в Артеке развернулось большое строительство: был разработан и воплощен в жизнь проект «Новый Артек» архитектурной мастерской, возглавляемой академиком архитектуры А.Т. Полянским, включающий комплексы лагерей «Прибрежный», «Горный» и «Морской»

[19]. При разработке генерального плана архитекторы максимально учли все природные особенности проектируемой территории. План шести пионерских лагерей представлял собой не сухую геометрическую схему, а живую композицию, тесно связанную с природным окружением.

Перед архитекторами и строителями стояла задача на неосвоенных территориях с различными геологическими условиями построить комплекс зданий различного назначения: от больших двор-



цов, спальных корпусов, столовых, бассейнов — до игровых площадок и беседок, увязав их с окружающим ландшафтом. Для создания самых разнообразных типов сооружений и сокращения сроков строительства проектировщики стремились найти такие архитектурные формы, которые позволили бы применить при строительстве полнейшую индустриализацию и сборность [11]. Была также поставлена задача — найти новые архитектурные формы. Такое решение было найдено — унификация объемного модуля, позволяющая получить различные по планировке и назначению здания из разнообразных взаимозаменяемых элементов [20].

Это стало главной направляющей в архитектуре сооружений здравницы «Артек». В дальнейшем комплексный метод получил распространение в массовом курортном строительстве (новые корпуса здравниц в Ялте, Мисхоре, Сосновой Роще, Гурзуфе, Одессе и др.).

Таким образом, разработка и внедрение комплексного метода в архитектуре МДЦ «Артек» позволило ЦНИИЭП лечебно-курортных зданий широко распространить его в массовом курортном строительстве. Появились такие понятия как «метод «Артека», «артековские унифицированные конструкции». Используя метод унификации объемного модуля в «Артеке» с 1962 по 1967 гг. построили лагерь комплексов «Прибрежный» и «Горный», а также пионерский лагерь «Морской» [21].

При строительстве лагерей происходил поиск архитектурно-конструктивных элементов и различных комбинаций, которые давали ли бы возможность создавать здания различного назначения. Творческой лабораторией, на базе которой развивался Новый Артек, стал лагерь «Морской». В ходе проектных работ были проверены различные архитектурно-планировочные и конструктивные решения и найдены два основных конструктивных элемента-модуля:

1) одноэтажный прямоугольный объем, или комната площадью 40 м<sup>2</sup> с частью галереи и лестницей;



Рис. 9. Оформление внутреннего пространства комплекса лагерей «Морской» и «Прибрежный»

Fig. 9. The design of the internal space of the complex of camps «Marine» and «Coastal»

2) объем, образованный тремя стойками с грибовидным перекрытием, или, архитектурно-конструктивный элемент беседки.

Каждый архитектурно-конструктивный элемент состоял из шести унифицированных железобетонных деталей (рис. 7) [20].

Одним из самых характерных черт комплекса «Морской» является слияние его архитектуры с окружающей природой. В организацию архитектурно-пространственной композиции лагеря активно включены все природные компоненты естественной среды — море, цепь прибрежных гор, вечнозеленые субтропические растения, которые служат не фоном, а органической частью комплекса (рис. 8).

Тот же принцип создания пронизанной природой архитектуры применен и при строительстве лагеря «Прибрежный». И несмотря на то что все здания комплекса смонтированы из унифицированных железобетонных деталей, они все различны и вписываются в окружающий ландшафт. Архитектор В. Бутузов справедливо считал, что здание, площадки и аллеи расположены в нем с предельным использованием особенностей рельефа [22].

Из таких деталей созданы все 70 лагерных сооружений Нового Артека. Впервые в практике строительства в сейсмически активном оползневом районе со сложным рельефом были возведены здания из ранее изготовленных элементов. Конструкции всех сооружений выполнены их унифицированных сборных железобетонных элементов шести типов. Наряду с железобетонными материалами широко применялись стекло, алюминий, асбоцемент, цветные пластики и другие новейшие материалы того времени (рис. 9). Разнообразие новых сооружений Артека из типовых элементов объясняется различной этажностью, протяженностью, посадкой на рельеф, благоустройством, цветовым решением и объемным решением в целом, в зависимости от своего назначения [20].

Таким образом, архитектурный комплекс лагеря тесно связан с окружающим ландшафтом. Архитектура дополнила природу, а природа,



**Рис. 10.** Современные корпуса лагеря «Морской»  
**Fig. 10.** The Modern buildings of Camp «Marine»

в свою очередь, обогатила архитектуру; они оказались неразрывно связаны между собой, составляя единое гармоничное целое. Новая архитектура Артека стала близка и понятна детям, обогащала внутренний мир ребенка, развивала его художественный вкус и оказывала большое воздействие на духовный рост личности [11]. За проект комплекса лагерей «Прибрежный» в 1967 году академику А.Т. Полянскому и его мастерской была присуждена Государственная премия в области архитектуры [19].

#### **Характеристика существующей застройки.**

Территория МДЦ «Артек» характеризуется мягким средиземноморским субтропическим климатом, включает в себя 60 га парков и 42 га пляжей. Артек состоит из девяти лагерей, пять из которых работают круглый год, а четыре — только в теплый сезон. В летний период одновременно лагерь может принять до 5000 ребят возрастом с 8 до 17 лет.

Инфраструктура МДЦ «Артек» высоко экономична и технологична, включает в себя — 36 спальных корпусов (рис. 10), 10 столовых, автопарк, медицинский комплекс, порт с возможностью стоянки 75 детских яхт, детскую флотилию, теплоход «Артек» на 150 мест, пять гостиниц и даже собственную полицию и почту. Для детей работают 47 студий дополнительного образования, две библиотеки, четыре музея, 11 оборудованных спортивных площадок и кортов, четыре открытых бассейна, дворец спорта с гимнастическими и тренажерными залами, закрытым бассейном с морской водой. На территории также имеется центральный стадион на 7500 мест, соответствующий всем международным нормам, и школа на 1272 места, которая по благоустройству является одной из лучших школ в Восточной Европе.

#### **Выводы**

1. Для всего Гурзуфа и, в частности, для МДЦ «Артек» характерно доминирование орографических и природных факторов, которые повлияли на планировочные и функциональные зоны

поселения. Структура рельефа и микрорельефа предопределила его композицию и характер планировки.

2. Для Артека, как части исторического Гурзуфа, характерна достаточно однородная малоэтажная застройка, включающая отдельные здания вилл. В Артеке сохранились памятники архитектуры XIX — начала XX веков.

3. Все пять лагерей, имеющие парки-памятники, по своим объемно-пространственным решениям представляют собой разнообразную и яркую картину, которая несет в себе историко-культурное значение колорита курортного ландшафта Гурзуфа.

4. При примере Артека были отработаны принципы и подходы организации советских детских лагерей, а также строительство зданий и сооружений из сборных железобетонных модулей и деталей, которые в дальнейшем использовались при строительстве курортов СССР.

5. Впервые на основе проекта «Новый Артек» были отработаны принципы соприродности в создании детских лагерей и архитектурных комплексов, вписанных в окружающий ландшафт с живописной расстановкой зданий на рельефе, с правильно выбранным масштабом отдельных зданий и сооружений в сочетании с зелеными насаждениями, дополняющие друг друга [20].

6. МДЦ «Артек» — это удачный исторический пример создания культурного ландшафта на протяжении более 100 лет, созданный на основе гармонии природы и архитектуры, сохранивший эклектику южнобережного паркостроения, духа аристократического курорта Суук-Су, исторических усадебных имений и творческой мысли архитекторов советского периода.

#### **Список литературы**

- [1] Ефимова Е.А., Абдулхайров А.З., Попов А.Д. Документы по истории Артека в архивах Москвы и Симферополя: вопросы систематизации и публикации // Таврический научный обозреватель, Ялта, 2015. № 2 (Ч. 2). С. 75–79.

- [2] Воронцов Е.А. Большая Ялта. Симферополь: Крым, 1968. 128 с.
- [3] Максимовский А. Гурзуф путеводитель. Севастополь: Рибест, 2016. 67 с.
- [4] Москвич Г.Г. Иллюстрированный практический путеводитель по Крыму. Одесса: Типография Л. Нитче, 1904. Т. VIII. 62 с.
- [5] Воронцова С.В., Воронцов Е.А. Ялта. Путеводитель. Симферополь: Таврия, 1987. 208 с.
- [6] Морженков Р. Крым, история, природа, архитектура, искусство. Альбом. С-Пб.: Медный всадник, 2017. 240 с.
- [7] Полянский А.Т. Артек. М.: Издательство литературы по строительству, 1966. 102 с.
- [8] Все о Крыме с любовью / текст Г.А. Дубовис; ред. Т. Эсадзе. Справочное издание. Симферополь: МирИнформации, 2001. 416 с.
- [9] Ена В.Г., Твердохлебов И.Т., Шантыр С.П. Южный берег Крыма. Путеводитель. Симферополь: Бизнес-Информ, 1996. 304 с.
- [10] Стрибук В.И., Мурашов А.В. Артек. От А до Я. Симферополь: Салта ЛТД, 2008. 116 с.
- [11] Проект реконструкции и реставрации детского лагеря «Артек». Симферополь: РП Крымский КАРМ Укрпроектреставрация, 2011. 89 с.
- [12] Стрибук В.И., Джакаева Т.В. Малая энциклопедия Артек: от А до Я. Симферополь: ДИАЙПИ, 2010. 206 с.
- [13] Свистов В.Т. Артек — за годом год. Летопись Международного Детского Центра. Запорожье: Берегиня, 1995. 272 с.
- [14] Ена В.Г., Ена Ал.В., Ена Ан.В. Заповедные ландшафты Тавриды. Симферополь: Бизнес-Информ, 2013. 428 с.
- [15] Полянский А. Архитектурное творчество и стандартизация строительства. М.: Стройиздат, 1971. 324 с.
- [16] Кондрашенко Л. Гурзуф. Очерк-путеводитель: 2-е изд. Симферополь: Таврия, 1979. 78 с.
- [17] Каневский С. Большой Артек. О нереализованном проекте реконструкции Лагеря (Опубликовано в машинописном журнале «Артек» (февраль 1954 года). URL: <https://suuk.su/knigi/kanevskij.htm> (дата обращения 17.06.2020).
- [18] Ефимова Е.А., Чернышов А.В. Рекреационно-педагогическое освоение черноморского побережья От Гурзуфа до Аю-Дага. Вопросы фундаментальной и прикладной науки // Сб. статей Междунар. науч. конф., М., 2015, с. 113–121.
- [19] Джакаева Т.В. Программа реконструкции старого и строительства Нового «Артека» А.Т. Полянского // Артек-Событие, 2016, № 1 (13). С. 4–6.
- [20] Полянский А.Т. Творчество архитектора и строительный стандарт. М.: Известия, 1966. 73 с.
- [21] Полянский А.Т. Архитектура — творчество — стандарт. М.: Знание, 1973. 80 с.
- [22] Григорян А.Г. Некоторые вопросы проектирования городского ландшафта в условиях сложного рельефа (на примере Еревана) / Дис. ... канд. арх. Ереван, 1970. 300 с.

## Сведения об авторе

**Леонов Левон Аветисович** — главный инженер Управления по содержанию и развитию рекреационного ландшафта территории ФГБУ «Международный детский центр «Артек», 1006710@mail.ru

Поступила в редакцию 26.06.2020.

Принята к публикации 22.07.2020.

## ROLE OF NATURAL ENVIRONMENT IN CULTURAL LANDSCAPES DEVELOPMENT AND FORMATION IN GURZUF CITY AND IN ICC «ARTEK» TERRITORY

**L.A. Leonov**

International Children's Center «Artek», 82, Leningrad City Hall, 298645, Gurzuf, Yalta, Republic of Crimea, Russia

1006710@mail.ru

The article considers the natural, historical and architectural features of the development of cultural landscapes of the ICC «Artek» territory. The analysis of the long history of this unique place on the southern coast of Crimea is presented. A brief analysis of the functional planning zones and a brief description of the existing buildings in Gurzuf and Artek are given. The relationship between the architectural and planning features of the camp territory is shown not only with the history of the development of this area, but also with its landscape features. The architectural features of the construction of a children's camp complex, inscribed in the surrounding natural landscape, are examined in detail. To illustrate the text material, 10 drawings are presented, 22 literary sources are given, conclusions are presented at the end of the article.

**Keywords:** Gurzuf, ICC «Artek», South Coast of Crimea (SCC), historical planning zones, landscape features, cultural landscape, structural element-module

**Suggested citation:** Leonov L.A. *O roli prirodnogo okruzheniya v razvitii i formirovaniy kul'turnykh landshaftov Gurzufa i territorii MDTs «Artek»* [Role of natural environment in cultural landscapes development and formation in Gurzuf city and in ICC «Artek» territory]. *Lesnoy vestnik / Forestry Bulletin*, 2020, vol. 24, no. 5, pp. 28–38. DOI: 10.18698/2542-1468-2020-5-28-38

## References

- [1] Efimova E.A., Abdulkhairov A.Z., Popov A.D. *Dokumenty po istorii Arteka v arkhivakh Moskvy i Simferopolya: voprosy sistematizatsii i publikatsii* [Documents on the history of Artek in the archives of Moscow and Simferopol: issues of systematization and publication]. *Tavricheskiy nauchnyy obozrevatel'* [Tavrishesky Scientific Reviewer], Yalta, 2015, no. 2 (part 2), pp. 75–79.
- [2] Vorontsov E.A. *Bol'shaya Yalta* [Big Yalta]. Simferopol: Crimea, 1968, 128 p.
- [3] Maksimovskiy A. *Gurzuf putevoditel'* [Gurzuf guide]. Sevastopol: Ribest, 2016, 67 p.
- [4] Moskvich G.G. *Ilyustrirovannyi prakticheskiy putevoditel' po Krymu* [Illustrated practical guide to the Crimea]. Odessa: Printing house L. Nitche, 1904, v. VIII, 62 p.
- [5] Vorontsova S.V., Vorontsov E.A. *Yalta. Putevoditel'* [Yalta. Guide]. Simferopol: Tavria, 1987, 208 p.
- [6] Morzhenkov R. *Krym, istoriya, priroda, arkhitektura, iskusstvo. Al'bom* [Crimea, history, nature, architecture, art. Album]. St. Petersburg: The Bronze Horseman, 2017, 240 p.
- [7] Polyanskiy A.T. *Artek* [Artek]. Moscow: Publishing house of literature on building, 1966, 102 p.
- [8] *Vse o Kryme s lyubov'yu* [Everything about Crimea with love]. Text by G.A. Dubovis. Ed. T. Esadze. Reference edition. Simferopol: MirInformation, 2001, 416 p.
- [9] Ena V.G., Tverdokhlebov I.T., Shantyr S.P. *Yuzhnyy bereg Kryma* [The south coast of Crimea]. Guide. Simferopol: Business Inform, 1996, 304 p.
- [10] Stribuk V.I., Murashov A.V. *Artek. Ot A do Ya* [Artek. From A to Y]. Simferopol: Salta LTD, 2008, 116 p.
- [11] *Proekt rekonstruktsii i restavratsii detskogo lagerya «Artek»* [Project for the reconstruction and restoration of the Artek children's camp]. Simferopol: RP Crimean KARM Ukrproektstrestrestavatsiya, 2011, 89 p.
- [12] Stribuk V.I., Dzhakaeva T.V. *Malaya entsiklopediya Artek: ot A do Ya* [Small Encyclopedia Artek: from A to Y]. Simferopol: DIIPE, 2010, 206 p.
- [13] Svistov V.T. *Artek — za godom god. Letopis' Mezhdunarodnogo Detskogo Tsentra* [Artek — year after year. Annals of the International Children's Center]. Zaporozhye: Bereginya, 1995, 272 p.
- [14] Ena V.G., Ena A.I.V., Ena A.N.V. *Zapovednye landshafty Tavridy* [Jena Protected landscapes of Tauris]. Simferopol: Business Inform, 2013, 428 p.
- [15] Polyanskiy A. *Arkhitekturnoe tvorchestvo i standartizatsiya stroitel'stva* [Architectural creativity and standardization of construction]. Moscow: Stroyizdat, 1971, 332 p.
- [16] Kondrashenko L. *Gurzuf. Ocherk-putevoditel'* [Gurzuf. Essay guide]. 2nd ed. Simferopol: Tavria, 1979, 78 p.
- [17] Kanevsky. S. *Bol'shoy Artek. O nerealizovannom proekte rekonstruktsii Lagerya (Opublikovano v mashinopisnom zhurnale «Artek» (fevral' 1954 goda))* [Big Artek. On the unrealized project for the reconstruction of the Camp (Published in the typewritten journal Artek (February 1954)]. Available at: <https://suuk.su/knigi/kanevskij.htm> (accessed 17.06.2020).
- [18] Efimova E.A., Chernyshov A.V. *Rekreatsionno-pedagogicheskoe osvoenie chernomorskogo poberezh'ya Ot Gurzufa do Ayu-Daga. Voprosy fundamental'noy i prikladnoy nauki* [Recreation and pedagogical development of the Black Sea coast From Gurzuf to Ayu-Dag] *Sbornik statey Mezhdunarodnoy nauchnoi konferentsii* [Issues of fundamental and applied science], Moscow, 2015, pp. 113–121.
- [19] Dzhakaeva T.V. *Programma rekonstruktsii starogo i stroitel'stva Novogo «Arteka» A.T. Polyanskogo* [Program for the reconstruction of the old and the construction of the New Artek A.T. Polyansky]. [Artek-Co-Being], 2016, no. 1 (13), pp. 4–6.
- [20] Polyanskiy A.T. *Tvorchestvo arkhitekta i stroitel'nyy standart* [Creativity of the architect and building standard]. Moscow: Izvestia, 1966, 73 p.
- [21] Polyanskiy A.T. *Arkhitektura — tvorchestvo — standart* [Architecture — creativity — standard]. Moscow: Knowledge, 1973, 80 p.
- [22] Grigoryan A.G. *Nekotorye voprosy proektirovaniya gorodskogo landshafta v usloviyakh slozhnogo rel'efa (na primere Erevana)* [Some issues of designing an urban landscape in a complex terrain (for example, Yerevan)]. Dis. ... Cand. Sci. (Arch.), Yerevan, 1970, 300 p.

## Author's information

**Leonov Levon Avetisovich** — Chief Engineer, Department for Maintenance and Development of Recreational Landscape of the Territory of FSBU International Children's Center «Artek», 1006710@mail.ru

Received 26.06.2020.

Accepted for publication 22.07.2020.

## АНАЛИЗ ПОЧВЕННЫХ РЕСУРСОВ ЛЕСОВ СЕВЕРО-ВОСТОЧНОГО ПОДМОСКОВЬЯ НА ОСНОВЕ ГЕОИНФОРМАЦИОННЫХ ТЕХНОЛОГИЙ

А.Н. Максимова<sup>1</sup>, В.Н. Карминов<sup>1,2,3</sup>,  
О.В. Мартыненко<sup>3</sup>, П.В. Онтиков<sup>4</sup>

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

<sup>2</sup>ФГБУН «Центр по проблемам экологии и продуктивности лесов Российской академии наук», 117997, г. Москва, ул. Профсоюзная, д. 84/32, стр. 14

<sup>3</sup>ФАУ ДПО «Всероссийский институт повышения квалификации руководящих работников и специалистов лесного хозяйства», 141200, Московская область, Пушкино, ул. Институтская, д. 20

<sup>4</sup>ФГБУ «Центральный филиал Федерального государственного бюджетного учреждения «Рослесинфорг», 141280, Московская обл., г. Ивантеевка, ул. Заводская, д. 10

maximova@mgul.ac.ru

Представлены результаты обработки и анализа пространственной и временной информации о почвах и насаждениях, полученные на основе геоинформационных технологий. Установлена приуроченность наиболее продуктивных насаждений к дерново-подзолистым автоморфным почвам. Зафиксировано заметное снижение продуктивности при появлении признаков гидроморфизма у основных хвойных лесобразующих пород — ели европейской и сосны обыкновенной. Определено формирование низкопродуктивных насаждений преимущественно на болотно-подзолистых почвах. Ретроспективный анализ выявил существенное улучшение продуктивности и породного состава насаждений на рубеже 1970-х–1980-х гг. Выполненная оценка текущей ситуации показывает, что имеется определенный резерв для повышения продуктивности насаждений при более эффективном использовании естественного плодородия лесных почв. **Ключевые слова:** геоинформационные системы, бонитировка почв, анализ почвенных ресурсов, пространственный анализ, лесоустойчивые материалы

**Ссылка для цитирования:** Максимова А.Н., Карминов В.Н., Мартыненко О.В., Онтиков П.В. Анализ почвенных ресурсов лесов Северо-Восточного Подмосковья на основе геоинформационных технологий // Лесной вестник / Forestry Bulletin, 2020. Т. 24. № 5. С. 39–50. DOI: 10.18698/2542-1468-2020-5-39-50

Концепция ведения лесного хозяйства на зонально-типологической основе требует учета почвенных и лесоводственных данных на всех этапах управления лесными ресурсами. Большой спектр различных инструментов при анализе почвенных и лесных ресурсов предоставляют геоинформационные системы (ГИС).

В настоящее время осуществляется активное внедрение ГИС в лесное хозяйство при систематическом обновлении базы лесного фонда и лесных ресурсов, ведении лесного реестра, организации мониторинга, контроле за лесозахватом, что позволяет обеспечить объективность данных, вести их обработку и хранение, открыть широкие возможности для периодического обновления накопленных сведений и непрерывного осуществления мониторинга [1].

Кроме того, возможности геоинформационных технологий позволяют осуществлять анализ пространственно распределенной информации с учетом временных изменений.

Применение геоинформационных технологий получило широкое распространение с начала XX в. параллельно с общей информатизацией науки и производства. Начиная с 1960-х гг. во многих странах Европы проводились работы по созданию компьютерных систем, содержащих информацию

о географии почв. Первая крупнейшая ГИС была создана в Канаде и до сих пор развивается и поддерживается. Подобные ГИС были разработаны также в Бельгии, Италии, Испании, Ирландии, Франции, Германии и других странах [2–4].

В России развитие геоинформационных технологий в лесном секторе осуществлялось параллельно с научными исследованиями ВО «Леспроект» в начале 1970-х гг., в результате которых была создана технология оформления лесных карт, в дальнейшем ставшая основой информационных систем с базой данных.

В настоящее время геоинформационные технологии широко используются во всем мире [5, 6]. В частности, под руководством Продовольственной и сельскохозяйственной организации ООН (FAO) создаются и развиваются базы данных и ГИС в сфере сельского хозяйства и почвоведения.

В создании и разработке геоинформационных технологий участвуют не только международные организации, но и правительственные учреждения, министерства и ведомства, картографические, геологические и земельные службы, статистические управления, частные фирмы, научно-исследовательские институты и университеты. Под эгидой Европейского почвенного бюро осуществляется объединение почвенных

ГИС европейских стран в единую унифицированную почвенно-географическую базу данных (ПГБД) Европы, а также выполняются работы по созданию компьютерного атласа почв Европы, начатые в 2003 г.

В России работы над проектом ПГБД начались в 2005 г. и в настоящее время они активно продолжаются. Подготовлен и опубликован Единый государственный реестр почвенных ресурсов России, включающий в себя описание почв, почвенных ресурсов субъектов РФ, почвенно-экологическое районирование и цифровую модель описания почвенных данных [7].

Все подобные проекты ориентированы прежде всего на генерализацию почвенной информации, поскольку крупномасштабные и детальные почвенные карты создавались исключительно для отдельных объектов преимущественно сельскохозяйственного назначения [8–12]. Для объектов лесного хозяйства полноценные почвенно-картографические изыскания составляют, скорее, исключение, нежели правило [13, 14]. При этом по сравнению с серединой XX в. объем производственной информации по лесным насаждениям значительно расширен [15].

Динамика лесов европейской части России и, в частности, Северо-Восточного Подмосквья неоднократно становилась предметом изучения исследователей [16–18]. Особенную значимость решение этих вопросов приобрело в свете глобальных климатических изменений [19].

Таким образом, совместный анализ (в том числе и ретроспективный) почвенных и лесоводственных данных представляет большой научный и практический интерес, поскольку позволяет оценить эффективность лесопользования во времени и соотнести данные о почвах с факторами почвообразования [14].

Ретроспективный анализ актуальных пространственных данных и их сравнение с архивными материалами дает возможность проводить мониторинг и диагностику изменений, происходящих на исследуемых территориях [8].

Ретроспективный анализ — это математическая обработка и анализ картографической информации (карты, планы, космоснимки и др.), полученной за определенные периоды времени. По изучаемым временным рядам можно выявить динамику, вид, уровень и скорость протекания различных природных и антропогенных процессов. Например, можно отслеживать процессы изменения насаждений и почв, зарастания заброшенных пашен, заболачивания лугов и др.

Концептуальной основой представления и обработки пространственно-временных геоинформационных данных являются пространственно-временные модели (ПВ-модели).

Простой ПВ-моделью является космоснимок. Временная информация включена в него посредством временных слоев, представляющих собой совокупность однотипных пространственных объектов, зафиксированных в различные моменты времени. Основными особенностями ПВ-моделей на основе космоснимков являются следующие:

- хранение данных, полученных с регулярным интервалом времени;
- наличие отдельных наборов данных для каждого определенного интервала времени;
- независимая от времени классификация объектов хранения данных.

Специфика пространственно-временной электронной картографии и ГИС исторической направленности состоит в том, что их содержание должно отражать не только определенную ситуацию в регионе исследования, но и ее развитие на протяжении некоторого периода времени.

Ретроспективный анализ представляет собой перспективное направление развития ГИС в сфере лесоустройства и лесного хозяйства [20].

Как известно, рациональное ведение лесного хозяйства требует наличия качественных почвенных карт. Для целей лесного хозяйства при планировании лесоустроительных и других видов работ, при составлении проектов размещения лесных массивов, полезащитных лесных полос, мелиоративных объектов, научно-исследовательских и селекционных станций, питомников, садов и парков применяются крупномасштабные почвенные карты (от 1:25000 (1:5000) до 1:50000). Материалы крупномасштабного картографирования — это основной источник для генерализации изображения почвенного покрова при создании карт более мелкого масштаба. Создание почвенных карт для объектов лесного хозяйства отличается важными особенностями: с одной стороны, лесная растительность усложняет перемещение и ориентирование исследователей в ходе полевых работ, с другой — каждый компонент биоценоза представляет собой эффективный индикатор как почвы, так и материнской породы. Использование лесных карт на рекогносцировочных и полевых этапах почвенного картографического обследования обеспечивает более эффективное размещение точек при планировании исследования [9].

В настоящее время появилась возможность использовать в работе космоснимки высокого и сверхвысокого разрешения. Для поиска космоснимков, находящихся в свободном доступе, можно воспользоваться интернет-сервисами. Как правило, это актуальные, широко представленные снимки, из которых можно выбрать наиболее подходящий и информативный вариант. Цифровые аэрофото- и космоснимки чаще всего уже имеют

пространственную информацию, внедренную в файл (GeoTIFF), что позволяет их использовать в ГИС без дополнительных работ, связанных с их пространственной привязкой.

Совмещение цифровых образов различных пространственных данных помогает перейти на новый качественный уровень и решить проблему недостаточной информативности исходных данных, традиционно используемых при составлении почвенных карт [20].

По мере накопления данных о почвах расширяется сфера их потенциального приложения. В этом смысле возможности вполне сформировавшегося в последние десятилетия направления — цифрового почвенного картографирования (Digital Soil Mapping) можно существенно расширить, используя данные о растительном покрове, особенно это актуально для лесных почв.

В настоящее время сложилась парадоксальная ситуация. Геоинформационные технологии активно внедряют в лесное хозяйство, но при этом использование элементов почвенной информации носит, скорее, формальный характер. В то же время, почвенные ГИС, разрабатываемые в академической среде, не могут использовать производственные материалы из сферы лесного хозяйства в силу бюрократических ограничений.

Классические [21], [22] и современные работы [23], посвященные вопросам повышения продуктивности насаждений, на первое место выдвигают учет естественного плодородия лесных почв в ходе осуществления лесохозяйственной деятельности.

Соединение «почвенного» и «лесного» направлений развития геоинформационных технологий могло бы стать перспективным и важным направлением для оптимизации условий рационального использования лесных ресурсов. Оценку плодородия и мониторинг состояния лесных почв уже с этапа полевых исследований можно эффективно автоматизировать с помощью ГИС. Повсеместная доступность технологии глобального позиционирования (GPS, ГЛОНАСС) обеспечивает высокую точность пространственной привязки при получении опытных данных. Причем данная технология позволяет эффективно решить и обратную задачу, когда нужно выйти в полевых условиях на заданную точку для уточнения собранных данных или при планировании исследований. Создание единого банка данных почв и лесных ресурсов позволит существенно повысить объективность результатов научных исследований и эффективность решения прикладных задач.

## Цель работы

Цель работы — выявление пространственных зависимостей с учетом временного фактора

между насаждениями и почвами на основе геоинформационных технологий на примере Свердловского участкового лесничества Московского учебно-опытного лесничества.

Основными задачами данного исследования являются следующие:

- сбор и систематизация почвенных и лесоустроительных материалов;
- оцифровка, первичная обработка и перевод в формат ГИС всей собранной информации;
- разработка структуры ГИС и структуры базы данных ГИС;
- создание различных тематических карт;
- геообработка и анализ пространственной и временной информации о почвах и растительности.

## Материалы и методы

Выбор объекта исследования обусловлен его принадлежностью Мытищинскому филиалу МГТУ им. Н.Э. Баумана и значительной площадью. Московское учебно-опытное лесничество является одним из наиболее крупных территориальных образований в структуре лесного хозяйства на северо-востоке Московской области.

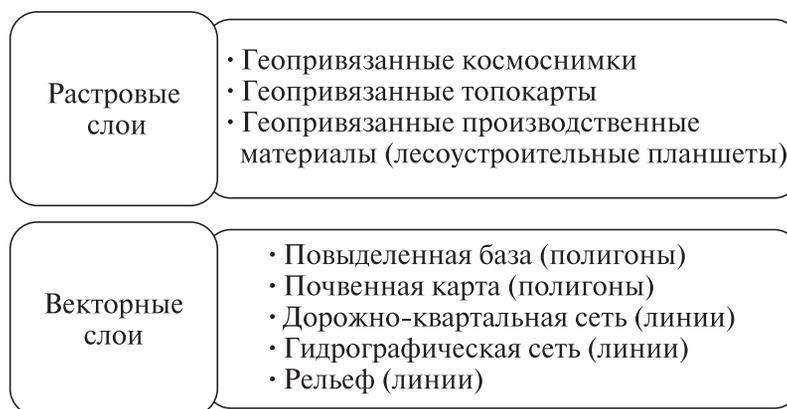
Для работы были привлечены архивные и производственные материалы лесоустройства за 1974, 1984, 1994 и 2004 гг.

Исследования почв на этой территории проводились, начиная с 1970 г. Кафедрой почвоведения МГУЛ (ныне Мытищинский филиал МГТУ им. Н.Э. Баумана) под руководством профессора В.Д. Зеликова был собран большой фактический материал, однако вследствие пожара в 2006 г. большая часть данных на бумажном носителе была утрачена, а сохранившиеся материалы требовали повторной обработки и дополнительного изучения.

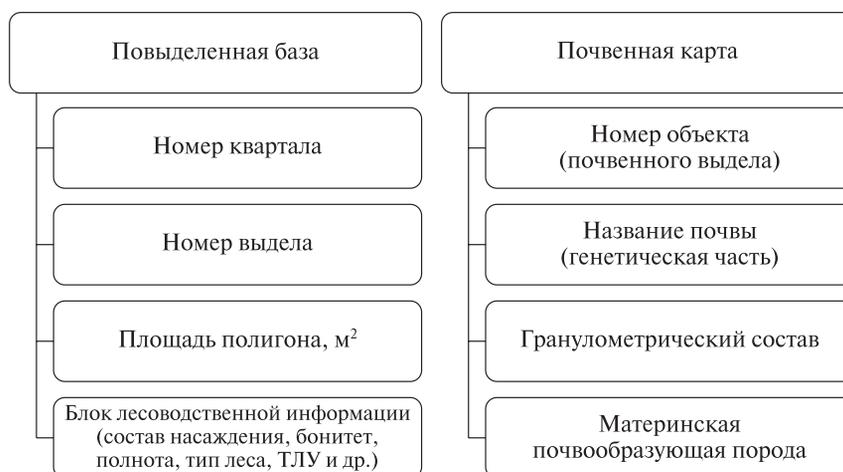
Основная работа по созданию и наполнению ГИС почв и насаждений Свердловского участкового лесничества осуществлялась в среде QGIS. Эта ГИС по праву считается признанным лидером в классе открытого программного обеспечения, и при решении некоторых задач превосходит аналоги.

Данные дистанционного зондирования Земли (ДЗЗ) в виде космоснимков были получены в программе SAS.Планета. Это — эффективное приложение, также относящееся к классу открытого программного обеспечения, которое позволяет успешно агрегатировать в одном окне информацию из десятков источников и скачивать ее с учетом пространственной привязки.

Обработка атрибутивной почвенной и лесоводственной информации проводилась в соответствующих стандартных приложениях MS Office.



**Рис. 1.** Структура ГИС почв и насаждений  
**Fig. 1.** GIS structure of soils and forest stands



**Рис. 2.** Структура базы данных почв и насаждений  
**Fig. 2.** Structure of the soil and forest stands database

## Результаты и обсуждение

Разработка ГИС начиналась с формирования ее структуры, объединяющей имеющуюся информацию по отдельным слоям (рис. 1). Тип использованных векторных слоев (полигоны, линии) определялся пространственными характеристиками отображаемых объектов и представлен на данной схеме.

Для предложенных слоев была создана соответствующая система базы данных, для внесения атрибутивной почвенной и лесоводственной информации.

Типовой набор наименования полей для разрабатываемой атрибутивной базы данных приведен на рис. 2.

Архивные производственные материалы по объекту исследования изначально существовали только в бумажном виде. Для того чтобы поместить их в геоинформационную среду, требовалась первичная оцифровка путем сканирования или фотографирования. Для выполнения про-

странственной привязки полученных электронных изображений появилась необходимость в наличии геопривязанной топоосновы. В качестве такой основы были выбраны космоснимки, полученные с онлайн сервиса Яндекс (провайдер космоснимков European Space Imaging GmbH). Среди представленных сервисов эти снимки отличаются актуальностью и высоким качеством. Их пространственное разрешение относится к высокому и сверхвысокому.

Получение необходимых космоснимков с пространственной привязкой осуществлялось в формате GeoTIFF с помощью программного обеспечения SAS.Планета. Это — открытый формат для растровых данных, который содержит метаданные о пространственной привязке (иначе говоря, это геореференцированный растр). Спецификации TIFF 6.0 поддерживают несколько видов геотегов, которые определяют вид картографической проекции, систему географических координат, модель геоида, датум и любую другую

информацию, необходимую для точного пространственного ориентирования космоснимка.

В качестве базовой системы координат для создаваемой ГИС была выбрана система на основе универсальной поперечной проекции Меркатора (международное обозначение: UTM zone 37N [код EPSG:32637]).

Полученные космоснимки с пространственной привязкой импортировались в программу QGIS в целях использования в качестве основы для дальнейшей пространственной привязки растровых изображений.

После импорта геопривязанных космоснимков осуществлялась пространственная привязка растровых изображений. Предварительно переведенные в электронный вид картографические материалы почвенного обследования территории объекта были привязаны в Quantum GIS с помощью модуля «georeferencer» к уже оцифрованному плану лесонасаждений лесничества.

Поскольку оцифрованные картографические данные имели заметные геометрические искажения и прочие повреждения, пространственная привязка потребовала кропотливой работы и больших трудозатрат. Для трансформации исходного растра применялся метод «тонкостенного сплайна». Это широко используемый метод преобразования при выравнивании изображений с локальными деформациями, аналогичный модели трансформации резинового листа (rubbersheet). При использовании подобных «эластичных» методов точность выполненной пространственной привязки может осуществляться с помощью визуального контроля совпадения двух слоев одного относительно другого по границам и характерным элементам.

Оцифровка картографических материалов лесоустройства осуществлялась в программе QGIS вручную. В качестве основного формата хранения векторных данных был выбран шейп-файл (англ. Shapefile), являющийся популярным форматом хранения географической информации. Он был разработан компанией ESRI для совместимости между продуктами ESRI и другими программами. Формат шейп-файл может хранить следующие различные типы геометрических объектов: точки, линии (ломаные), многоугольники и др. Каждый отдельный файл может хранить объекты только одного выбранного типа.

Поскольку векторизуемые объекты имеют пространственную структуру, для них был выбран полигональный формат векторных данных. Процесс векторизации пространственных объектов начинался с создания квартальной сети в векторном виде. Каждому полигону присваивался номер, соответствующий номеру квартала.

Дальнейшая работа по векторизации выделов осуществлялась путем «нарезки» полигонов

с обязательным использованием инструмента «прилипание». После выполнения нарезки каждому полигону, обозначающему лесной выдел, был присвоен соответствующий номер. Номер квартала присваивался каждому выделу от того квартала, к которому он относился. Метод «нарезки» полигонов — один из наиболее эффективных способов получения качественного результата, практически исключая появление характерных топологических ошибок, поскольку по каждой границе выдела проход выполняется только один раз.

Одновременно с оцифровкой картографической информации на основании отсканированных производственных данных по каждому выделу была заполнена таблица атрибутов, в которой содержится информация о таксационной и лесоводственной характеристике каждого выдела. Эта информация также была подготовлена и систематизирована в виде таблицы с помощью табличного процессора.

Связывание по выделенной векторной базе с файлом Excel осуществлялось штатными средствами QGIS по ключевому полю, рассчитанному по номерам квартала и выдела.

Полученные слои векторных данных позволили выполнить пространственный анализ путем наложения планов лесонасаждений на почвенную карту.

Пространственный анализ — это выполнение вычислительных операций над геоданными в целях извлечения из них дополнительной информации. Обычно пространственный анализ выполняется в ГИС-приложениях, которые имеют специализированные инструменты пространственного анализа для геообработки (например, наложение, пересечение).

Для выполнения такого анализа использовался инструмент «пересечение» из группы инструментов «геообработка» программного обеспечения Quantum GIS.

В результате такого наложения получен набор контуров, отражающий пространственное распределение насаждений, произрастающих на исследуемых почвах, при этом происходило слияние атрибутивных баз данных обоих слоев. С помощью средств геоинформационных технологий были вычислены площади этих контуров. Сформировав их по определенным критериям, были получены закономерности и пространственные зависимости между насаждениями, почвами и лесорастительными условиями. Кроме того, был выполнен анализ во временном разрезе, по данным лесоустройства за 1974, 1984, 1994 и 2004 гг. Дальнейшей обработке подвергалась объединенная атрибутивная база данных в табличном процессе с помощью инструмента «сводная таблица» (табл. 1).

Т а б л и ц а 1  
Изменение породного состава на занимаемой  
площади (в процентах к общей площади)  
Свердловского участкового лесничества  
за период 1974–2004 гг.

Change in the species composition on the occupied area  
(as a percentage of the total area) of the Sverdlovka forestry  
for the period 1974–2004

Главная порода	1974	1984	1994	2004
Ель европейская	40,25	47,53	46,58	46,39
Сосна обыкновенная	21,32	20,95	19,38	20,34
Лиственница европейская	0,04	0,02	0,02	0,02
Дуб черешчатый	0,17	0,14	0,09	0,08
Береза бородавчатая	28,30	23,84	27,31	26,92
Осина	9,30	7,10	5,73	5,54
Липа мелколистная	0,06	0,08	0,12	0,16
Ольха черная	0,55	0,34	0,77	0,54

Т а б л и ц а 2  
Средневзвешенный по площади класс  
бонитета Свердловского участкового  
лесничества за период 1974–2004 гг.  
Area weighted average growth index class  
of the Sverdlovka forestry for the period 1974–2004

Главная порода	1974	1984	1994	2004
Ель	I, 43	Ia, 99	I, 06	I, 13
Сосна	I, 16	Ia, 93	Ia, 06	Ia, 13
В общем	I, 56	I, 11	I, 10	I, 12

По данным табл. 1 были построены круговые диаграммы, отражающие динамику изменения породного состава за 30-летний период (рис. 3). Как видно из рис. 3, преобладают еловые насаждения.

За рассматриваемый период времени — 1974–2004 г. доля еловых насаждений заметно возросла, площади, занятые осиною и березой бородавчатой уменьшились; площадь сосновых насаждений существенно не изменилась. Остальные породы присутствуют на территории участкового лесничества в незначительном количестве.

При дальнейшей обработке базы таксационных данных проведено вычисление средневзвешенных по площади классов бонитета по двум основным лесобразующим породам — ели европейской и сосне обыкновенной, а также в общем, по всему участковому лесничеству (табл. 2).

На основании данных табл. 2 построены графики (рис. 4, 5), на которых хорошо видна ди-

намика рассматриваемых показателей, указаны значения максимально возможного класса бонитета в имеющихся почвенных условиях, которые рассчитаны по данным бонитировки лесных почв профессора Виктора Дмитриевича Зеликова [21].

В целом по лесничеству отмечается вполне заметный рост продуктивности за период 1974–1984 гг., вероятно, связанный с интенсивным ведением лесохозяйственной деятельности, в отличие от лесовосстановления, проходившего с учетом факторов почвенной продуктивности.

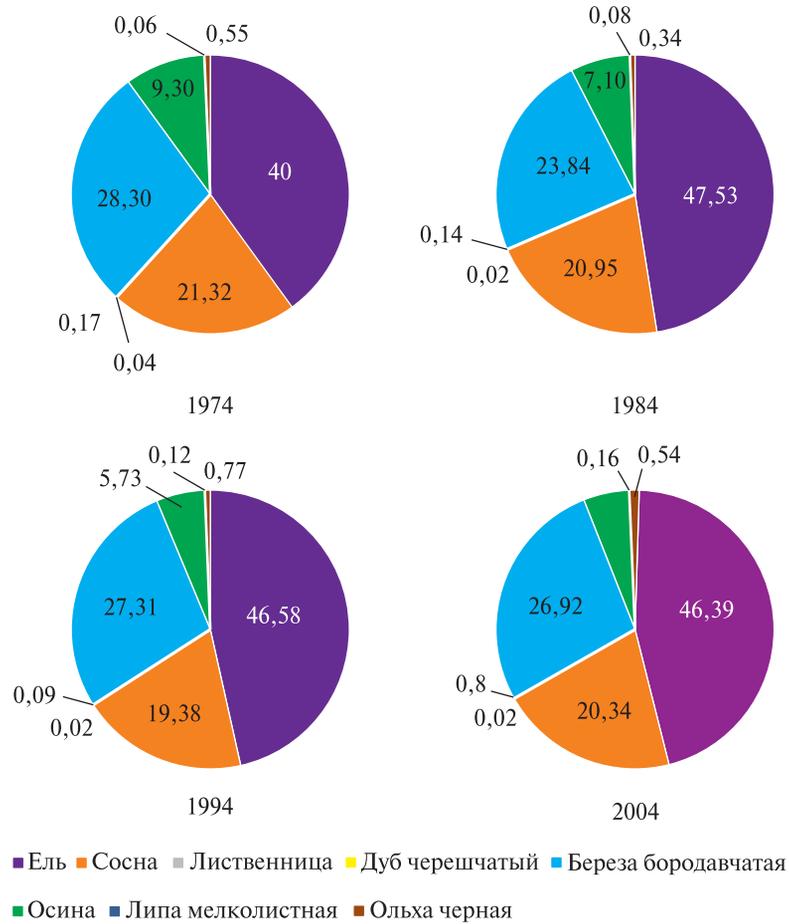
При рассмотрении данной динамики отдельно по лесобразующим породам было выявлено снижение средневзвешенного класса бонитета для еловых насаждений, связанное, возможно, со старением еловых древостоев при уменьшении хозяйственной деятельности и с обусловленным им падением темпов роста, проявившимся в снижении класса бонитета [23].

Сравнивая анализируемые показатели с максимально возможной в данных условиях продуктивностью, можно сделать вывод, что остаются резервы повышения продуктивности, которые можно использовать при более качественном учете почвенных факторов для планирования лесовосстановления.

Заключительным этапом пространственного анализа почвенных и лесоводственных данных стала оценка их пространственной сопряженности (в табл. 3–5). Как видно из таблиц, наилучшие условия по продуктивности складываются на дерново-средне- и сильноподзолистых почвах. Наличие оглеения отрицательно сказывается на продуктивности. Низшие по продуктивности насаждения приурочены к болотно-подзолистым (дерново-подзолистым поверхностно-оглеенным и торфянисто-подзолистым поверхностно-оглеенным) почвам.

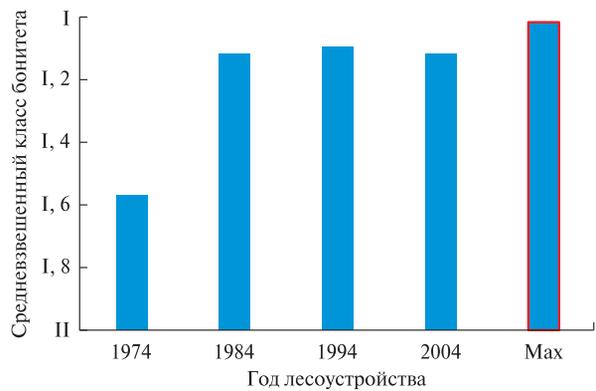
Анализ пространственной сопряженности лесорастительных условий Свердловского участкового лесничества с почвенным покровом, показывает, что наиболее распространенный в участковом лесничестве ГЛЮ С3 (табл. 4) встречается на дерново-подзолистых неоглеенных почвах разной степени оподзоленности (см. табл. 4). В более влажных условиях формируются сначала дерново-подзолистые оглеенные почвы, которые переходят в болотно-подзолистые (дерново-подзолистые поверхностно-оглеенные и торфянисто-подзолистые поверхностно-оглеенные) почвы.

Основные хвойные лесобразующие породы — ель европейская и сосна обыкновенная приурочены к хорошо дренированным дерново-подзолистым почвам. Немалые площади они занимают и на дерново-подзолистых оглеенных почвах, а на болотно-подзолистых почвах их представительство сведено к минимуму.

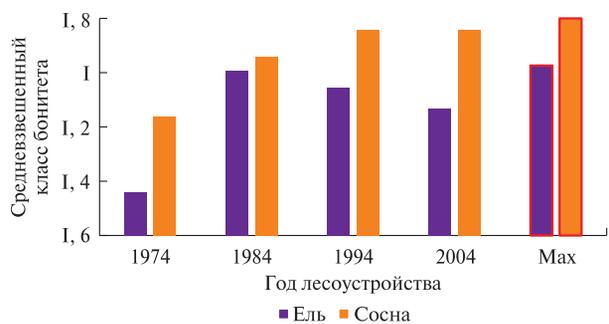


**Рис. 3.** Изменение породного состава Свердловского участкового лесничества за период 1974–2004 гг.  
**Fig. 3.** Changes in the species composition of the Sverdlovka forestry for the period 1974–2004

**Рис. 4.** Изменение средневзвешенного по площади класса бонитета насаждений Свердловского участкового лесничества за период 1974–2004 гг.  
**Fig. 4.** Changes in the area weighted average growth index class of the Sverdlovka forestry for the period 1974–2004



**Рис. 5.** Изменение средневзвешенного по площади класса бонитета насаждений Свердловского участкового лесничества за период 1974–2004 гг.  
**Fig. 5.** Changes in the area weighted average growth index class of the main forest-forming species of the Sverdlovka forestry for the period 1974–2004



Т а б л и ц а 3

**Пространственная сопряженность продуктивности насаждений (бонитета) Свердловского участкового лесничества с почвенным покровом (в процентах от общей площади)**

Area weighted average growth index class of the Sverdlovka forestry for the period 1974–2004 (% of the total area)

Класс бонитета	П1Д сс	П2Д сс	П2Догл сс	П3Д сс	П3Догл сс	ПД пов огл	Т1 пов огл
Ia	0,0	<b>40,4</b>	11,7	25,1	22,7	0,0	0,0
I	0,6	<b>38,8</b>	14,7	28,4	13,5	1,2	2,8
II	0,0	15,2	<b>38,4</b>	10,3	26,4	0,0	9,7
III	0,2	0,5	12,4	2,1	17,8	<b>42,9</b>	24,1
IV	0,0	0,0	0,6	0,0	1,1	12,1	<b>86,2</b>

*Примечание.* П1Д сс — дерново-слабоподзолистая среднесуглинистая; П2Д сс — дерново-среднеподзолистая среднесуглинистая; П2Догл сс — дерново-среднеподзолистая среднесуглинистая оглеенная; П3Д сс — дерново-сильноподзолистая среднесуглинистая; П3Догл сс — дерново-сильноподзолистая среднесуглинистая оглеенная; ПД пов огл — дерново-подзолистая поверхностно-оглеенная; Т1 пов огл — торфянисто-подзолистая поверхностно-оглеенная; выделены наибольшие значения.

Т а б л и ц а 4

**Пространственная сопряженность лесорастительных условий Свердловского участкового лесничества с почвенным покровом (в процентах от общей площади)**

Spatial correlation of forest conditions of the Sverdlovka forestry with soil cover (% of the total area)

Тип лесорастительных условий	П1Д сс	П2Д сс	П2Догл сс	П3Д сс	П3Догл сс	ПД пов огл	Т1 пов огл
B2	0,0	25,3	6,2	<b>64,3</b>	4,2	0,0	0,0
B3	1,5	1,2	32,6	2,3	<b>57,2</b>	0,0	5,2
B4	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	<b>57,3</b>	42,7
B5	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,6	<b>99,4</b>
C2	0,6	<b>36,9</b>	12,7	30,9	15,4	1,1	2,4
C3	0,0	<b>47,1</b>	12,4	24,2	15,2	0,8	0,3
C4	0,0	0,0	0,0	0,0	2,3	41,3	<b>56,4</b>
C5	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	28,2	<b>71,8</b>

Т а б л и ц а 5

**Пространственная сопряженность главных пород Свердловского участкового лесничества с почвенным покровом (в процентах от общей площади)**

Spatial correlation of the main species of the Sverdlovka forestry with soil cover (% of the total area)

Главная порода	П1Д сс	П2Д сс	П2Догл сс	П3Д сс	П3Догл сс	ПД пов огл	Т1 пов огл
Сосна обыкновенная	0,0	<b>50,1</b>	16,6	17,3	13,2	0,4	2,5
Ель европейская	0,0	<b>41,2</b>	13,6	25,1	15,6	1,2	3,2
Лиственница сибирская	0,0	<b>47,7</b>	0,0	52,3	0,0	0,0	0,0
Дуб черешчатый	0,0	37,6	0,0	<b>62,4</b>	0,0	0,0	0,0
Берёза бородавчатая	1,7	<b>33,0</b>	15,3	30,0	14,4	0,2	5,4
Осина обыкновенная	0,0	19,3	<b>44,6</b>	8,5	20,9	4,8	1,9
Ольха черная	0,0	0,0	0,0	0,0	15,4	2,1	<b>82,5</b>
Липа мелколистная	0,0	42,8	0,0	<b>57,2</b>	0,0	0,0	0,0

## Выводы

Выполнена цифровизация большого объема архивных производственных материалов, сформированы выделенные базы данных лесоустройства за 1974, 1984, 1994 и 2004 годы.

Разработанная ГИС дополнена электронной картой почвенного покрова Свердловского участка лесничества и электронной выделенной базой результатов лесоустройства 2004 г. Комплексная ГИС обработана методами пространственного анализа, что обусловило выявление динамики изменения продуктивности и породного состава насаждений за 30-летний период. Отмечено улучшение продуктивности и породного состава в период с 1974 по 1984 гг.

Пространственный анализ объединенных почвенных и лесоводственных данных показал приуроченность наиболее продуктивных насаждений к дерново-подзолистым неоглееным почвам. Самые низкопродуктивные насаждения были сформированы на болотно-подзолистых почвах. У основных хвойных лесобразующих пород, таких как ель европейская и сосна обыкновенная, при появлении оглеения продуктивность заметно снижается.

Сравнение полученных результатов с максимально возможной продуктивностью в имеющихся почвенных условиях, полученной с помощью бонитировочной шкалы [21], показало, что в целом наблюдается соответствие выращиваемых пород почвенным условиям, однако существует определенный резерв для повышения продуктивности.

Указанные базы данных и технологии анализа ресурсного потенциала почв разработаны с помощью открытого программного обеспечения (QGIS) и могут использоваться в научной работе, учебном процессе и производстве при планировании и проведении лесовосстановления. Разработанная структура геоинформационной базы допускает расширение и доработку структуры под любые запросы науки и производства. Поскольку все использованное в работе программное обеспечение является свободным, любая дальнейшая доработка и совершенствование ГИС для научных или производственных задач не потребует существенных материальных затрат, связанных с покупкой лицензий.

Создание информационно-насыщенных проектов-ГИС с поддержкой пространственно-временной выборки и динамичным картографированием значительно повышают качество и целесообразность проведения лесохозяйственных мероприятий. Предложенная технология анализа данных позволяет применить многовариантную систему оценки потенциала почвенных ресурсов.

На современном этапе развития автоматизированных методов обработки и анализа данных

о почвенных ресурсах открываются широкие возможности для организации системы оперативного и объективного мониторинга почв и построения вероятностных сценариев их изменений.

## Список литературы

- [1] Вукколова И.А. ГИС-технологии в лесном хозяйстве. Пушкино: ВИПКЛХ, 2008. 79 с.
- [2] ДеМерс М.Н. Географические информационные системы. Основы. М.: Дата+, 1999. 506 с.
- [3] Журкин И.Г., Шайтура С.В. Геоинформационные системы. М.: Кудиц-Пресс, 2009. 272 с.
- [4] Цветков В.Я. Геоинформационные системы и технологии. М.: Финансы и статистика, 1998. 288 с.
- [5] Arrouays D., Leenaars J., A.C. Richer-de-Forges, K. Adhikari. Soil legacy data rescue via GlobalSoilMap and other international and national initiatives // *GeoRes J.*, 2017, v. 14, pp. 1–19. <https://doi.org/10.1016/j.grj.2017.06.001>
- [6] Arrouays D., Savin I., Leenaars J.G.B., McBratney A.B. GlobalSoilMap // *Digital Soil Mapping from Country to Globe*. 1st ed. CRC Press Taylor & Francis Group, 2018. 173 p.
- [7] Голозубов О.М., Рожков В.А., Алябина И.О., Иванов А.В., Колесникова В.М., Шоба С.А. Технологии и стандарты в информационной системе почвенно-географической базы данных России // *Почвоведение*, 2015. № 1. С. 3–13.
- [8] Савин И.Ю. Анализ почвенных ресурсов на основе геоинформационных технологий: автореф. дисс. ... д-ра с.-х. наук. М., 2004. 50 с.
- [9] Савин И.Ю., Столбовой В.С., Иванов А.Л. Технологии составления и обновления почвенных карт. М.: Перо, 2019. 328 с.
- [10] Савин И.Ю. Проблема масштаба в современной почвенной картографии // *Бюллетень Почвенного института имени В. В. Докучаева*, 2019. № 97. С. 5–20. DOI: 10.19047/0136-1694-2019-97-5-20
- [11] Пузаченко М.Ю. Многомерный анализ почвенного покрова на основе полевой и дистанционной информации // *Цифровая почвенная картография: теоретические и экспериментальные исследования*. М.: Почвенный ин-т им. В.В. Докучаева, 2012. С. 252–269.
- [12] Герасимова М.И., Ананко Т.В., Савицкая Н.В. Почвенный покров южно-таежного тестового полигона (Московская область) на новой цифровой почвенной карте России масштаба 1:2,5 млн // *Современные проблемы изучения почвенных и земельных ресурсов*. Третья Всерос. открытая конф. «Почвенные и земельные ресурсы: состояние, оценка, использование»: сб. докл. Москва, 09–11 декабря 2019 г. М.: Почвенный ин-т им. В.В. Докучаева, 2019. С. 39–43.
- [13] Щепашенко Д.Г., Карминов В.Н., Мартыненко О.В., Щепашенко М.В. Опыт совместного анализа материалов полевой почвенной съемки и данных лесоустройства на примере Щелковского УОЛХ // *Вестник МГУЛ – Лесной вестник*, № 7, 2007. С. 47–49.
- [14] Гудкова Д.А., Ершов Д.В. Ретроспективный анализ динамики лесного покрова территории Новой Москвы по спутниковым данным // *Аэрокосмические методы и геоинформационные технологии в лесоведении и лесном хозяйстве*. V Всерос. конф. (с международным участием), посвященная памяти выдающихся ученых-лесоводов В.И. Сухих и Г.Н. Коровина: доклады, Москва, 22–24 апреля 2013 г. М.: ЦЭПЛ, 2013. С. 129–130.
- [15] Никифоров А.А. Разработка информационной системы Лисинского УОЛХ с применением ГИС-технологий // *Сб. докл. молодых ученых на ежегодной науч.*

- конф. Санкт-Петербургской лесотехнической академии, 2002. Вып. 6. С. 54–59.
- [16] Стоноженко Л.В., Коротков С.А. Динамика состояния лесов Московской области // Научные основы устойчивого управления лесами. Материалы Всерос. науч. конф., Москва, 25–27 октября 2016 г. М.: Центр по проблемам экологии и продуктивности лесов РАН, 2018. С. 170–173.
- [17] Стоноженко Л.В., Коротков С.А., Теплов О.А. Динамика лесных ресурсов и лесопользования Московской области // Лесные экосистемы в условиях изменения климата: биологическая продуктивность и дистанционный мониторинг: междунар. сб. науч. статей / ред. Э.А. Курбанов. Йошкар-Ола: Поволжский государственный технологический университет, 2017. С. 94–105. URL: <https://inter.volgatech.net/centre-for-sustainable-management-and-remote-monitoring-of-forests/forestecosystems-in-a-changing-climate/> (дата обращения 19.02.2020).
- [18] Миртова И.А., Ершов Д.В., Гудкова Д.А. Анализ динамики лесов Московской области по космическим снимкам для целей геоэкологического мониторинга // ИВУЗ Геодезия и аэрофотосъемка, 2014. № 1. С. 78–83.
- [19] Khabarova O., Savin I. Changes in Environmental Parameters and Their Impact on Forest Growth in Northern Eurasia // ACS, 2015, v. 5, no. 2, pp. 91–105.
- [20] Никифоров А.А. Анализ структуры, динамики и продуктивности лесного растительного покрова с применением ГИС-технологий, математического и 3D моделирования: дисс. ... канд. с.-х. наук: СПб., 2005. 157 с.
- [21] Зеликов В.Д. Почвы и бонитет насаждений. М.: Лесная пром-сть, 1970. 120 с.
- [22] Гаврилюк Ф.Я. Бонитировка почв. Ростов-на-Дону: Ростовский университет, 1984. 228 с.
- [23] Мартыненко О.В., Карминов В.Н., Щепашенко Д.Г., Онтиков П.В. Зависимость продуктивности сосновых насаждений от почвенно-грунтовых условий в Московском учебно-опытном лесничестве // Лесоведение, 2017. № 6. С. 411–417.

## Сведения об авторах

**Максимова Алина Николаевна** — аспирант, МГТУ им. Н.Э. Баумана (Мытищинский филиал), [maximova@mgul.ac.ru](mailto:maximova@mgul.ac.ru)

**Карминов Виктор Николаевич** — канд. с.-х. наук, доцент, МГТУ им. Н.Э. Баумана (Мытищинский филиал); ст. науч. сотр. ФГБУН «Центр по проблемам экологии и продуктивности лесов Российской академии наук», [karminov@mgul.ac.ru](mailto:karminov@mgul.ac.ru)

**Мартыненко Ольга Вениаминовна** — канд. с.-х. наук, доцент, ФАУ ДПО «Всероссийский институт повышения квалификации руководящих работников и специалистов лесного хозяйства», [martinen75@yandex.ru](mailto:martinen75@yandex.ru)

**Онтиков Петр Вячеславович** — заместитель начальника отдела государственной инвентаризации лесов, ФГБУ «Центральный филиал Федерального государственного бюджетного учреждения «Рослесинфорг», [orpv86@mail.ru](mailto:orpv86@mail.ru)

Поступила в редакцию 26.05.2020.

Принята к публикации 15.06.2020.

## FOREST SOIL RESOURCES ANALYSIS IN NORTH-EASTERN MOSCOW REGION BASED ON GEOINFORMATION TECHNOLOGIES

A.N. Maksimova<sup>1</sup>, V.N. Karminov<sup>1, 2, 3</sup>,  
O.V. Martynenko<sup>3</sup>, P.V. Ontikov<sup>4</sup>

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

<sup>2</sup>Center for Forest Ecology and Productivity of the RAS, 84/32 bldg. 14, Profsoyuznaya st., 117997, Moscow, Russia

<sup>3</sup>All-Russian Institute of Continuous Education in Forestry (ARICEF), 20, Institutskaya st., 141200, Pushkino, Moscow reg., Russia

<sup>4</sup>Roslesinforg, Centresproekt 10, Zavodskaya st., 141200, Ivanteevka, Moscow reg., Russia

maximova@mgul.ac.ru

The results of processing and analysis of spatial and temporal information about soils and forest stands on geoinformation technologies are presented. Spatial analysis of combined soil and forestry data showed that the most productive plantings were confined to sod-podzolic automorphic soils. In the main coniferous forest-forming species, such as European spruce and pine, when signs of hydromorphism appear, productivity significantly decreases. Among the studied plantings, the lowest-yielding ones are formed on swamp-podzolic soils. Retrospective analysis revealed a noticeable improvement in productivity and breed composition that occurred in the late 1970s and early 1980s. The assessment of the current situation shows that there is a certain reserve for increasing the productivity of existing forest stands, associated with a more effective use of the natural fertility of forest soils.

**Keywords:** geoinformation systems, soil bonitization, analysis of soil resources, spatial analysis, forest management materials

**Suggested citation:** Maksimova A.N., Karminov V.N., Martynenko O.V., Ontikov P.V. *Analiz pochvennykh resursov lesov severo-vostochnogo Podmoskov'ya na osnove geoinformatsionnykh tekhnologiy* [Forest soil resources analysis in north-eastern Moscow region based on geoinformation technologies]. *Lesnoy vestnik / Forestry Bulletin*, 2020, vol. 24, no. 5, pp. 39–50. DOI: 10.18698/2542-1468-2020-5-39-50

### References

- [1] Vukolova I.A. *GIS-tekhnologii v lesnom khozyaystve* [GIS technologies in forestry]. Pushkino: VIPKLLKh, 2008, 79 p.
- [2] DeMers M.N. *Geograficheskie informatsionnye sistemy* [Geographical information systems]. Moscow: Data+, 1999, 506 p.
- [3] Zhurkin I.G., Shaytura S.V. *Geoinformatsionnye sistemy* [Geoinformation systems]. Moscow: KUDITs-PRESS, 2009, 272 p.
- [4] Tsvetkov V.Ya. *Geoinformatsionnye sistemy i tekhnologii* [Geoinformation systems and technologies]. Moscow: Finansy i statistika, 1998, 288 p.
- [5] Arrouays D., Leenaars J., Richer-de-Forges A.C., Adhikari K. Soil legacy data rescue via GlobalSoilMap and other international and national initiatives. *GeoRes J.*, 2017, v. 14, pp. 1–19. Available at: <https://doi.org/10.1016/j.grj.2017.06.001>.
- [6] Arrouays D., Savin I., Leenaars J.G.B., McBratney A.B. *GlobalSoilMap // Digital Soil Mapping from Country to Globe*, 1st ed. CRC Press Taylor & Francis Group, 2018, 173 p.
- [7] Golozubov O.M., Rozhkov V.A., Alyabina I.O., Ivanov A.V., Kolesnikova V.M., Shoba S.A. *Tekhnologii i standarty v informatsionnoy sisteme pochvenno-geograficheskoy bazy dannykh Rossii* [Technologies and standards in the information system of the soil-geographical database of Russia]. *Pochvovedenie* [Eurasian Soil Science], 2015, no. 1, pp. 3–13.
- [8] Savin I.Yu. *Analiz pochvennykh resursov na osnove geoinformatsionnykh tekhnologiy* [Analysis of soil resources based on geoinformation technologies]. Dis. Dr. Sci. (Agric.). Moscow, 2004, 50 p.
- [9] Savin I.Yu., Stolbovov V.S., Ivanov A.L. *Tekhnologii sostavleniya i obnoveniya pochvennykh kart* [Technologies for composing and updating soil maps]. Moscow: Pero, 2019, 328 p.
- [10] Savin I.Yu. *Problema masshtaba v sovremennoy pochvennoy kartografii* [The problem of scale in modern soil cartography]. *Byulleten' Pochvennogo instituta imeni V.V. Dokuchaeva* [Byulleten' Pochvennogo instituta imeni V.V. Dokuchaeva], 2019, no. 97, pp. 5–20. DOI: 10.19047/0136-1694-2019-97-5-20
- [11] Puzachenko M.Yu. *Mnogomernyy analiz pochvennogo pokrova na osnove polevoy i distantsionnoy informatsii. Tsifrovaya pochvennaya kartografiya: teoreticheskie i eksperimental'nye issledovaniya* [Multidimensional analysis of soil cover based on field and remote information]. Moscow: Pochvennyy in-t im. V.V. Dokuchaeva, 2012, pp. 252–269.
- [12] Gerasimova M.I., Ananko T.V., Savitskaya N.V. *Pochvennyy pokrov yuzhno-taehznogo testovogo poligona (Moskovskaya oblast') na novoy tsifrovoy pochvennoy karte Rossii masshtaba 1:2,5 mln* [Soil cover of the South taiga test range (Moscow region) on the new digital soil map of Russia scale 1: 2,5 million]. *Sovremennye problemy izucheniya pochvennykh i zemel'nykh resursov. Sbornik dokladov Tret'ey Vserossiyskoy otkrytoy konferentsii* [Modern problems of studying soil and land resources. Collection of reports of the Third all-Russian open conference]. Moscow: Dokuchaev Soil Institute, 2019, pp. 39–43.
- [13] Shchepashchenko D.G., Karminov V.N., Martynenko O.V., Shchepashchenko M.V. *Opyt sovmevnogo analiza materialov polevoy pochvennoy s'emki i dannykh lesoustroystva na primere Shchelkovskogo UOLKh* [Experience of a joint analysis of materials of field soil survey and forest inventory data on the example of the Shchelkovo forestry]. *Moscow state forest university bulletin – Lesnoy vestnik*, 2007, no. 7, pp. 47–49.
- [14] Gudkova D.A., Ershov D.V. *Retrospektivnyy analiz dinamiki lesnogo pokrova territorii Novoy Moskvy po sputnikovym dannym* [Retrospective analysis of the dynamics of forest cover in the territory of New Moscow on satellite data]. *Aerokosmicheskie metody i geoinformatsionnye tekhnologii v lesovedenii i lesnom khozyaystve doklady V Vserossiyskoy konferentsii* [Aerospace Methods And GIS–Technologies in Forestry, Forest Management and Ecology: Proceedings of the V All-Russian Conference.]. Moscow: CEPF, 2013, pp. 129–130.

- [15] Nikiforov A.A. *Razrabotka informatsionnoy sistemy Lisinskogo UOLKh s primeneniem GIS-tekhnologiy* [Development of the information system of the Lisinsky forestry with the use of GIS technologies]. Sbornik dokladov molodykh uchenykh na ezhegodnoy nauchnoy konferentsii Sankt-Peterburgskoy lesotekhnicheskoy akademii [Symposium of Annual Young Scientists Conference, St. Petersburg State Forest Technical Academy], 2002, v. 6, pp. 54–59.
- [16] Stonozhenko L.V., Korotkov. S.A. *Dinamika sostoyaniya lesov Moskovskoy oblasti* [Dynamics of the state of forests in the Moscow region]. Nauchnye osnovy ustoychivogo upravleniya lesami. Materialy Vserossiyskoy nauchnoy konferentsii. [Scientific foundations of sustainable forest management. Materials of the all-Russian scientific conference]. Moscow: Tsentr po problemam ekologii i produktivnosti lesov RAN [Center for ecological problems and productivity of forests Russian Academy of Sciences], 2018, pp. 170–173.
- [17] Stonozhenko L.V., Korotkov. S.A., Teplov O.A. *Dinamika lesnykh resursov i lesopol'zovaniya Moskovskoy oblasti* [Dynamics of forest resources and forest management in the Moscow region]. Lesnye ekosistemy v usloviyakh izmeneniya klimata: biologicheskaya produktivnost' i distantsionnyy monitoring: mezhdunarodnyy sbornik nauchnykh statey [Forest ecosystems in the conditions of climate change: biological productivity and remote monitoring: international collection of scientific articles]. Yoshkar-Ola: Povolzhskiy gosudarstvennyy tekhnologicheskii universitet, 2017. P. 94–105. Available at: <https://inter.volgatech.net/centre-for-sustainable-management-and-remote-monitoring-of-forests/forestecosystems-in-a-changing-climate/> (accessed 19.02.2020).
- [18] Mirtova I.A., Ershov D.V., Gudkova D.A. *Analiz dinamiki lesov Moskovskoy oblasti po kosmicheskim snimkam dlya tseley geoekologicheskogo monitoringa* [Analysis of forest dynamics in the Moscow region using satellite images for geo-ecological monitoring]. Izvestiya vysshikh uchebnykh zavedeniy. Geodeziya i aerofotos'emka [Proceedings of the Higher Educational Institutions. Geodesy and aerophotosurveying], 2014, no. 1, pp. 78–83.
- [19] Khabarova O. *Changes in Environmental Parameters and Their Impact on Forest Growth in Northern Eurasia* [Changes in Environmental Parameters and Their Impact on Forest Growth in Northern Eurasia]. ACS, 2015, v. 5, no. 2, pp. 91–105.
- [20] Nikiforov A.A. *Analiz struktury, dinamiki i produktivnosti lesnogo rastitel'nogo pokrova s primeneniem GIS-tekhnologiy, matematicheskogo i 3D modelirovaniya*. [Analysis of the structure, dynamics and productivity of forest vegetation cover using GIS technologies, mathematical and 3D modeling] Dis. Cand. Sci. (Agric.). Saint Petersburg, 2005, 157 p.
- [21] Zelikov V.D. *Pochvy i bonitet nasazhdeniy* [Soils and bonitet of plantings]. Moscow: Lesnaya promyshlennost', 1970, 120 p.
- [22] Gavrilyuk F.Ya. *Bonitirovka pochv* [Betermination of soil quality]. Rostov-on-Don: Rostov State University, 1984, 228 p.
- [23] Martynenko O.V., Karminov V.N., Shchepashchenko D.G., Ontikov P.V. *Zavisimost' produktivnosti sosnovykh nasazhdeniy ot pochvennogo-gruntovykh usloviy v Moskovskom uchebno-opytном lesnichestve* [Dependence of productivity of pine plantations on soil-ground conditions in the Moscow educational and experimental forestry]. Lesovedenie [Russian Journal of Forest Science], 2017, no. 6, pp. 411–417.

## Authors' information

**Maksimova Alina Nikolaevna** — Pg. of the BMSTU (Mytishchi branch), maximova@mgul.ac.ru

**Karminov Victor Nilolaevich** — Cand. Sci. (Agricultural), Associate Professor of the BMSTU (Mytishchi branch); Senior Staff Scientist. Center for Forest Ecology and Productivity of the Russian Academy of Sciences (CEPF RAS), Associate Professor of All-Russian Institute of Continuous Education in Forestry (ARICEF), karminov@mgul.ac.ru

**Martinenko Olga Veniaminovna** — Cand. Sci. (Agricultural), Associate Professor of All-Russian Institute of Continuous Education in Forestry (ARICEF), martinen75@yandex.ru

**Ontikov Petr Vyacheslavovich** — Deputy Head of the State Forest Inventory Department, Federal forestry agency FSBI «Roslesinform» «Centrlesproekt», opv86@mail.ru

Received 26.05.2020.

Accepted for publication 15.06.2020.

## ОБЕСПЕЧЕННОСТЬ ПОДРОСТОМ ПРЕДВАРИТЕЛЬНОЙ ГЕНЕРАЦИИ СПЕЛЫХ И ПЕРЕСТОЙНЫХ СВЕТЛОХВОЙНЫХ НАСАЖДЕНИЙ ОСИНСКОГО ЛЕСНИЧЕСТВА ПЕРМСКОГО КРАЯ

А.С. Оплетаев, Е.С. Залесова, Л.А. Белов, Л.А. Иванчина

ФГБОУ ВО «Уральский государственный лесотехнический университет», 620100, Россия, Екатеринбург, Сибирский тракт, д. 37

Zalesov@usfeu.ru

На основании лесоустроительных баз данных «ключевого» Осинского лесничества предпринята попытка анализа светлохвойных насаждений и обеспеченности спелых и перестойных из них подростом предварительной генерации. В основу исследований положен анализ повыведельной базы данных с использованием SQL-запросов для определения статистически достоверной информации с помощью электронных таблиц и геоинформационных систем. Установлено, что доля светлохвойных насаждений в лесничестве района хвойно-широколиственных (смешанных) лесов европейской части Российской Федерации не превышает 14 % общей покрытой лесной растительностью площади и они представлены преимущественно средневозрастными сосняками I класса бонитета с полнотой древостоев 0,7. Около 72 % светлохвойных насаждений произрастает в типе лесорастительных условий В<sub>2</sub>. Определена доля лиственничников в общей площади светлохвойных насаждений, не превышающая 0,5 %. Они представлены преимущественно среднеполнотными молодняками и средневозрастными насаждениями I и II классов бонитета и приурочены к типу лесорастительных условий С<sub>2</sub>. Показана довольно высокая обеспеченность подростом предварительной генерации — лишь 8,11 % спелых и перестойных светлохвойных насаждений не имеют подростка. В составе подростка предварительной генерации доминирует ель, которая встречается на 88,72 % площади спелых и перестойных сосняков, а на 37,6 % ее густота превышает 2,0 тыс. шт./га. Значительная доля насаждений с наличием подростка ели в типах лесорастительных условий с бедными сухими, сырыми и мокрыми песчаными почвами вызывает необходимость замены его подростом сосны во избежание смены светлохвойных насаждений на менее производительные темнохвойные. Подрост сосны встречается на 3,2 % площади спелых и перестойных светлохвойных насаждений, что вызывает необходимость проведения мероприятий по содействию его накопления. В частности, можно рекомендовать минерализацию почвы под семенной год для сосны, что позволит в дальнейшем минимизировать затраты на искусственное лесовосстановление. Данные об обеспеченности подростом по группам типов леса и относительной полноте позволяют оптимизировать режим выборочных рубок.

**Ключевые слова:** светлохвойные насаждения, сосняки, подрост предварительной генерации, лесовосстановление

**Ссылка для цитирования:** Оплетаев А.С., Залесова Е.С., Белов Л.А., Иванчина Л.А. Обеспеченность подростом предварительной генерации спелых и перестойных светлохвойных насаждений Осинского лесничества Пермского края // Лесной вестник / Forestry Bulletin, 2020. Т. 24. № 5. С. 51–58.  
DOI: 10.18698/2542-1468-2020-5-51-58

К главным задачам современного лесоводства относится повышение продуктивности лесов [1, 2], для чего требуется проведение комплекса мероприятий, прежде всего совершенствование рубок спелых и перестойных насаждений [3, 4]. Следует разработать систему рубок, при которой не происходит нежелательная смена пород и сокращается оборот рубки при минимальных затратах на лесовосстановление. В таежной зоне предпочтение следует отдавать естественному лесовосстановлению, основанному на использовании подростка предварительной генерации [5–7]. Именно сохранение подростка минимизирует негативные последствия рубок спелых и перестойных насаждений, особенно сплошно-лесосечных. Поэтому вопросам оценки количественных и качественных показателей подростка уделено большое внимание в научной литературе [8–15]. В то же время большинство научных работ по вопросам лесовосстановления носят регио-

нальный характер либо преследуют какую-либо конкретную цель.

Многообразие природно-экономических условий обуславливает необходимость проведения исследований в области обеспеченности подростом предварительной генерации спелых и перестойных насаждений различных формаций, типов леса (типов лесорастительных условий) и целевого назначения. Последнее особенно важно, если учесть, что в некоторых случаях естественное лесовосстановление позволяет создать более устойчивые лесонасаждения, чем искусственное [16, 17].

### Цель работы

Цель работы — установление обеспеченности подростом предварительной генерации спелых и перестойных светлохвойных насаждений района хвойно-широколиственных (смешанных) лесов европейской части Российской Федерации.

## Объекты и методика исследований

Объектом исследований послужили светлохвойные насаждения района хвойно-широколиственных (смешанных) лесов европейской части Российской Федерации.

В основу исследований положен анализ таксационных баз данных лесоустроительных материалов «ключевого», т. е. типичного для района хвойно-широколиственных (смешанных) лесов европейской части Российской Федерации, Осинского лесничества, выполнен повыведельный анализ базы данных с использованием SQL-запросов для определения статистически достоверной информации с помощью электронных таблиц и приложений геоинформационной системы (ГИС) [18, 19].

Обеспеченность подростом предварительной генерации спелых и перестойных насаждений устанавливали по количеству жизнеспособного подростка. При этом все анализируемые выделы были подразделены на четыре группы:

1) подрост предварительной генерации отсутствует;

2) густота подростка до 1,0 тыс. шт./га;

3) густота — от 1,0 до 2,0 тыс. шт./га;

4) густота более 2,0 тыс. шт./га.

Указанные группы выделены в целях планирования способов лесовосстановления с учетом действующих нормативных документов [20].

## Результаты и обсуждение

В лесном фонде доля светлохвойных насаждений не превышает 14 % общей покрытой лесной растительностью площади, при этом 99,5 % составляют сосняки и лишь 0,5 % приходится на лиственничники (табл. 1).

Как следует из табл. 1, распределение светлохвойных насаждений по классам возраста неравномерное — доминируют средневозрастные насаждения при незначительной доле молодняков 1-го класса возраста (2,0 %) и спелых насаждений (3,9 %).

Светлохвойные насаждения Осинского лесничества характеризуются относительно высокой продуктивностью (табл. 2)

Материалы табл. 2 свидетельствуют о том, что на долю высокобонитетных (Ia–II классы бонитета) приходится 91,1 % общей площади светлохвойных насаждений, а на низкобонитетные (V–Va) — 1,1 %.

Светлохвойные насаждения представлены широкой амплитудой относительных полнот древостоев (табл. 3).

Данные табл. 3 свидетельствуют о том, что на долю низкополнотных (0,3–0,4) насаждений приходится 3,7 % площади светлохвойных насаждений, а высокополнотных (0,8–1,0) — 34,1 %.

Светлохвойные насаждения произрастают преимущественно на супесчаных почвах (табл. 4).

Сосняки доминируют в типе лесорастительных условий  $B_2$ , 72,0 %, лиственничники — в  $C_2$ , 53,7 %. При этом сосняки и лиственничники приурочены к свежим по влажности почвам.

Обеспеченность спелых и перестойных светлохвойных насаждений Осинского лесничества в значительной степени зависит от полноты древостоев. Из хвойных пород в составе подростка встречаются ель и сосна (табл. 5).

Материалы табл. 5 свидетельствуют о том, что лишь на 8,11 % площади светлохвойных насаждений под пологом нет подростка хвойных пород. Хотя подрост ели имеет место под пологом в 88,72 % всех спелых и перестойных светлохвойных насаждений, а подрост сосны — лишь на 3,17 % общей площади спелых и перестойных светлохвойных насаждений. При этом густота подростка ели более 2,0 тыс. шт./га зафиксирована на 37,5 % площади спелых и перестойных насаждений, а сосны — лишь на 1,88 %. Другими словами, в спелых и перестойных светлохвойных насаждениях района хвойно-широколиственных (смешанных) лесов европейской части Российской Федерации имеется высокая вероятность смены сосняков на ельники.

Максимальной обеспеченностью подростом ели предварительной генерации характеризуются спелые и перестойные светлохвойные насаждения с полнотой 0,6–0,7, а подростом сосны — с полнотой 0,5. Последнее следует учитывать при планировании выборочных рубок.

Лучшей обеспеченностью подростом предварительной генерации характеризуются светлохвойные насаждения с лесорастительными условиями  $B_2$  (табл. 6).

Особо следует отметить, что обеспеченность подростом предварительной генерации спелых и перестойных светлохвойных насаждений зависит от типа лесорастительных условий, а в пределах типа лесорастительных условий — от полноты древостоев (табл. 7).

Данные, приведенные в табл. 7, позволяют в каждом типе лесорастительных условий установить относительную полноту древостоев, при которой наблюдаются лучшие показатели обеспеченности подростом. В свою очередь указанная полнота позволяет спланировать интенсивность выборочных рубок и обеспечить накопление подростка желательной породы. Однако на сухих и свежих песчаных почвах крайне нежелательна смена сосны на ель, поскольку это приводит к снижению показателей класса бонитета будущих насаждений. В частности, в насаждениях с типом лесорастительных условий  $A_1$ ,  $A_2$  и  $A_3$  в процессе выборочных рубок подрост ели следует вырубать, создав условия для накопления подростка сосны.

Т а б л и ц а 1

**Распределение площади светлохвойных насаждений Осинского лесничества по преобладающим породам и классам возраста**

Distribution of light coniferous stands of Osinsky forestry by prevailing species and age classes

Преобладающая порода	Класс возраста							Итого
	1	2	3	4	5	6	7	
Сосна	<u>402,3*</u> 1,8	<u>1856,8</u> 8,4	<u>9374,1</u> 42,5	<u>7114</u> 32,3	<u>1543</u> 7,0	<u>895,8</u> 4,1	<u>858,4</u> 3,9	<u>22044,4</u> 100
Лиственница	<u>46,7</u> 39,0	<u>29,7</u> 24,8	<u>40,1</u> 33,5	–	<u>3,2</u> 2,7	–	–	<u>119,7</u> 100
Всего	<u>449,0</u> 2,0	<u>1886,5</u> 8,5	<u>9414,2</u> 42,5	<u>7114</u> 32,1	<u>1546,2</u> 7,0	<u>895,8</u> 4,0	<u>858,4</u> 3,9	<u>22164,1</u> 100

\*Здесь и далее в числителе — в гектарах, в знаменателе — в процентах

Т а б л и ц а 2

**Распределение площади светлохвойных насаждений Осинского лесничества по классам бонитета**

Distribution of light coniferous stands of Osinsky forestry by growth classes

Преобладающая порода	Класс бонитета							Итого
	Ia	I	II	III	IV	V	Va	
Сосна	<u>409,3</u> 1,9	<u>14789,5</u> 67,1	<u>4898</u> 22,2	<u>1302,9</u> 5,9	<u>408,4</u> 1,9	<u>198,8</u> 0,9	<u>37,5</u> 0,1	<u>22044,4</u> 100
Лиственница	–	<u>53,6</u> 44,8	<u>35,7</u> 29,8	<u>28,5</u> 23,8	<u>1,9</u> 1,6	–	–	<u>119,7</u> 100
Всего	<u>409,3</u> 1,8	<u>14843,1</u> 67,0	<u>4933,7</u> 22,3	<u>1331,4</u> 6,0	<u>410,3</u> 1,8	<u>198,8</u> 0,9	<u>37,5</u> 0,2	<u>22164,1</u> 100

Т а б л и ц а 3

**Распределение площади светлохвойных насаждений Осинского лесничества по относительной полноте**

Distribution of light coniferous stands of Osinsky forestry by relative density

Преобладающая порода	Относительная полнота								Итого
	0,3	0,4	0,5	0,6	0,7	0,8	0,9	1,0	
Сосна	<u>88</u> 0,4	<u>721,7</u> 3,3	<u>2209,4</u> 10,0	<u>4516,5</u> 20,5	<u>6971</u> 31,6	<u>6363</u> 28,9	<u>1077,9</u> 4,9	<u>96,9</u> 0,4	<u>22044,4</u> 100
Лиственница	<u>0,6</u> 0,5	<u>1,9</u> 1,6	<u>21,5</u> 18,0	<u>6,5</u> 5,4	<u>44,9</u> 37,5	<u>28,3</u> 23,6	<u>16</u> 13,4	–	<u>119,7</u> 100
Всего	<u>88,6</u> 0,4	<u>723,6</u> 3,3	<u>2230,9</u> 10,1	<u>4523,0</u> 20,4	<u>7015,9</u> 31,7	<u>6391,3</u> 28,8	<u>1093,9</u> 4,9	<u>96,9</u> 0,4	<u>22164,1</u> 100

Т а б л и ц а 4

**Распределение площади светлохвойных насаждений Осинского лесничества по типам лесорастительных условий**

Distribution of light coniferous stands of Osinsky forestry by types of forest growing conditions

Преобладающая порода	Тип лесорастительных условий								Итого
	A <sub>1</sub>	A <sub>2</sub>	A <sub>4</sub>	A <sub>5</sub>	B <sub>2</sub>	B <sub>3</sub>	C <sub>2</sub>	C <sub>3</sub>	
Сосна	<u>349,3</u> 1,6	<u>573,3</u> 2,6	<u>439,8</u> 2,0	<u>300,4</u> 1,4	<u>15886,5</u> 72,0	<u>238,2</u> 1,1	<u>3152,2</u> 14,3	<u>1104,7</u> 5,0	<u>22044,4</u> 100
Лиственница	<u>1,9</u> 1,6	–	–	–	<u>46</u> 38,4	–	<u>64,3</u> 53,7	<u>7,5</u> 6,3	<u>119,7</u> 100
Всего	<u>351,2</u> 1,6	<u>573,3</u> 2,6	<u>439,8</u> 2,0	<u>300,4</u> 1,3	<u>15932,5</u> 71,9	<u>238,2</u> 1,1	<u>3216,5</u> 14,5	<u>1112,2</u> 5,0	<u>22164,1</u> 100

Т а б л и ц а 5

**Обеспеченность подростом предварительной генерации спелых и перестойных светлохвойных насаждений Осинского лесничества в пределах относительной полноты**  
**Availability of preliminary generation undergrowth of ripe and mature light coniferous stands of Osinsky forestry within relative density**

Относительная полнота		Количество подростa, тыс. шт./га								Подроста нет
		Преобладающая порода ель				Преобладающая порода сосна				
		0–1	1–2	2 и более	Всего	0–1	1–2	2 и более	Всего	
0,3	га	8	10,3	8,0	26,3	–	–	–	–	0,8
	%	2,2	1,9	1,2	1,7	–	–	–	–	0,6
0,4	га	111,4	57,3	85,8	254,5	5,4	0	1,7	7,1	–
	%	30,9	10,7	13,0	16,4	33,3	0	5,2	12,8	–
0,5	га	94,2	124,3	112,0	330,5	2,9	5,1	12,5	20,5	26,7
	%	26,2	23,1	17,0	21,2	17,9	79,7	37,9	36,9	18,8
0,6	га	112,2	164,7	183,5	460,4	–	1,3	16,8	18,1	64,6
	%	31,2	30,6	27,9	29,6	–	20,3	50,9	32,6	45,4
0,7	га	34,2	162,3	218,8	415,3	7,9	–	2	9,9	38,2
	%	9,5	30,2	33,2	26,7	48,7	–	6,1	17,9	26,9
0,8	га	0	17,2	45,4	62,6	–	–	–	–	12,0
	%	0	3,2	6,89	4,0	–	–	–	–	8,4
0,9	га	0	1,4	5,3	6,7	–	–	–	–	–
	%	0	0,3	0,8	0,4	–	–	–	–	–
Всего	га	360	537,5	658,8	1556,3	16,2	6,4	33,0	55,6	142,3
	%	100	100	100	100	100	100	100	100	100

Т а б л и ц а 6

**Обеспеченность подростом предварительной генерации спелых и перестойных светлохвойных насаждений Осинского лесничества в пределах типов лесорастительных условий**  
**Availability of undergrowth for preliminary generation of ripe and mature light coniferous stands of the Osinsky forestry within the types of forest conditions**

Тип лесорастительных условий		Количество подростa, тыс. шт./га								Подроста нет
		Преобладающая порода ель				Преобладающая порода сосна				
		0–1	1–2	2 и более	Всего	0–1	1–2	2 и более	Всего	
A <sub>1</sub>	га	3,3	–	1,4	4,7	–	–	1,7	1,7	–
	%	0,9	–	0,2	0,3	–	–	5,2	3,1	–
A <sub>2</sub>	га	–	10,2	35,4	45,6	3,2	–	9,0	12,2	2,5
	%	–	1,9	5,4	2,9	19,8	–	27,3	21,9	1,8
A <sub>4</sub>	га	40,5	129,0	171,4	340,9	–	–	–	–	1,0
	%	11,3	24,0	26,0	21,9	–	–	–	–	0,7
A <sub>5</sub>	га	82,8	87,3	17,2	187,3	–	–	–	–	73,8
	%	23,0	16,2	2,6	12,0	–	–	–	–	51,9
B <sub>2</sub>	га	203,7	226,6	311,2	741,5	13,0	6,4	22,3	41,7	56,2
	%	56,6	42,2	47,2	47,7	80,3	100	67,6	75,0	39,5
B <sub>3</sub>	га	–	10	49,1	59,1	–	–	–	–	1,3
	%	–	1,9	7,4	3,8	–	–	–	–	0,9
C <sub>2</sub>	га	29,7	74,4	73,1	177,2	–	–	–	–	7,5
	%	8,3	13,8	11,1	11,4	–	–	–	–	5,3
Всего	га	360,0	537,5	658,8	1556,3	16,2	6,4	33,0	55,6	142,3
	%	100	100	100	100	100	100	100	100	100

Т а б л и ц а 7

**Обеспеченность подростом предварительной генерации спелых  
и перестойных светлохвойных насаждений Осинского лесничества  
в пределах типов лесорастительных условий и относительной полноты**  
Availability of preliminary generation undergrowth of ripe and mature light coniferous stands  
of Osinsky forestry within the types of forest conditions and relative density

Относительная полнота		Количество подроста, тыс. шт./га								Подроста нет
		Преобладающая порода ель				Преобладающая порода сосна				
		0–1	1–2	2 и более	Всего	0–1	1–2	2 и более	Всего	
Тип лесорастительных условий А <sub>1</sub>										
0,4	га	–	–	–	–	–	–	1,7	1,7	–
0,6	га	–	–	1,4	1,4	–	–	–	–	–
0,7	га	3,3	–	–	3,3	–	–	–	–	–
А <sub>1</sub> , всего	га	3,3	–	1,4	4,7	–	–	1,7	1,7	–
	%	0,19	–	0,08	0,27	–	–	0,1	0,1	–
Тип лесорастительных условий А <sub>2</sub>										
0,5	га	–	–	11,2	11,2	–	–	5,5	5,5	–
0,6	га	–	–	2,5	2,5	–	–	3,5	3,5	–
0,7	га	–	3,0	2,2	5,2	3,2	–	–	3,2	2,5
0,8	га	–	7,2	19,5	26,7	–	–	–	–	–
А <sub>2</sub> , всего	га	–	10,2	35,4	45,6	3,2	–	9	12,2	2,5
	%	–	0,58	2,02	2,6	0,18	–	0,51	0,7	0,14
Тип лесорастительных условий А <sub>4</sub>										
0,5	га	–	22,8	9,9	32,7	–	–	–	–	–
0,6	га	23,5	46,2	40,7	110,4	–	–	–	–	–
0,7	га	17	48,6	110,2	175,8	–	–	–	–	–
0,8	га	–	10,0	8,7	18,7	–	–	–	–	1
0,9	га	–	1,4	1,9	3,3	–	–	–	–	–
А <sub>4</sub> , всего	га	40,5	129	171,4	340,9	–	–	–	–	1
	%	2,31	7,35	9,77	19,43	–	–	–	–	0,06
Тип лесорастительных условий А <sub>5</sub>										
0,5	га	47,9	14,2	17,2	79,3	–	–	–	–	3,4
0,6	га	28,8	27,1	–	55,9	–	–	–	–	29
0,7	га	6,1	46	–	52,1	–	–	–	–	30,4
0,8	га	–	–	–	–	–	–	–	–	11
А <sub>5</sub> , всего	га	82,8	87,3	17,2	187,3	–	–	–	–	73,8
	%	4,72	4,98	0,98	10,68	–	–	–	–	4,21
Тип лесорастительных условий В <sub>2</sub>										
0,3	га	8	–	8	16	–	–	–	–	–
0,4	га	111,4	53,3	49,8	214,5	5,4	–	–	5,4	–
0,5	га	30,4	60,6	59,5	150,5	2,9	5,1	7	15	15,3
0,6	га	46,1	51	92,7	189,8	–	1,3	13,3	14,6	35,6
0,7	га	7,8	61,7	84,7	154,2	4,7	–	2	6,7	5,3
0,8	га	–	–	16,5	16,5	–	–	–	–	–
В <sub>2</sub> , всего	га	203,7	226,6	311,2	741,5	13	6,4	22,3	41,7	56,2
	%	11,61	12,92	17,74	42,27	0,74	0,36	1,27	2,38	3,20
Тип лесорастительных условий В <sub>3</sub>										
0,4	га	–	3,2	1,4	4,6	–	–	–	–	–
0,5	га	–	–	–	–	–	–	–	–	1,3
0,6	га	–	6,8	28,2	35	–	–	–	–	–
0,7	га	–	–	15,4	15,4	–	–	–	–	–
0,8	га	–	–	0,7	0,7	–	–	–	–	–
0,9	га	–	–	3,4	3,4	–	–	–	–	–
В <sub>3</sub> , всего	га	–	10	49,1	59,1	–	–	–	–	1,3
	%	–	0,57	2,80	3,37	–	–	–	–	0,07

О к о н ч а н и е т а б л . 7

Относительная полнота		Количество подроста, тыс. шт./га								Подроста нет
		Преобладающая порода ель				Преобладающая порода сосна				
		0–1	1–2	2 и более	Всего	0–1	1–2	2 и более	Всего	
Тип лесорастительных условий С <sub>2</sub>										
0,3	га	–	10,3		10,3	–	–	–	–	0,8
0,4	га	–	0,8	34,6	35,4	–	–	–	–	–
0,5	га	15,9	26,7	14,2	56,8	–	–	–	–	6,7
0,6	га	13,8	33,6	18	65,4	–	–	–	–	–
0,7	га	–	3	6,3	9,3	–	–	–	–	–
С <sub>2</sub> , всего	га	29,7	74,4	73,1	177,2	–	–	–	–	7,5
	%	1,69	4,24	4,17	10,10	–	–	–	–	0,43
Всего	га	360	537,5	658,8	1556,3	16,2	6,4	33	55,6	142,3
	%	20,52	30,64	37,56	88,72	0,92	0,36	1,88	3,17	8,11

## Выводы

1. В условиях Осинского лесничества (район хвойно-широколиственных (смешанных) лесов европейской части Российской Федерации) доля светлохвойных насаждений не превышает 14 %.

2. Светлохвойные насаждения представлены преимущественно средневозрастными сосняками первого класса бонитета с полнотой 0,7.

3. Среди светлохвойных насаждений доминируют (71,9 %), произрастающие в лесорастительных условиях В<sub>2</sub>.

4. Подрост предварительной генерации отсутствует на 8,11 % площади спелых и перестойных светлохвойных насаждений. При этом подрост ели встречается под пологом в 88,72 % спелых и перестойных светлохвойных насаждений, а подрост сосны — в 3,17 %.

5. Густота подроста более 2,0 тыс. шт./га позволяет обеспечить естественное лесовосстановление вырубок не прибегая к искусственному лесовосстановлению.

6. Данные о полноте древостоев, характеризующейся максимальной обеспеченностью подростом, позволяют оптимизировать выборочные рубки по типам лесорастительных условий.

7. Низкая обеспеченность спелых и перестойных светлохвойных насаждений подростом сосны вызывает необходимость удаления подроста ели на песчаных сухих и сырых почвах, а также проведения минерализации почвы под семенной год.

## Список литературы

- [1] Луганский Н.А., Залесов С.В., Щавровский В.А. Повышение продуктивности лесов. Екатеринбург: УГЛТУ, 1995. 297 с.
- [2] Залесов С.В. Научное обоснование системы лесоводственных мероприятий по повышению продуктивности сосновых лесов Урала: автореф. дис. ... д-ра с.-х. наук. Екатеринбург, 2000. 420 с.
- [3] Залесов С.В., Луганский Н.А. Повышение продуктивности сосновых лесов Урала. Екатеринбург: УГЛТУ, 2002. 331 с.
- [4] Луганский Н.А., Залесов С.В. Лесоведение и лесоводство. Термины, понятия, определения. Екатеринбург: УГЛТА, 1997. 101 с.
- [5] Азаренок В.А., Залесов С.В. Экологизированные рубки леса. Екатеринбург: УГЛТУ, 2015. 97 с.
- [6] Казанцев С.Г., Залесов С.В., Залесов А.С. Оптимизация лесопользования в производных березняках Среднего Урала. Екатеринбург: УГЛТУ, 2006. 156 с.
- [7] Залесов С.В., Воротников В.П., Катунца В.В., Невидомов А.М., Турчина Т.А. Черноольховые леса Волго-Донского бассейна и ведение хозяйства в них. Екатеринбург: УГЛТУ, 2008. 231 с.
- [8] Луганский Н.А., Залесов С.В., Абрамова Л.П., Степанов А.С. Естественное лесовозобновление в Джабык-Карагайском бору // ИВУЗ Лесной журнал, 2005. № 3. С. 13–19.
- [9] Калачев А.А., Залесов С.В. Качество подроста пихты сибирской под пологом пихтовых и березовых насаждений Рудного Алтая // Аграрный вестник Урала, 2014. № 4 (122). С. 64–67.
- [10] Дебков Н.М., Залесов С.В., Оплетев А.С. Обеспеченность осинников средней тайги подростом предварительной генерации (на примере Томской области) // Аграрный вестник Урала, 2015. № 12 (142). С. 48–53.
- [11] Данчева А.В., Залесов С.В., Муканов Б.М. Влияние рекреационных нагрузок на состояние и устойчивость сосновых насаждений Казахского мелкосопочника. Екатеринбург: УГЛТУ, 2014. 195 с.
- [12] Залесов С.В., Бачурина А.В., Бачурина С.В. Состояние лесных насаждений, подверженных влиянию промышленных поллютантов ЗАО «Карабашмедь» и реакция их компонентов на проведение рубок обновления. Екатеринбург: УГЛТУ, 2017. URL: <http://elar.usfeu.ru/handle/123456789/6620> (дата обращения 10.01.2020).
- [13] Белов Л.А., Залесов С.В., Рубцов П.И., Толстиков А.Ю., Усов М.В., Кутыева Г.А. Обеспеченность подростом предварительной генерации сосновых насаждений ягодникового типа леса // Леса России и хозяйство в них, 2016. № 3 (58). С. 4–12.
- [14] Бунькова Н.П., Залесов С.В. Рекреационная устойчивость и емкость сосновых насаждений в лесопарках г. Екатеринбург. Екатеринбург: УГЛТУ, 2016. 124 с.
- [15] Фомин В.В., Залесов С.В., Магасумова А.Г. методики оценки густоты подроста и древостоев при зарастании сельскохозяйственных земель древесной растительностью с использованием космических снимков высокого пространственного разрешения // Аграрный вестник Урала, 2015. № 1 (131). С. 25–29.

- [16] Данилик В.Н., Исаева Р.П., Терехов Г.Г., Фрейберг И.А., Залесов С.В., Луганский В.Н., Луганский Н.А. Рекомендации по лесовосстановлению и лесоразведению на Урале. Екатеринбург: УГЛТА, 2001. 117 с.
- [17] Залесов С.В., Лобанов А.Н., Луганский Н.А. Рост и продуктивность сосняков искусственного и естественного происхождения. Екатеринбург: УГЛТУ, 2002. 112 с.
- [18] Чермных А.И., Оплетаяев А.С. Анализ повыведельной геобазы с использованием SQL – запросов для определения статистически достоверной информации на примере ГИС MAPINFO // Леса России и хозяйство в них, 2013. № 1 (44). С. 53–54.
- [19] Оплетаяев А.С., Чермных А.И., Киришабаум А.Р. Обеспеченность подростом предварительной генерации перестойных насаждений Челябинской области // Успехи современного естествознания, 2017. № 7. С. 42–46.
- [20] Правила лесовосстановления: Утв. Приказом Министерства природных ресурсов и экологии Российской Федерации от 29 июня 2016 г. № 375. 146 с. URL: <https://geostart.ru/doc/read/22538#> (дата обращения 10.01.2020).

## Сведения об авторах

**Оплетаяев Антон Сергеевич** — канд. с.-х. наук, доцент кафедры лесоводства ФГБОУ ВО «Уральский государственный лесотехнический университет», [Zalesov@usfeu.ru](mailto:Zalesov@usfeu.ru)

**Залесова Евгения Сергеевна** — канд. с.-х. наук, доцент кафедры лесоводства ФГБОУ ВО «Уральский государственный лесотехнический университет», [Zalesov@usfeu.ru](mailto:Zalesov@usfeu.ru)

**Белов Леонид Александрович** — канд. с.-х. наук, доцент кафедры лесоводства ФГБОУ ВО «Уральский государственный лесотехнический университет», [Zalesov@usfeu.ru](mailto:Zalesov@usfeu.ru)

**Иванчина Людмила Алексеевна** — аспирант кафедры лесоводства ФГБОУ ВО «Уральский государственный лесотехнический университет», аспирант каф. Лесоводства, [Zalesov@usfeu.ru](mailto:Zalesov@usfeu.ru)

Поступила в редакцию 01.02.2020.

Принята к публикации 07.06.2020.

## PRELIMINARY GENERATION YOUNG GROWTH OF MATURE AND OVERMATURE LIGHT-CONIFEROUS PLANTS IN OSINSKY FORESTRY PERM REGION

A.S. Opletaev, E.S. Zalesova, L.A. Belov, L.A. Ivanchina

Ural State Forestry University, 37, Siberian tract st., 620100, Yekaterinburg, Russia

[Zalesov@usfeu.ru](mailto:Zalesov@usfeu.ru)

On the basis of forest inventory data of the main Osinsky forestry, an attempt was made to analyze light coniferous stands and the availability of mature and overmature trees of a preliminary generation among them. The basis of the research is the analysis of a high-performance database using SQL queries to determine statistically reliable information using spreadsheets and geographic information systems. It has been established that the share of light coniferous plantations in the forestry area of the coniferous-deciduous (mixed) forest area in the European part of the Russian Federation does not exceed 14 % of the total area covered by forest vegetation and they are mainly represented by middle-aged pine forests of growth class I with a full stand of 0,7. About 72 % of light coniferous stands grow in the type of forest conditions B<sub>2</sub>. The proportion of larch in the total area of light coniferous stands, not exceeding 0,5 %, was determined. They are predominantly represented by medium-density young growths and middle-aged stands of I and II growth class and are confined to the type of forest conditions C<sub>2</sub>. A rather high availability of undergrowth with preliminary generation was shown only 8,11 % of ripe and mature light coniferous plantations do not have undergrowth. Spruce dominates in the composition of the undergrowth of preliminary generation, which occurs in 88,72 % of the area of ripe and overmature pine trees, and its density exceeds 3700 % / ha by 37,6 %. A significant proportion of plantations with the presence of undergrowth of spruce in the types of forest conditions with poor dry, moist and wet sandy soils require the replacement of pine with its undergrowth in order to avoid changing light coniferous plantations to less productive dark coniferous ones. Pine growth occurs in 3,2 % of the area of ripe and mature light coniferous plantations, which necessitates measures to facilitate its accumulation. In particular, it is possible to recommend mineralization of the soil under the seed year for pine, which will further minimize the cost of artificial reforestation. Data on the availability of undergrowth by groups of forest types and relative completeness make it possible to optimize the regime of selective fellings.

**Keywords:** lightconiferous stands, pine stands, preliminary generation undergrowth, reforestation

**Suggested citation:** Opletaev A.S., Zalesova E.S., Belov L.A., Ivanchina L.A. *Obespechennost' podrostom predvaritel'noy generatsii speylykh i perestoynykh svetlokhvomykh nasazhdeniy osinskogo lesnichestva permskogo kraya* [Preliminary generation young growth of mature and overmature light-coniferous plants in Osinsky forestry Perm region]. *Lesnoy vestnik / Forestry Bulletin*, 2020, vol. 24, no. 5, pp. 51–58. DOI: 10.18698/2542-1468-2020-5-51-58

## References

- [1] Luganskiy N.A., Zalesov S.V., Shchavrovskiy V.A. *Povyshenie produktivnosti lesov* [Increasing forest productivity]. Yekaterinburg: Ural State Technical University, 1995, 297 p.
- [2] Zalesov S.V. *Nauchnoe obosnovanie sistemy lesovodstvennykh meropriyatiy po povysheniyu produktivnosti sosnovykh lesov Urala* [Scientific substantiation of the system of forestry measures to increase the productivity of pine forests in the Urals]. Dis. Dr. Sci. (Agric.). Yekaterinburg, 2000, 420 p.

- [3] Zalesov S.V., Luganskiy N.A. *Povyshenie produktivnosti sosnovykh lesov Urala* [Improving the productivity of pine forests in the Urals]. Yekaterinburg: Ural State Technical University, 2002, 331 p.
- [4] Luganskiy N.A., Zalesov S.V. *Lesovedenie i lesovodstvo. Terminy, ponyatiya, opredeleniya* [Forestry and forestry. Terms, concepts, definitions]. Yekaterinburg: UGLTA, 1997, 101 p.
- [5] Azarenok V.A., Zalesov S.V. *Ekologizirovannye rubki lesa* [Eco-friendly logging]. Yekaterinburg: Ural State Technical University, 2015, 97 p.
- [6] Kazantsev S.G., Zalesov S.V., Zalesov A.S. *Optimizatsiya lesopol'zovaniya v proizvodnykh bereznyakakh Srednego Urala* [Forest management optimization in derivative birch forests of the Middle Urals]. Yekaterinburg: Ural State Technical University, 2006, 156 p.
- [7] Zalesov S.V., Vorotnikov V.P., Katunova V.V., Nevidomov A.M., Turchina T.A. *Chernool'khovye lesa Volgo-Donского бассейна i vedenie khozyaystva v nikh* [Black alder forests of the Volga-Don basin and farming in them]. Yekaterinburg: USLTU, 2008, 231 p.
- [8] Luganskiy N.A., Zalesov S.V., Abramova L.P., Stepanov A.S. *Estestvennoe lesovozobnovlenie v Dzhabyk-Karagayskom boru* [Natural reforestation in the Dzhabyk-Karagai forest]. *Lesnoy Zhurnal* (Russian Forestry Journal), 2005, no. 3, pp. 13–19.
- [9] Kalachev A.A., Zalesov S.V. *Kachestvo podrosta pikhty sibirskoy pod pologom pikhtovykh i berezovykh nasazhdeniy Rudnogo Altaya* [The quality of Siberian fir undergrowth under the canopy of fir and birch plantations of the Rudny Altai]. *Agrarian Bulletin of the Urals*, 2014, no. 4 (122), pp. 64–67.
- [10] Debkov N.M., Zalesov S.V., Opletaev A.S. *Obespechennost' osinikov sredney taygi podrostom predvaritel'noy generatsii (na primere Tomskoy oblasti)* [Provision of aspen in the middle taiga with undergrowth of preliminary generation (for example, the Tomsk region)]. *Agrarian Bulletin of the Urals*, 2015, no. 12 (142), pp. 48–53.
- [11] Dancheva A.V., Zalesov S.V., Mukanov B.M. *Vliyaniye rekreatsionnykh nagruzok na sostoyaniye i ustoychivost' sosnovykh nasazhdeniy Kazakhskogo melkosopchnika* [Influence of recreational loads on the state and stability of pine plantations of the Kazakh small hills]. Yekaterinburg: Ural State Technical University, 2014, 195 p.
- [12] Zalesov S.V., Bachurina A.V., Bachurina S.V. *Sostoyaniye lesnykh nasazhdeniy, podverzhennykh vliyaniyu promyshlennykh pollutantov ZAO «Karabashmed» i reaktsiya ikh komponentov na provedeniye rubok obnoveniya* [The state of forest stands subject to the influence of industrial pollutants of Karabashmed CJSC and the reaction of their components to cutting]. Yekaterinburg: USLTU, 2017. Available at: <http://elar.usfeu.ru/handle/123456789/6620> (accessed 10.01.2020).
- [13] Belov L.A., Zalesov S.V., Rubtsov P.I., Tolstikov A.Yu., Usov M.V., Kutyeva G.A. *Obespechennost' podrostom predvaritel'noy generatsii sosnovykh nasazhdeniy yagodnikovogo tipa lesa* [Provision of undergrowth for preliminary generation of pine plantations of the berry type forest] [Forests of Russia and the economy in them], 2016, no. 3 (58), pp. 4–12.
- [14] Bun'kova N.P., Zalesov S.V. *Rekreatsionnaya ustoychivost' i emkost' sosnovykh nasazhdeniy v lesoparkakh g. Ekaterinburga* [Recreational stability and capacity of pine plantations in forest parks of the city of Yekaterinburg]. Yekaterinburg: USLTU, 2016, 124 p.
- [15] Fomin V.V., Zalesov S.V., Magasumova A.G. *metodiki otsenki gustoty podrosta i drevostoev pri zarastanii sel'skokhozyaystvennykh zemel' drevosnoy rastitel'nost'yu s ispol'zovaniem kosmicheskikh snimkov vysokogo prostranstvennogo razresheniya* [Methods for assessing the density of undergrowth and forest stands when agricultural lands are overgrown with woody vegetation using satellite imagery of high spatial resolution] *Agrarnyy vestnik Urala* [Agrarian Bulletin of the Urals], 2015, no. 1 (131), pp. 25–29.
- [16] Danilich V.N., Isaeva R.P., Terekhov G.G., Freyberg I.A., Zalesov S.V., Luganskiy V.N., Luganskiy N.A. *Rekomendatsii po lesovosstanovleniyu i lesorazvedeniyu na Urale* [Recommendations for reforestation and afforestation in the Urals]. Yekaterinburg: UGLTA, 2001, 117 p.
- [17] Zalesov S.V., Lobanov A.N., Luganskiy N.A. *Rost i produktivnost' sosnyakov iskusstvennogo i estestvennogo proiskhozhdeniya* [Growth and productivity of artificial and natural pine forests]. Yekaterinburg: Ural State Technical University, 2002, 112 p.
- [18] Chermnykh A.I., Opletaev A.S. *Analiz povydel'noy geobazy s ispol'zovaniem SQL – zaprosov dlya opredeleniya statisticheski dostovernoy informatsii na primere GIS MAPINFO* [Analysis of a geobase using SQL queries to determine statistically reliable information using the MAPINFO GIS example] *Lesa Rossii i khozyaystvo v nikh* [Forests of Russia and the economy in them], 2013, no. 1 (44), pp. 53–54.
- [19] Opletaev A.S., Chermnykh A.I., Kirshbaum A.R. *Obespechennost' podrostom predvaritel'noy generatsii perestoynykh nasazhdeniy Chelyabinskoy oblasti* [Provision of undergrowth for the preliminary generation of overgrown stands of the Chelyabinsk region] *Uspekhi sovremennogo estestvoznaniya* [Successes in modern natural sciences], 2017, no. 7, pp. 42–46.
- [20] *Pravila lesovosstanovleniya: Utv. Prikazom Ministerstva prirodnykh resursov i ekologii Rossiyskoy Federatsii ot 29 iyunya 2016 g. № 375* [Rules for reforestation: Approved. By order of the Ministry of Natural Resources and Ecology of the Russian Federation of June 29], 2016, no. 375, 146 p. Available at: <https://geostart.ru/doc/read/22538#> (accessed 10.01.2020).

## Authors' information

**Opletayev Anton Sergeevich** — Cand. Sci. (Agriculture), Associate Professor of the Ural State Forestry University, [Zalesov@usfeu.ru](mailto:Zalesov@usfeu.ru)

**Zalesova Evgeniya Sergeevna** — Cand. Sci. (Agriculture), Associate Professor Forestry of the Ural State Forestry University, [Zalesov@usfeu.ru](mailto:Zalesov@usfeu.ru)

**Belov Leonid Aleksandrovich** — Cand. Sci. (Agriculture), Associate Professor of the Ural State Forestry University, [Zalesov@usfeu.ru](mailto:Zalesov@usfeu.ru)

**Ivanchina Lyudmila Alekseevna** — Graduate student of the Ural State Forestry Technical University, [Zalesov@usfeu.ru](mailto:Zalesov@usfeu.ru)

Received 01.02.2020.

Accepted for publication 07.06.2020.

## ОБРАБОТКА НЕКОНДИЦИОННЫХ СЕМЯН СОСНЫ БАНКСА (*PINUS BANKSIANA* LAMB.) И СОСНЫ ОБЫКНОВЕННОЙ (*PINUS SYLVESTRIS* L.) НИЗКОЧАСТОТНЫМ ЭЛЕКТРОМАГНИТНЫМ ПОЛЕМ

А.И. Смирнов<sup>1</sup>, Ф.С. Орлов<sup>1</sup>, С.Б. Васильев<sup>2</sup>,  
П.А. Аксенов<sup>2</sup>, В.Ф. Никитин<sup>2</sup>

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

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

3642737@mail.ru

Представлены результаты исследования по определению эффективности влияния низкочастотного электромагнитного поля на всхожесть некондиционных семян сосны Банкса (*Pinus banksiana* Lamb.) и сосны обыкновенной (*Pinus sylvestris* L.). Отобраны две пробы семян сосны Банкса, отличающиеся по исходной всхожести (сбор 2008 и 2010 гг.) и одна проба семян сосны обыкновенной (сбор 2012 г.). Лабораторные исследования состояли из трех экспериментов, каждый из которых проведен в трехкратной повторности. Обработка опытной части семян низкочастотным ЭМП проведена с помощью низкочастотного генератора «Рост-Актив» по технологии предпосевной обработки семян электромагнитным полем (контролем служили необработанные семена). Для определения всхожести семена проращивали в лабораторных условиях на специальной растительной (столе Якобсена) с постоянной температурой воды 24 °С (по ГОСТ 13056.6–97). Результаты проведенных лабораторных исследований продемонстрировали высокую эффективность обработки семян по выбранной технологии, что позволяет рассматривать ее как перспективный способ, помогающий восстановить физиологический потенциал семян и повысить их посевные качества после длительного хранения, а это непременно должно улучшить качество посадочного материала.

**Ключевые слова:** низкочастотное электромагнитное поле, обработка семян, сосна Банкса, сосна обыкновенная, всхожесть, технология ПОСЭП

**Ссылка для цитирования:** Смирнов А.И., Орлов Ф.С., Васильев С.Б., Аксенов П.А., Никитин В.Ф. Обработка некондиционных семян сосны Банкса (*Pinus banksiana* Lamb.) и сосны обыкновенной (*Pinus sylvestris* L.) низкочастотным электромагнитным полем // Лесной вестник / Forestry Bulletin, 2020. Т. 24. № 5. С. 59–65. DOI: 10.18698/2542-1468-2020-5-59-65

Для искусственного воспроизводства лесных насаждений стандартный посадочный материал необходимо выращивать в достаточном количестве [1, 2], а это во многом зависит от посевных характеристик используемых семян [3, 4]. Поскольку древесные растения продуцируют семена не ежегодно и урожайные годы чередуются с неурожайными, то для стабильного процесса возобновления продуктивности лесов специализированные хозяйства заготавливают и закладывают на хранение до нескольких тонн семян хвойных и лиственных пород [5, 6]. Хранение можно охарактеризовать как сохранение жизнеспособных семян со времени сбора до тех пор, пока они не понадобятся для посева [7]. Однако в процессе вынужденного длительного хранения семена утрачивают свои посевные качества, и это приводит к значительному снижению их всхожести и, как следствие, к переходу в более низкую качественную категорию [8–10]. Сложившаяся в лесном хозяйстве ситуация с семенами вызывает необходимость искать приемы подготовки их к посеву, которые могли бы существенно повысить их всхожесть.

Последние достижения в области физики [11–13] открывают исследователям новые возможности для разработки современных, эффективных и

экологически безопасных методов повышения посевных качеств семян. На сегодняшний день уже хорошо известно о положительном влиянии на урожайность сельскохозяйственных растений предпосевной обработки семян сельхозкультур электромагнитным полем (ЭМП) [14–16]. Так, по результатам поставленных опытов, выявлено повышение энергии прорастания и лабораторной всхожести семян сои, пшеницы, кукурузы, томатов и подсолнечника после их обработки слабыми низкочастотными магнитными полями [17–19]. В литературных источниках отмечается повышение урожайности сельхозпродукции, выращенной из обработанного семенного материала [20–22]. Для лесного хозяйства России, использование ЭМП как способа повышения качества посевного материала является новым направлением, поскольку до сих пор положительный эффект применения низкочастотного ЭМП к семенам хвойных пород пока мало изучен. [23].

### Цель работы

Цель работы — определение возможности повышения всхожести семян хвойных видов с помощью технологии предпосевной обработки семян электромагнитным полем (ПОСЭП).

## Объекты и методы исследования

По нашему мнению, для исследования особый интерес представляют семена, которые в результате длительного хранения утратили свои изначальные посевные качества, т. е. их всхожесть понизилась. С учетом положительного опыта обработки семян ЭМП в сельском хозяйстве в лаборатории кафедры лесных культур, селекции и дендрологии (ЛТ1) МГТУ им. Н.Э. Баумана (Мытищинский филиал) в декабре 2017 г. нами проведен эксперимент по обработке семян сосны Банкса (*Pinus banksiana* Lamb.) и сосны обыкновенной низкочастотным ЭМП по технологии ПОСЭП с помощью низкочастотного генератора «Рост-Актив» (рис. 1) [24]. Сухие семена подвергли обработке ЭМП с частотой 16 Гц при возрастающем значении индукции магнитного поля от 0,4 до 2,0 мТл, времени экспозиции 11 мин



Рис. 1. Низкочастотный генератор «Рост-Актив» в процессе обработки семян

Fig. 1. Low-frequency generator «Rost-Aktiv» in the process of seed treatment



Рис. 2. Процесс обработки семян низкочастотным электромагнитным полем

Fig. 2. The process of seed treatment with a low-frequency electromagnetic field

(рис. 2) [25]. Контролем служили необработанные семена. Отбор образцов проводили в соответствии с ГОСТ 13056.1–67. Семена проращивали в лабораторных условиях по ГОСТ 13056.6–97. Всхожесть определяли на 15-й день. В сравнениях участвовали два варианта проб: 1) контроль — семена необработанные; 2) опыт — семена, обработанные ЭМП.

## Результаты и обсуждение

Рассмотрим три варианта эксперимента.

1. Проращивание некондиционных семян сосны Банкса с очень низкой всхожестью из партии с длительным сроком хранения (сбор 2008 г.). Во всех повторностях опытные показатели имели значения выше контрольных (рис. 3, табл. 1).

На основании приведенных данных можно сделать вывод о максимальной всхожести некондиционных семян во всех повторностях, где превышение опытного варианта над контрольным достигло 84 %. Однако средний показатель всхожести в опытном варианте не достигает стандартного значения характерного для 3-го класса качества семян (65 % по ГОСТ 14161–86) и составляет 30,3 %. Различие средних показателей всхожести сравниваемых вариантов достоверно на пятипроцентном уровне значимости (табл. 2).

2. Проращивание некондиционных семян сосны Банкса с низкой всхожестью из партии с менее длительным сроком хранения (сбор 2010 г.). Во всех повторностях опытные показатели превышали контрольные (табл. 3, 4).

Данные табл. 3 указывают на лучшее качество семян из партии с менее длительным сроком хранения. Варьирование превышений относительных значений всхожести сравниваемых вариантов значительно ниже, чем в предыдущем эксперименте. Превышение опытного варианта над контрольным составляло не более 65 %. Однако как и в первом случае, средний показатель всхожести не достиг стандартного значения, характерного для 3-го класса качества семян. Различие средних показателей всхожести сравниваемых вариантов также достоверно на пятипроцентном уровне значимости (см. табл. 4).

При анализе данных табл. 1 и 2 можно утверждать, что в обоих экспериментах предпосевная обработка ЭМП семян сосны Банкса положительно отразилась на их всхожести. Если у семян с меньшим сроком хранения эффект обработки составляет 52,5 %, то у семян длительного хранения обработка повысила всхожесть на 62,3 %.

3. Проращивание некондиционных семян сосны обыкновенной с минимальным сроком хранения (сбор 2012 г.). Во всех повторностях опытные показатели имели значения выше контрольных (табл. 5, 6.)

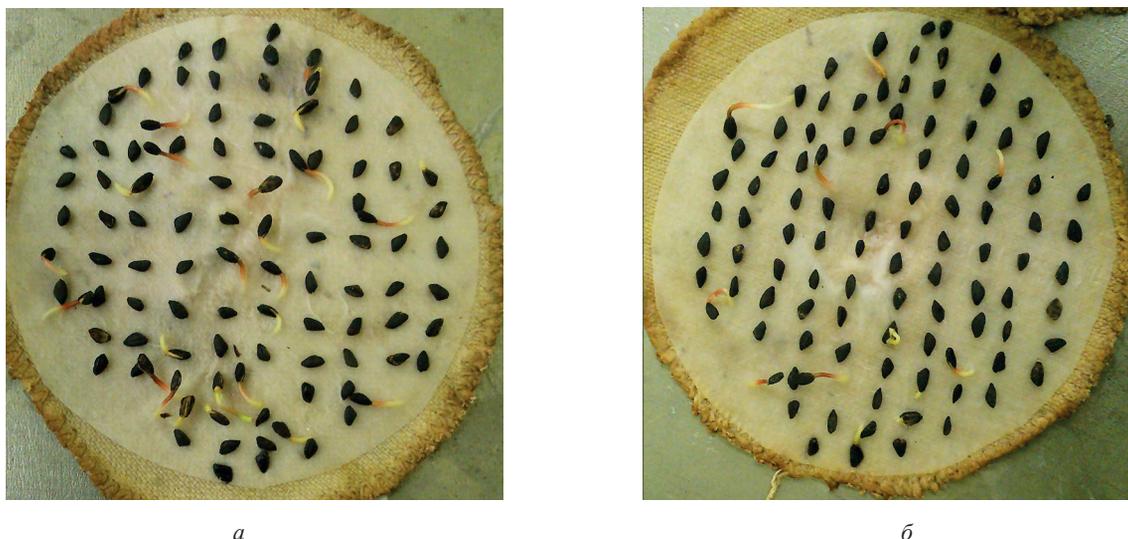


Рис. 3. Прорастание семян сосны Банкса на 5-й день: *a* — опыт, *б* — контроль  
 Fig. 3. Germination of Banksian pine seeds on the 5th day: *a* — experiment, *б* — control

Т а б л и ц а 1

**Всхожесть (%) некондиционных семян сосны Банкса на 15-й день**  
**Germination (%) of substandard Banksian pine seeds on the 15th day**

Номер повторности	Необработанные семена (контроль)	Обработанные ЭМП семена	Всхожесть относительно контроля, %
0	21	29	138
1	18	26	144
2	19	35	184
3	17	31	182

Т а б л и ц а 2

**Результаты статистической обработки показателей всхожести некондиционных семян сосны Банкса на 15-й день (стандартное значение *t*-критерия достоверности различий ( $t_{st} = 4,3$ ) при заданном уровне значимости ( $\alpha = 0,05$ ))**

Results of statistical processing of germination indices of substandard Banksian Pine seeds on the 15th day (the standard value of the *t*-test of reliability differences ( $t_{st} = 4,3$ ) at a given level of significance ( $\alpha = 0,05$ ))

Статистический показатель	Среднее арифметическое и ошибка среднего ( $M \pm m_M$ ), %	Расчетный <i>t</i> -критерий достоверности различий ( $t_p$ ) между выборками
Необработанные семена (контроль)	18,8 ± 0,9	5,47
Обработанные ЭМП семена	30,3 ± 1,9	
Всхожесть относительно контроля	162,3 ± 12,2	—

Т а б л и ц а 3

**Всхожесть (%) некондиционных семян сосны Банкса на 15-й день**  
**Germination (%) of substandard Banksian pine seeds on the 15th day**

Номер повторности	Необработанные семена (контроль)	Обработанные ЭМП семена	Всхожесть относительно контроля, %
0	28	46	164
1	31	43	139
2	22	36	164
3	30	43	143

Т а б л и ц а 4

**Результаты статистической обработки показателей всхожести некондиционных семян сосны Банкса на 15-й день (стандартное значение  $t$ -критерия достоверности различий ( $t_{st} = 4,3$ ) при заданном уровне значимости ( $\alpha = 0,05$ ))**

Results of statistical processing of germination indices of substandard Banksian Pine seeds on the 15th day (the standard value of the  $t$ -test for the significance ( $t_{st} = 4,3$ ) at a given level of significance ( $\alpha = 0,05$ ))

Статистический показатель	Среднее арифметическое и ошибка среднего ( $M \pm m_M$ ), %	Расчетный $t$ -критерий достоверности различий ( $t_p$ ) между выборками
Необработанные семена (контроль)	27,8 $\pm$ 2,0	4,90
Обработанные ЭМП семена	42,0 $\pm$ 2,1	
Всхожесть относительно контроля	152,5 $\pm$ 6,7	–

Т а б л и ц а 5

**Всхожесть (%) некондиционных семян сосны обыкновенной на 15-й день**

Germination (%) of substandard Common pine seeds on the 15th day

Номер повторности	Необработанные семена (контроль)	Обработанные ЭМП семена	Всхожесть относительно контроля, %
0	52	66	127
1	51	77	151
2	60	73	122
3	48	78	163

Т а б л и ц а 6

**Результаты статистической обработки показателей всхожести некондиционных семян сосны обыкновенной на 15-й день (стандартное значение  $t$ -критерия достоверности различий ( $t_{st} = 4,3$ ) при заданном уровне значимости ( $\alpha = 0,05$ ))**

Results of statistical processing of germination indices of substandard Common pine seeds on the 15th day (the standard value of the  $t$ -criterion of reliability differences ( $t_{st} = 4,3$ ) at a given level of significance ( $\alpha = 0,05$ ))

Статистический показатель	Среднее арифметическое и ошибка среднего ( $M \pm m_M$ ), %	Расчетный $t$ -критерий достоверности различий ( $t_p$ ) между выборками
Необработанные семена (контроль)	52,8 $\pm$ 2,6	5,52
Обработанные ЭМП семена	73,5 $\pm$ 2,7	
Всхожесть относительно контроля	140,5 $\pm$ 9,7	–

Данные табл. 5 показывают увеличение всхожести до 73,5 %, что на 40 % выше контрольных значений. Различие средних показателей всхожести сравниваемых вариантов также достоверно на пятипроцентном уровне значимости (табл. 6).

Таким образом, в результате обработки ЭМП некондиционные семена по показателям всхожести практически достигли 3-го класса качества.

## Выводы

На основании результатов лабораторных исследований сделано заключение о положительном влиянии на посевные характеристики семян сосны Банкса и сосны обыкновенной предпосевной обработки некондиционных семян низкочастотным ЭМП по технологии ПОСЭП. После такой обработки повышается всхожесть семян соответственно до 42 и 73 %. Наблюдаемая разни-

ца объясняется стимулирующим действием ЭМП на физиологические процессы, которые происходят при выходе семян из состояния покоя.

## Список литературы

- [1] Родин А.Р. Интенсификация выращивания лесопосадочного материала. М.: Агропромиздат, 1989. 78 с.
- [2] Мелехов И.С. Лесоведение. М.: МГУЛ, 2002. 398 с.
- [3] Булыгин Н.Е., Ярмишко В.Т. Дендрология. М.: МГУЛ, 2001. 528 с.
- [4] Редько Г.И., Мерзленко М.Д., Бабич Н.А. Лесные культуры. СПб.: ГЛТА, 2005. 556 с.
- [5] Romanas L. Effect of cold stratification on the germination of seeds // Physiology of forest seeds. The National Agricultural Research Foundation (NAGREF). Thessaloniki, Greece: Forest Research Institute, 1991, p. 20.
- [6] Орехова Т.П. Создание долговременного банка семян древесных видов — реальный способ сохранения их генофонда // Хвойные бореальной зоны, XXVII, 2010. № 1–2. С. 25–31.

- [7] Willan R.L. A Guide to Forest Seed Handling with Special Reference to the Tropics. FAO, Rome: Forestry Paper, 1987, no. 20/2.
- [8] Gordon G.A. Seed manual for forest trees. UK London: Forestry Commission, 1992, 132 p.
- [9] Смирнов С.Д. Опыт лесного семеноводства и селекции // Обзорная информация Центрального бюро научно-технической информации Госкомлеса. М.: ЦБНТИ лесного хозяйства, 1974. С. 20.
- [10] Get transplanting right for seedling survival. Lloyd Phillips, September 11, 2012. URL: <https://www.farmersweekly.co.za/agri-technology/farming-for-tomorrow/get-transplanting-right-for-seedling-survival/> (дата обращения 01.05.2020).
- [11] Пентелькина Н.В. Проблемы выращивания посадочного материала в лесных питомниках и пути их решения // Актуальные проблемы лесного комплекса. Сб. науч. тр. Вып. 31. Брянск: ФГБОУ ВО Брянский государственный инженерно-технологический университет, 2012. С. 189–193.
- [12] Martynyuka V.S., Tseyslyera Yu.V., Temuryants N.A. Interference of the Mechanisms of Influence That Weak Extremely Low Frequency Electromagnetic Fields Have on the Human Body and Animals // *Izvestiya Atmospheric and Oceanic Physics*, 2012, v. 48, no. 8, pp. 832–846.
- [13] Ксенз Н.В., Качеишвили С.В. Анализ электрических и магнитных воздействий на семена // *Механизация и электрификация сельского хозяйства*, 2000. № 5. С. 10–12.
- [14] De Souza Torres A., Garcia D., Sueiro L., Licea L., Potras E. Pre-sowing magnetic treatment of tomato seeds effect on the growth and yield of plants cultivated late in the season // *Spanish J. Agricultural Research*, 2005, no. 3(1), pp. 113–122.
- [15] Голдаев В.К. Электрическое поле и урожай // *Сельское хозяйство*, 1980. № 4. С. 30–31.
- [16] Fischer G., Tausz M., Kock M., Grill D. Effect of Weak 16 HZ Magnetic Fields on Growth Parameters of Young Sunflower and Wheat Seedlings // *Bioelectromagnetics*, 2004, no. 25 (8), pp. 638–641.
- [17] Комиссаров Г.Г. Влияние флуктуирующего электромагнитного поля на ранние стадии развития растений // Доклады РАН, 2006. Т. 406. № 1. С. 108–110.
- [18] Бекбулатов З.Т., Порфирьев Н.П. Использование омагниченной воды для полива арбузов // Информационный листок. Астрахань: Астраханский центр научно-технической информации, 1986. № 191.
- [19] Penuelas J., Llusia J., Martinez B., Fontcuberta J. Diamagnetic Susceptibility and Root Growth Responses to Magnetic Fields in *Lens culinaris*, *Glycine soja*, and *Triticum aestivum* // *Electromagnetic Biologu and Medicine*, 2004, v. 23, no. 2, pp. 97–112.
- [20] Рубцова Е.И., Хныкина А.Г. Влияние импульсного электрического поля на энергию прорастания семян сои // *Механизация и электрификация сельского хозяйства*, 2009. № 12. С. 26–27.
- [21] Mahajan T.S., Pandey O.P. Effect of electric and magnetic treatments on germination of bitter melon (*Momordica charantia*) seed // *International J. Agriculture and Biology*, 2015, no. 17 (2). URL: [https://fsublishers.org/published\\_papers/47334\\_.pdf](https://fsublishers.org/published_papers/47334_.pdf) (дата обращения 01.05.2020).
- [22] Старухин Р.С., Белицин И.В., Хомутов О.И. Метод предпосевной обработки семян с использованием эллиптического электромагнитного поля // *Ползуновский вестник*, 2009. № 4. С. 97–103.
- [23] Смирнов А.И. Влияние низкочастотного электромагнитного поля на всхожесть семян и рост сеянцев сосны обыкновенной в питомниках зоны смешанных лесов: дис. ... канд. с.-х. наук. Москва, МГУЛ, 2016.
- [24] Смирнов А.И., Орлов Ф.С. Устройство для предпосевной обработки посевного материала. Пат. № 155132 РФ, заявитель и патентообладатель ООО «Разносервис», 2014. Бюл. № 26.
- [25] Смирнов А.И., Орлов Ф.С. Способ предпосевной обработки семян и устройство для его осуществления. Пат. № 2591969 РФ, заявитель и патентообладатель ООО «Разносервис», 2014. Бюл. № 20.

## Сведения об авторах

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

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

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

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

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

Поступила в редакцию 23.03.2020.

Принята к публикации 26.05.2020.

## PROCESSING OF SUBSTANDARD SEEDS OF BANKSA PINE (*PINUS BANKSIANA* LAMB.) AND COMMON PINE (*PINUS SYLVESTRIS* L.) BY A LOW-FREQUENCY ELECTROMAGNETIC FIELD

A.I. Smirnov<sup>1</sup>, F.S. Orlov<sup>1</sup>, S.B. Vasil'ev<sup>2</sup>, P.A. Aksenov<sup>2</sup>, V.F. Nikitin<sup>2</sup>

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

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

3642737@mail.ru

This paper presents the results of a study that was conducted in the laboratory of the LT1 Department of the Moscow state technical University. N.E. Bauman in December 2017. The aim of the study was to study the effect of a low-frequency electromagnetic field (EMF) on the germination of substandard seeds of banksia pine (*Pinus banksiana* Lamb.) and common pine (*Pinus sylvestris* L.). Two samples of banksia pine seeds that differ in their initial germination (2008 and 2010 collection) and one sample of common pine seeds (2012 collection) were selected for the study. Laboratory studies included 3 experiments, each in 3-fold repetition. Treatment experienced of the seeds of low-frequency EMFs was performed using a low frequency generator «Growth-Active» technology POSEP (pre-sowing seed treatment with electromagnetic field), served as control untreated seeds. To determine the germination energy, the seeds were sprouted in the laboratory on a special plant (Jacobsen's table), with a constant water temperature of 24° C (according to GOST 13056.6–97). The results of the laboratory tests showed a high effectiveness of seed treatment technology POSEP, it can be regarded as a promising way to reveal the physiological potential of seeds of coniferous species, and it is bound to affect the quality of planting material.

**Keywords:** low-frequency electromagnetic field, seed treatment, Banksia pine, Common pine, germination, POSEP technology

**Suggested citation:** Smirnov A.I., Orlov F.S., Vasil'ev S.B., Aksenov P.A., Nikitin V.F. *Obrabotka nekonditsionnykh semyan sosny Banksia (Pinus Banksiana Lamb.) i sosny obyknovnoy (Pinus sylvestris L.) nizkочастотным электромагнитным полем* [Processing of substandard seeds of Banksia pine (*Pinus Banksiana* Lamb.) and Common pine (*Pinus sylvestris* L.) by a low-frequency electromagnetic field]. *Lesnoy vestnik / Forestry Bulletin*, 2020, vol. 24, no. 5, pp. 59–65. DOI: 10.18698/2542-1468-2020-5-59-65

### References

- [1] Rodin A.R. *Intensifikatsiya vyrashchivaniya lesoposadochnogo materiala* [Intensification of growing planting material]. Moscow: Agropromizdat, 1989, 78 p.
- [2] Melekhov I.S. *Lesovedenie* [Forest science]. Moscow: MGUL, 2002, 398 p.
- [3] Bulygin N.E., Yarmishko V.T. *Dendrologiya* [Dendrology]. Moscow: MGUL, 2001, 528 p.
- [4] Red'ko G.I., Merzlenko M.D., Babich N.A. *Lesnye kul'tury* [Forest crops]. St. Petersburg: GLTA, 2005, 556 p.
- [5] Romanas L. Effect of cold stratification on the germination of seeds. *Physiology of forest seeds*. The National Agricultural Research Foundation (NAGREF). Thessaloniki, Greece: Forest Research Institute, 1991, p. 20.
- [6] Orekhova T.P. *Sozdanie dolgovremennogo banka semyan drevesnykh vidov — real'nyy sposob sokhraneniya ikh genofonda* [Creating a long-term seed bank of woody species is a real way to preserve their gene pool]. *Khvoynye boreal'noy zony* [Conifers of the boreal zone], XXVII, 2010, no. 1–2, pp. 25–31.
- [7] Willan R.L. *A Guide to Forest Seed Handling with Special Reference to the Tropics*. FAO, Rome: Forestry Paper, 1987, no. 20/2.
- [8] Gordon G.A. *Seed manual for forest trees*. UK London: Forestry Commission, 1992, 132 p.
- [9] Smirnov S.D. *Opyt lesnogo semenovodstva i selektsii* [The experience of forest seed production and selection]. *Obzornaya informatsiya TsBNTI Goskomlesa* [Overview of the Central Scientific and Technical Library of Goskomles]. Moscow: TSBNTI forestry, 1974, p. 20.
- [10] Get transplanting right for seedling survival. Lloyd Phillips, September 11, 2012. Available at: <https://www.farmersweekly.co.za/agri-technology/farming-for-tomorrow/get-transplanting-right-for-seedling-survival/> (accessed 01.05.2020).
- [11] Pentel'kina N.V. *Problemy vyrashchivaniya posadochnogo materiala v lesnykh pitomnikakh i puti ikh resheniya* [Problems of growing planting material in forest nurseries and ways to solve them]. *Aktual'nye problemy lesnogo kompleksa* [Actual problems of the forest complex. Sat scientific tr.] vol. 31. Bryansk: BGITA, 2012, pp. 189–193.
- [12] Martynyuka V.S., Tseyslyera Yu.V., Temuryants N.A. Interference of the Mechanisms of Influence That Weak Extremely Low Frequency Electromagnetic Fields Have on the Human Body and Animals. *Izvestiya Atmospheric and Oceanic Physics*, 2012, v. 48, no. 8, pp. 832–846.
- [13] Ksenz N.V., Kacheishvili S.V. *Analiz elektricheskikh i magnitnykh vozdeystviy na semena* [Analysis of electrical and magnetic effects on seeds]. *Mekhanizatsiya i elektrifikatsiya sel'skogo khozyaystva* [Mechanization and Electrification of Agriculture], 2000, no. 5, pp. 10–12.
- [14] De Souza Torres A., Garcia D., Sueiro L., Licea L., Porras E. Pre-sowing magnetic treatment of tomato seeds effect on the growth and yield of plants cultivated late in the season. *Spanish J. Agricultural Research*, 2005, no. 3(1), pp. 113–122.
- [15] Goldaev V.K. *Elektricheskoe pole i urozhay* [Electric field and harvest]. *Sel'skoe khozyaystvo* [Agriculture], 1980, no. 4, pp. 30–31.
- [16] Fischer G., Tausz M., Kock M., Grill D. Effect of Weak 16 HZ Magnetic Fields on Growth Parameters of Young Sunflower and Wheat Seedlings. *Bioelectromagnetics*, 2004, no. 25 (8), pp. 638–641.

- [17] Komissarov G.G. *Vliyaniye fluktuiruyushchego elektromagnitnogo polya na rannie stadii razvitiya rasteniy* [The influence of a fluctuating electromagnetic field on the early stages of plant development]. Doklady AN, 2006, v. 406, no. 1, pp. 108–110.
- [18] Bekbulatov Z.T., Porfir'ev N.P. *Ispol'zovanie omagnichennoy vody dlya poliva arbuzov* [The use of magnetized water for watering watermelons]. Informatsionnyy listok [Information leaflet]. Astrakhan: Astrakhan Central Scientific Research Institute, 1986, no. 191.
- [19] Penuelas J., Llusia J., Martinez B., Fontcuberta J. Diamagnetic Susceptibility and Root Growth Responses to Magnetic Fields in *Lens culinaris*, *Glycine soja*, and *Triticum aestivum*. *Electromagnetic Biologu and Medicine*, 2004, v. 23, no. 2, pp. 97–112.
- [20] Rubtsova E.I., Khnykina A.G. *Vliyaniye impul'snogo elektricheskogo polya na energiyu prorstaniya semyan soi* [The effect of a pulsed electric field on the energy of germination of soybean seeds]. *Mekhanizatsiya i elektrifikatsiya sel'skogo khozyaystva* [Mechanization and Electrification of Agriculture], 2009, no. 12, pp. 26–27.
- [21] Mahajan T.S., Pandey O.P. Effect of electric and magnetic treatments on germination of bitter gourd (*Momordica charantia*) seed. *International J. Agriculture and Biology*, 2015, no. 17 (2). URL: [https://fscpublishers.org/published\\_papers/47334\\_.pdf](https://fscpublishers.org/published_papers/47334_.pdf) (accessed 01.05.2020).
- [22] Starukhin R.S., Belitsin I.V., Khomutov O.I. *Metod predposevnoy obrabotki semyan s ispol'zovaniem ellipticheskogo elektromagnitnogo polya* [The method of presowing seed treatment using an elliptical electromagnetic field]. *Polzunovskiy vestnik* [Polzunovsky Bulletin], 2009, no. 4, pp. 97–103.
- [23] Smirnov A.I. *Vliyaniye nizkochastotnogo elektromagnitnogo polya na vskhozhest' semyan i rost seyantsev sosny obyknovnoy v pitomnikakh zony smeshannykh lesov* [Influence of a low-frequency electromagnetic field on seed germination and growth of common pine seedlings in nurseries of a zone of mixed forests]. Dis. Sci. (Agric.). Moscow, Moscow State University, 2016.
- [24] Smirnov A.I., Orlov F.S. *Ustroystvo dlya predposevnoy obrabotki posevnogo materiala* [Device for pre-sowing treatment of seed]. Pat. 155132 RF, applicant and patent holder LLC Raznoservice, 2014.
- [25] Smirnov A.I., Orlov F.S. *Sposob predposevnoy obrabotki semyan i ustroystvo dlya ego osushchestvleniya* [The method of presowing treatment of seeds and a device for its implementation]. Pat. 2591969 of the Russian Federation, applicant and patent holder of LLC Raznoservice, 2014.

## Authors' information

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

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

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

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

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

Received 23.03.2020.

Accepted for publication 26.05.2020.

## ЭКОНОМИЧЕСКИЕ ПРОБЛЕМЫ ЛЕСОУСТРОЙСТВА НА СОВРЕМЕННОМ ЭТАПЕ РАЗВИТИЯ

Г.П. Бутко<sup>1, 2</sup>

<sup>1</sup>ФГБОУ ВО «Уральский государственный лесотехнический университет», 620100, г. Екатеринбург, ул. Сибирский тракт, д. 37

<sup>2</sup>ФГБОУ ВО «Уральский государственный экономический университет», 620144, г. Екатеринбург, ул. 8 Марта/Народной Воли, д. 62/45

gpbutko@mail.ru

Выделены последовательные этапы лесоустройства: проектирование лесничеств и лесопарков, проектирование эксплуатационных, защитных и резервных лесов, мероприятий по охране и воспроизводству лесов. На основе теоретического обзора и анализа, представленного во взаимосвязи системы «результаты — затраты», определены основные направления развития лесоустройства. Впервые сформулировано понятие конкурентоспособности лесного капитала. Показана возможность достижения конкурентных преимуществ на основе устойчивого развития как фактора обеспечения экономической стабильности. Рассмотрена структура процесса лесопользования, включающая в себя прогрессивные элементы на основе сбалансированности между приростом и истощением природных ресурсов.

**Ключевые слова:** охрана, использование, лесопользование, защита и воспроизводство лесов, экологические и экономические проблемы, лесоустройство, эффективные способы рубок, лесовосстановление, устойчивое развитие

**Ссылка для цитирования:** Бутко Г.П. Экономические проблемы лесоустройства на современном этапе развития // Лесной вестник / Forestry Bulletin, 2020. Т. 24. № 5. С. 66–73.

DOI: 10.18698/2542-1468-2020-5-66-73

Современный период экономического развития характеризуется важностью теоретического обоснования рационального лесопользования. До XIX в. термины «лесоустройство» и «лесная экономика» рассматривались как синонимы. В качестве научной дисциплины лесоустройство появилось в Германии, поскольку возникла необходимость в организации и поддержании непрерывного неистощительного пользования лесом и предотвращения его истощения и уничтожения. Научную школу Германии представляет профессор Ф. Юдейх [1] Основоположник и классик отечественной школы лесоустройства профессор М.М. Орлов. Он подчеркивал, что текущие и капитальные затраты в лесной отрасли требуют раздельного учета при планировании и составлении соответствующих отчетов для контроля и рационального использования лесов и их ресурсов [2]. Совместная работа Ф.К. Арнольда и А.Р. Варгаса де Бедемара при первом лесоустройстве Тульских заповедников, знакомство с работами В.Е. Граффа и участие в организации работ и создании в 1843 г. знаменитого Велико-Анадольского лесничества позволили ему сформировать новое научное направление относительно приоритетных векторов лесоустройства.

Академик Н.П. Анучин обосновал устройство правильного лесного хозяйства [3]. Мировую известность получили научные труды академика Н.А. Моисеева [4, 5]. Актуальным было принято высказывание «Лесной капитал в экологическом, природном отношении представляет «здоровую экосистему», эффективно функционирующую

для удовлетворения экономических, социальных и культурных потребностей общества» [6, с. 371]. Известный ученый профессор А.П. Петров отметил: «Централизованно планируемая экономика советского периода вывела лесоустройство из системы лесопользования, в которой оно находилось в дореволюционной России и находится в странах с рыночной экономикой. К сожалению, в переходной экономике в 90-х годах прошлого века и нулевых годах этого века положение лесоустройства и всего комплекса лесохозяйственных работ как основного элемента лесопользования не было восстановлено в силу разных причин. Одной из главных причин является неготовность лесоустройства ответить на вызов рыночной экономики — оперативно принимать решения с ориентацией на конечные результаты» [7]. Это подтверждается как нормативными документами [8] и опытом формирования стратегии социально-экономического развития (в том числе лесного комплекса Российской Федерации) до 2020 г., 2030 г., так и опытом разработки лесных планов субъектов Российской Федерации, внедрением цифровых технологий [9, 10].

В контексте затронутой темы профессор М.Д. Гиряев [11] привел научное обоснование становления и развития лесоустройства от ее зарождения до настоящего времени. К проблеме лесоустройства неоднократно обращались Н.И. Кожухов [12], А.П. Петров, Н.К. Прядилина [13], Л.М. Чернякевич [14], О.А. Неволин, С.В. Третьяков, С.В. Ердяков [15], а также А.В. Суслов [16], В.К. Быковский [17].

## Цель работы

Цель работы — исследование проблем лесопользования, становления и развития лесоустройства, уточнение особенностей в системе «управление и планирование в области использования, охраны и других функций лесов», согласно действующему Лесному кодексу Российской Федерации и понятия «лесное законодательство РФ, основанное на принципах устойчивого управления лесами, сохранения их биологического разнообразия и иных полезных функций лесов».

Управление и планирование в области использования, охраны, защиты, воспроизводства лесов согласно действующему Лесному кодексу Российской Федерации [18] направлено на обеспечение устойчивого развития лесных территорий, Лесное законодательство РФ основано на принципах устойчивого управления лесами, сохранения их биологического разнообразия и повышения потенциала; сохранения сред образующих, водоохраных, защитных, санитарно-гигиенических, оздоровительных и иных полезных функций лесов в интересах обеспечения права каждого на благоприятную окружающую среду; использования лесов с учетом их глобального экологического значения. Следует учитывать период длительности их выращивания; обеспечения многоцелевого, рационального, непрерывного, неистощительного использования лесов для удовлетворения потребностей общества в лесах и лесных ресурсах; сохранения и улучшения качества лесов, а также повышения их продуктивности; платности использования лесов [18]. Следовательно, вся деятельность в области использования, охраны, защиты и воспроизводства лесов, неразрывно связана с решением основных задач обеспечения благосостояния общества в полезных лесах.

**Теоретический анализ.** В целях рационального управления лесами органам лесного хозяйства Российской Федерации на всех уровнях — от муниципальных до федеральных — необходима всесторонняя, достоверная и актуальная информация о состоянии и динамике лесов, происходящих в них изменениях и научно обоснованные планы организации и ведения лесного хозяйства. На практике решение вопросов, связанных со сбором и актуализацией информации о лесах и разработкой планов (проектов) организации и ведения лесного хозяйства всегда входило в функции лесоустройства.

В России лесоустроительные инструкции создавались и совершенствовались начиная с 1845 года. Лесоустройство как наука разрабатывает принципы, методы и технологии сбора информации о лесах и организации лесного хо-

зяйства, повышения эффективности и культуры его ведения. Наиболее значимыми направлениями являются изучение и определение возрастов спелости леса; оборотов и возрастов рубок; разработка наиболее эффективных способов рубок и лесовозобновления, рациональных методов инвентаризации и учета лесного фонда; совершенствование методов учета лесных ресурсов; разработка методов расчета и обоснования пользования древесиной и разнообразными лесными продуктами; разработка рекомендаций по проектированию комплекса лесохозяйственных мероприятий, принципов и методов экологического лесопользования; выполнение исследований и теоретических разработок по проблемам и запросам практики лесоустройства. Вопросам устройства русских лесов большое внимание уделено русским ученым А.Ф. Рудским [19]. А.Ю. Пуряева [20] акцентирует внимание на особенностях и истории специальных органов управления лесами от Российской империи до Российской Федерации.

Использование взаимосвязи между управлением, устойчивостью предприятия и его стоимостью подразумевает формирование концепции управления, ориентированного на стоимость, т. е. управление по критерию стоимости.

Относительно хозяйствующего субъекта отметим следующее. Сущность концепции управления капитализацией заключается в том, что с позиции акционеров (инвесторов) компании стратегическое управление должно быть направлено на обеспечение роста ее рыночной стоимости. Подход к управлению стоимостью бизнеса описан в работе [21]. Согласно данному подходу, управление стоимостью бизнеса предприятия (хозяйствующего субъекта) возможно на основе анализа ее чувствительности к факторам внешней среды.

В качестве ключевого фактора можно рассматривать любую переменную, в значительной мере влияющую на корпоративную стоимость. Ключевыми факторами стоимости принято считать как ценовую политику компании, состояние производственных мощностей, уровень конкуренции в отрасли, надежность поставщиков, нормативные акты, издаваемые государством, общеэкономическую ситуацию в стране, так и деловую репутацию, идеологию предприятия, его стиль, открытость, влияние на психологические отношения, складывающиеся между людьми, влияние на экологию [22].

Целесообразно в качестве ключевого рассматривать экологический фактор, который в последнее время, как показывает практика, во многих сферах приобретает все большее значение. Так же актуален экологический фактор в лесном секторе экономики, в связи с полезными функциями леса.

Правомерно предположение о влиянии экологического фактора на основе кластера инновационного типа [22] на конечную стоимость предприятия, базирующуюся на стратегии развития лесного сектора экономики [10]. Для проверки этого предположения целесообразно построить модель взаимодействия роста стоимости хозяйствующего субъекта, в зависимости от его экологической составляющей.

Специалисты отмечают, что лесоустройство в его классическом понимании — это специализированный вид лесохозяйственной деятельности, обеспечивающий разработку системы государственных мероприятий, направленных на рациональное использование, повышение продуктивности, воспроизводство, охрану и защиту лесов, повышение культуры ведения лесного хозяйства [12]. С позиции практики и системы стратегического управления лесом необходимо выделить определенный спектр вопросов относительно объектов лесоустройства:

а) проведение комплекса лесоинвентаризационных (съёмочно-геодезических и лесотаксационных) работ на указанном уровне, создание актуализированных картографических и лесотаксационных баз данных различной степени агрегации;

б) получение информации о естественно-исторических и экономических условиях района расположения объекта лесоустройства;

в) анализ хозяйственной деятельности и изучение прошлого опыта ведения лесного хозяйства в области использования, охраны, защиты и воспроизводства лесов в предшествовавшем ревизионном периоде и влияния их на динамику количественных и качественных характеристик лесов и их ресурсный потенциал;

г) разработка основ ведения лесного хозяйства, проектирование мероприятий по многоцелевому использованию лесов, их охране, защите и воспроизводству и других видов лесохозяйственной деятельности с разработкой проекта (плана, лесохозяйственного регламента) организации и ведения лесного хозяйства на предстоящий ревизионный (обычно 10-летний) период [18].

В целях принятия управленческих решений целесообразно проведение расчетов по оценке конкурентоспособности продукции леса. С помощью понятия конкурентоспособности лесного капитала. Область применения — сфера деятельности услуг. Достижение конкурентных преимуществ возможно на основе устойчивого развития как фактора обеспечения экономической стабильности. Структура процесса лесопользования включает в себя прогрессивные элементы и может быть достигнута на основе сбалансированности между приростом и истощением природных ресурсов.

## Методика исследования

Исследования проводились на основе системного и ситуационного подходов, пассивно-активного эксперимента на территории Ново-Лялинского, Режевского и Туринского лесничеств Свердловской обл. В основу исследований, как отмечалось ранее, положен системный подход.

**Эмпирический анализ.** Понятие лесоустройства как практической системы и деятельности в настоящее время применяется в научной и учебной литературе, в действующем Лесном кодексе Российской Федерации. В лесоустроительной инструкции и некоторых других нормативных документах оно отсутствует [18]. Таким образом, сложившаяся единая централизованная система российского государственного лесоустройства, считавшаяся международным научно-техническим сообществом конца XX в. одной из лучших и наиболее эффективных в мире, была упразднена и разрушена.

Следует отметить, что в соответствии со ст. 68 действующего Лесного кодекса лесоустройство включает в себя:

- 1) проектирование лесничеств и лесопарков;
- 2) проектирование эксплуатационных, защитных и резервных лесов, а также особо защитных участков лесов;
- 3) закрепление на местности местоположения границ лесничеств, участков лесничеств, лесных участков и земель, на которых расположены эксплуатационные, защитные, резервные леса, особо защитные участки лесов;
- 4) таксацию лесов;
- 5) проектирование мероприятий по охране, защите, воспроизводству лесов [18].

При проектировании лесничеств и лесопарков, эксплуатационных, защитных и резервных лесов, а также особо защитных участков осуществляется установление их границ и фиксация в соответствующих ведомостях информации о наименованиях и площадях проектируемых территориальных единиц, а также основание деления лесов по целевому назначению, которая не относится к области экономики в рамках различных видов деятельности. Виды разрешенного использования лесов, возраст рубок, расчетная лесосека, сроки использования лесов и другие параметры их разрешенного использования, ограничения использования лесов и требования к охране, защите и воспроизводству устанавливаются для лесничеств и лесопарков в лесохозяйственных регламентах, разработка которых обеспечивается органами государственной власти и органами местного самоуправления в пределах их полномочий.

Последние определяются в соответствии со статьями 81–84 Лесного кодекса Российской Федерации [18]. Следовательно, задачи по разработке основ ведения лесного хозяйства, проектированию мероприятий по многоцелевому использованию лесов, разработке проекта (плана, лесохозяйственного регламента) организации и ведения лесного хозяйства, составлявшие основу экономических аспектов лесоустройства, напрямую к нему не относятся.

Основополагающим документом лесного планирования, в котором определяются его цели и задачи, мероприятия по осуществлению планируемого освоения лесов и зон такого освоения, согласно статьям 85, 86 Лесного кодекса РФ, является Лесной план субъекта Российской Федерации, разработка которого осуществляется органом государственной власти субъекта Российской Федерации [18]. Лесной план субъекта Российской Федерации должен включать в себя следующие разделы:

- сведения о субъекте РФ, об информационной и методической основах разработки лесного плана субъекта РФ;

- оценку организации использования лесов, выполнения мероприятий по охране, защите, воспроизводству лесов и изменения характеристик лесов за период действия предыдущего лесного плана субъекта РФ;

- оценку лесных ресурсов и средообразующих, водоохраных, защитных, санитарно-гигиенических, оздоровительных и иных полезных функций лесов, рынков лесопродукции и перспектив освоения лесов; цели и задачи лесного плана субъекта РФ, выполнения мероприятий и плановые показатели на период реализации лесного плана субъекта РФ;

- организацию региональной системы ведения лесного хозяйства, ресурсное и кадровое обеспечение; оценку экономической эффективности и ожидаемые результаты реализации мероприятий лесного плана субъекта Российской Федерации [18].

В соответствии с отмеченным анализ хозяйственной деятельности и изучение опыта ведения лесного хозяйства также выведены из состава лесоустройства.

На уровне конкретных лесных участков сведения о разрешенных видах и проектируемых объемах использования лесов, мероприятиях по охране, защите и воспроизводству лесов, по созданию объектов лесной и лесоперерабатывающей инфраструктуры, по охране объектов животного мира и водных объектов, содержатся в проекте освоения лесов. Этот документ составляют лица, которым лесные участки предоставлены в постоянное (бессрочное) пользование или в аренду

в соответствии со ст. 12 Лесного кодекса РФ на основании договора аренды лесного участка, свидетельства о предоставлении лесного участка в постоянное (бессрочное) пользование, лесохозяйственного регламента лесничества (лесопарка), материалов государственного лесного реестра, документов территориального планирования, а также иных специальных обследований. [18].

В общей части проекта освоения лесов среди прочего разрабатываются мероприятия по охране, защите и воспроизводству лесов; мероприятия по охране объектов животного мира и водных объектов, обеспечивающие экологический аспект хозяйственной деятельности. Специальная часть проекта освоения лесов — раздел «Организация использования лесов» — состоит из подразделов по видам разрешенного использования лесов. Подраздел «заготовка древесины», в частности, содержит следующие сведения: возрасты рубок и спелости лесных насаждений; установленный объем заготовки древесины на участке; ведомость лесотаксационных выделов, в которых проектируется заготовка древесины, пространственное размещение указанных лесотаксационных выделов, а также пространственное размещение развития дорожной сети на период действия проекта освоения лесов (тематическая лесная карта); общие сведения о проектируемых ежегодных объемах заготовки древесины. Отвод и таксация лесосек, согласно действующим Правилам заготовки древесины, осуществляются: гражданами и юридическими лицами, осуществляющими заготовку древесины на основании договоров аренды лесных участков; федеральными государственными учреждениями, осуществляющими заготовку древесины на лесных участках, предоставленных им в постоянное (бессрочное) пользование; органами государственной власти, органами местного самоуправления в пределах их полномочий, определенных в соответствии со статьями 82–84 Лесного кодекса Российской Федерации, для заготовки древесины гражданами и юридическими лицами и субъектами малого и среднего предпринимательства в соответствии с ч. 4 ст. 29.1 Лесного кодекса Российской Федерации на основании договоров купли-продажи лесных насаждений [18].

На основании выполненного исследования установлено, что детальное проектирование мероприятий по многоцелевому использованию лесов, по охране, защите и воспроизводству лесов, по охране объектов животного мира и водных объектов, материально-денежная оценка лесосечного фонда и других ресурсов, в которых имели первостепенное значение экономические и экологические аспекты, также больше не относятся к лесоустройству.

Предлагается отказ от оценки спроса на лесопroduкцию к бизнес-оценке на нее с учетом системы оценочных показателей с ориентацией по критерию прироста прибыли. Учитывая, что на структуру потребления древесины в соотношении с ее объемами влияет множество факторов, необходимым условием следует считать и анализировать конъюнктуру цен на лесопroduкцию на внутреннем и внешнем рынках. Не менее значимой является транспортная доступность как ресурсов, так и рынков.

Роль и влияние лесоустройства на экономику отрасли в настоящее время происходит только опосредованно, через разработку на его основе материалов, полученных при выполнении съемочно-геодезических, плано-картографических, лесотаксационных работ и запроектированных в процессе таксации мероприятий по охране, защите и воспроизводству лесов:

а) лесохозяйственных регламентов лесничеств / лесопарков (аналоги составлявшихся ранее при лесоустройстве проектов организации и ведения лесного хозяйства лесхозов);

б) государственные лесные реестры лесничеств / лесопарков (вместо составлявшихся ранее лесоустройством учетов лесного фонда — со значительным расширением числа характеристик и показателей);

в) лесные планы субъектов Федерации (аналоги составлявшихся ранее генеральных схем развития лесного хозяйства и лесной промышленности);

г) проекты освоения лесных участков, переданных в аренду;

д) материалы для подготовки и проведения аукционов по передаче лесных участков в аренду [18].

Общеизвестно, что капитал — это стоимость, приносящая прибавочную стоимость посредством производственной и экономической деятельности, основанной на добровольном обмене [18]. Понятие «лесной капитал» предполагает теоретический анализ базового понятия, которым является понятие «капитал». В теории известны различные трактовки понятия капитала. С позиции лесоустройства капитал — не просто стоимость, а самовозрастающая стоимость с учетом природно-климатических, экологических, инновационных и инвестиционных параметров. Инвестиции выступают как направление активов в сферу произрастания лесных ресурсов или оказания услуг в целях извлечения прибыли в лесном секторе экономики. По мнению автора, целесообразно исследовать такие понятия, как конкурентоспособность использования лесных ресурсов, конкурентоспособность воспроизводства лесных ресурсов, межотраслевая конкурентоспособность лесного комплекса. В результате исследования

устанавливается оптимальная модель группировки не просто факторов, а компонент конкурентоспособности и выявления значимости каждого фактора в компонентах (приоритетных направлениях развития лесоустройства) с позиции рационального использования природных ресурсов.

Наличие и состояние лесного капитала изучается на основе фактора времени — дисконтирования с учетом таких факторов, как спелость леса, оборот рубки. Далее на основе стратегического уровня обеспечения конкурентоспособности лесного капитала определяется степень реализации стратегии обеспечения конкурентоспособности лесного капитала по двум направлениям:

- 1) традиционным технологиям;
- 2) на основе нововведений.

Достижение конкурентных преимуществ возможно на основе устойчивого развития как фактора обеспечения экономической стабильности. Структура процесса лесопользования включает в себя прогрессивные элементы на основе сбалансированности между приростом и истощением природных ресурсов. Несмотря на обилие показателей, для оценки конкурентоспособности лесного капитала предлагается показатель «Оценка прироста ценности лесничества». Расчет данного показателя, по мнению автора, необходимо определять как соотношение финансового потока в виде суммы чистой прибыли и амортизации к стоимости активов. По исследуемым лесничествам получены следующие результаты (таблица).

#### Показатель «Прирост ценности лесничества» «Increase in the value of forestry» indicator

Лесничества Свердловской обл.	2017	2018	2019
Ново-Лялинское	0,13	0,16	0,22
Режевское	0,09	1,146	0,21
Туринское	0,07	0,03	0,15

По мнению автора, в период трансформации экономики показатель «прирост ценности лесничества» приобретает особую значимость, так как ценность и рост данного показателя имеют решающее значение для реализации экономических отношений между субъектами экономики. Кроме того, под приростом ценности лесничества целесообразно подразумевать оценку источника прироста за счет собственных средств. С позиции формирования стратегии развития отрасли предлагаемый показатель может быть использован для оценки инвестиционной привлекательности.

Основные этапы процесса обеспечения конкурентоспособности лесного капитала в подсистеме лесоустроительных работ включают в себя маркетинговые исследования рынка, анализ

факторов конкурентоспособности, анализ затрат по основным стадиям и оценку эффективности управления ими.

Современная ситуация, подтверждающая высокую степень антропогенной нагрузки и истощения лесов, может быть решена на основе учета инновационной составляющей [21–26]. В контексте данного положения исследованию подлежат экологические аспекты лесоустройства, которые выражаются в проектировании мероприятий по охране, защите и воспроизводству лесов.

## Список литературы

- [1] Юдейх Ф. Лесоустройство / Пер. с нем. Д.Я. Запольского. Санкт-Петербург: Тип. Ретгера и Шнейдера, 1887. 428 с.
- [2] Орлов М.М. Лесоуправление как исполнение лесоустроительного планирования. Л.: Лесное хозяйство и лесная пром-сть, 1930. 283 с.
- [3] Анучин Н.П. Таксация и устройство разновозрастных лесов. М.: Лесная пром-сть, 1960. 64 с.
- [4] Моисеев Н.А. Лесоустройство: прошлое, настоящее и будущее // Известия вузов Лесной журнал, 2017. № 3 (357). С. 9–21.
- [5] Моисеев Н.А., Третьяков А.Г., Трейфельд Р.Ф. Лесоустройство в России. М.: МГУЛ, 2014. 268 с.
- [6] Моисеев Н.А. Экономика лесного хозяйства. М.: МГУЛ, 2006. 384 с.
- [7] Петров А.П. Каким быть лесоустройству // Российские лесные вести. URL: <https://lesvesti.ru> (дата обращения 06.02.2020).
- [8] Приказ Министерства природных ресурсов и экологии РФ от 29 марта 2018 г. № 122 «Об утверждении Лесоустроительной инструкции». URL: <http://docs.cntd.ru/document/542621790> (дата обращения 06.02.2020).
- [9] Тенденции развития цифровых технологий. URL: <http://mniar.rf/analytics/Trendy-cifrovyyh-tehnologij-v-APK/> (дата обращения 05.11.2019).
- [10] Прогноз долгосрочного социально-экономического развития Российской Федерации на период до 2030 г. Раздел ЛПК. URL: <http://www.consultant.ru/cons/cgi/online.cgi?req=doc&base=LAW&n=144190&fld=134&dst=1000000001,0&rnd=0.7769556776329284#03712498480968339> (дата обращения 06.02.2020).
- [11] Гириев М.Д. Лесоустройство: проблемы и решения // Вестник МГУЛ – Лесной вестник, 2013. № 4. С. 60–68.
- [12] Кожухов Н.И., Афанасьев П.Г. Оптимизация управления запасами лесопродукции. М.: МГУЛ, 2008. 135 с.
- [13] Петров А.П., Прядилина Н.К. Лесное планирование: концептуальный подход к формированию лесного дохода на базе рыночных цен на древесину // Российский экономический журнал, 2018. № 3. С. 35–45.
- [14] Чернякевич Л.М. Организационно-экономические аспекты реформирования системы государственного управления лесами. URL: <https://www.cyberleninka.ru/article/n/organizatsionno-ekonomicheskie-aspekty-reformirovaniyasistemy-gosudarstvennogo-upravleniya-lesami> (дата обращения 06.02.2020).
- [15] Неволин О.А., Третьяков С.В., Ердяков С.В., Торхов С.В. Лесоустройство. Архангельск: Правда Севера, 2003. 583 с.
- [16] Суслов А.В. Лесоустройство. Екатеринбург: УГЛТУ, 2016. 123 с. URL: <http://elar.usfeu.ru/bitstream/123456789/6269/1/Suslov.pdf> (дата обращения 05.04.2020).
- [17] Быковский В.К. Лесоустройство как основная функция государства по обеспечению охраны лесов // Актуальные проблемы российского права, 2015. № 7 (56). С. 117–120.
- [18] Лесной кодекс Российской Федерации: Федер. закон. URL: <http://docs.cntd.ru/document/902017047> (дата обращения 05.03.2020).
- [19] Рудский А.Ф. Руководство к устройству русских лесов. СПб.: Издательство А.Ф. Девриен, 1893. 460 с.
- [20] Пуряева А.Ю. История специальных органов управления лесами от Российской империи до Российской Федерации. URL: <https://www.wiselawyer.ru/poleznoe/69028-istoriya-specialnykh-organov-upravleniya-lesami-rossijskoj-imperii> (дата обращения 10.03.2020).
- [21] Бутко Г.П., Перепелкина Л.А., Шурмина О.А. Повышение конкурентоспособности как фактор обеспечения экономической безопасности. Екатеринбург: УГЛТУ, 2019. 142 с.
- [22] Бутко Г.П. Инновационная деятельность корпорации. Екатеринбург: УрФЮИ, 2013. 182 с.
- [23] Бутко Г.П., Поротников П.А., Велиева О.В. Управление природоохранной деятельностью на основе кластера инновационного типа // Известия УрГЭУ, 2010. № 2 (28). С. 162–168.
- [24] Лесная энциклопедия. Т. 1. Абелия. Лимон. В 2 т. / Под ред. Г.И. Воробьева. М.: Советская энциклопедия, 1985. 563 с.
- [25] Сухих В.И., Черных В.Л. Лесоустройство. Йошкар-Ола: ПГТУ, 2015. 400 с.
- [26] Энциклопедия лесного хозяйства. Т. 1. М.: ВНИИЛМ, 2006. 424 с.

## Сведения об авторе

**Бутко Галина Павловна** — д-р экон. наук, профессор кафедры экономики и муниципального управления ФГБОУ ВО «Уральский государственный лесотехнический университет», профессор кафедры информационных технологий и статистики ФГБОУ ВО «Уральский государственный экономический университет», [grbutko@mail.ru](mailto:grbutko@mail.ru)

Поступила в редакцию 26.05.2020.

Принята к публикации 15.06.2020.

## ECONOMIC PROBLEMS OF FOREST MANAGEMENT AT CURRENT DEVELOPMENT STAGE

G.P. Butko<sup>1,2</sup>

<sup>1</sup>Ural State Forestry University, 37, Sibirsky trakt st., 620100, Yekaterinburg, Russia

<sup>2</sup>Ural State Economic University, 62/45, 8 March/Narodnaya Volya st., 620044, Yekaterinburg, Russia

gpbutko@mail.ru

Research of problems of forest management, formation and development of forest management. Clarification of features in the system «management and planning in the field of use, protection and other functions of forests», according to the current Forest code of the Russian Federation and the concept «forest legislation of the Russian Federation based on the principles of sustainable forest management, conservation of their biological diversity and other useful functions of forests». From the point of view of the practice and system of strategic forest management, specific issues regarding forest management objects are highlighted. Analytical method for obtaining information about natural-historical and economic conditions of the area where the forest management object is located. Analysis of economic activities and study of past experience of forest management in the field of use, protection, protection and reproduction of forests. On the basis of the Forest code, allocated successive stages of forest management such as the design of forest areas and forest parks, the design of operational, protective and reserve forests, as well as the design of measures for the protection and reproduction of forests. Based on the theoretical review and analysis presented in the relationship of the system «results-costs», the main directions of development of forest management are determined. Scientific novelty. The scientific novelty consists in defining the concept of competitiveness of forest capital. Achieving competitive advantages is possible on the basis of sustainable development as a factor of ensuring economic stability. The structure of the forest management process includes progressive elements based on a balance between the growth and depletion of natural resources.

**Keywords:** protection, use, forest management, protection and reproduction of forests, environmental and economic problems, forest management, effective methods of logging, reforestation, sustainable development

**Suggested citation:** Butko G.P. *Ekonomicheskie problemy lesoustroystva na sovremennom etape razvitiya* [Economic problems of forest management at current development stage]. *Lesnoy vestnik / Forestry Bulletin*, 2020, vol. 24, no. 5, pp. 66–73. DOI: 10.18698/2542-1468-2020-5-66-73

### References

- [1] Yudeykh F. *Lesoustroystvo* [Forest management]. Translation D.Ya. Zapolsky. St. Petersburg: Tip. Retgera i Shneydera [Type. Retger and Schneider], 1887, 428 p.
- [2] Orlov M.M. *Lesoupravlenie kak ispolnenie lesoustroitel'nogo planirovaniya* [Forest management as the implementation of forest management planning]. Leningrad: Lesnoe khozyaystvo i lesnaya promyshlennost' [Forestry and forest industry], 1930, 283 p.
- [3] Anuchin N.P. *Taksatsiya i ustroystvo raznovozrastnykh lesov* [Taxation and arrangement of forests of different ages]. Moscow: Lesnaya promyshlennost' [Forest industry], 1960, 64 p.
- [4] Moiseev N.A. *Lesoustroystvo: proshloe, nastoyashchee i budushchee* [Forest management: past, present and future]. *Lesnoy Zhurnal* (Russian Forestry Journal), 2017, no. 3 (357), pp. 9–21.
- [5] Moiseev N.A., Tret'yakov A.G., Treyfel'd R.F. *Lesoustroystvo v Rossii* [Forest inventory in Russia]. Moscow: MSFU, 2014, 268 p.
- [6] Moiseev N.A. *Ekonomika lesnogo khozyaystva* [Economics of forestry]. Moscow: MSFU, 2006, 384 p.
- [7] Petrov A.P. *Kakim byt' lesoustroystvu* [How to be forest inventory]. *Rossiyskie lesnye vesti* [Russian Forest News]. Available at: <https://lesvesti.ru> (accessed 06.02.2020).
- [8] *Prikaz Ministerstva prirodnnykh resursov i ekologii RF ot 29 marta 2018 g. № 122 «Ob utverzhdenii Lesoustroitel'noy instruktsii»* [Order of the Ministry of Natural Resources and Ecology of the Russian Federation of March 29, 2018 No. 122 «On the Approval of the Forest Management Instructions»]. Available at: <http://docs.cntd.ru/document/542621790> (accessed 06.02.2020).
- [9] *Tendentsii razvitiya tsifrovyykh tekhnologiy* [Trends in digital technology]. Available at: <http://mniap.rf/analytics/Trendy-tsifrovyyh-tehnologiy-v-APK/> (accessed 05.11.2019).
- [10] *Prognoz dolgosrochnnogo sotsial'no-ekonomicheskogo razvitiya Rossiyskoy Federatsii na period do 2030 g. Razdel LPK* [Forecast of the long-term socio-economic development of the Russian Federation for the period until 2030. Section of the timber industry complex]. Available at: <http://www.consultant.ru/cons/cgi/online.cgi?Req=doc&base=LAW&n=144190&fld=134&dst=100000001.0&rnd=0.7769556776329284#03712498480968339> (accessed 02.02.2020).
- [11] Giryaev M.D. *Lesoustroystvo: problemy i resheniya* [Forest inventory: problems and solutions]. Moscow state forest university bulletin – *Lesnoy vestnik*, 2013, no. 4, pp. 60–68.
- [12] Kozhukhov N.I., Afanas'ev P.G. *Optimizatsiya upravleniya zapasami lesoproductsii* [Optimization of forest inventory management]. Moscow: MSFU, 2008, 135 p.
- [13] Petrov A.P., Pryadilina N.K. *Lesnoe planirovanie: kontseptual'nyy podkhod k formirovaniyu lesnogo dokhoda na baze rynochnykh tsen na drevesinu* [Forest planning: a conceptual approach to the formation of forest income based on market prices for wood]. *Rossiyskiy ekonomicheskii zhurnal* [Russian Economic Journal], 2018, no. 3, pp. 35–45.
- [14] Chernyakevich L.M. *Organizatsionno-ekonomicheskie aspekty reformirovaniya sistemy gosudarstvennogo upravleniya lesami* [Organizational and economic aspects of reforming the state forest management system]. Available at: <https://www.cyberleninka.ru/article/n/organizatsionno-ekonomicheskie-aspekty-reformirovaniyasistemy-gosudarstvennogo-upravleniya-lesami> (accessed 06.02.2020).

- [15] Nevolin O.A., Tret'yakov S.V., Erdyakov S.V., Torkhov S.V. *Lesoustroystvo* [Forest inventory]. Arkhangelsk: Pravda Severa, 2003, 583 p.
- [16] Suslov A.V. *Lesoustroystvo* [Forest inventory]. Yekaterinburg: USLTU, 2016, 123 p. Available at: <http://elar.usfeu.ru/bitstream/123456789/6269/1/Suslov.pdf> (accessed 04.04.2020).
- [17] Bykovskiy V.K. *Lesoustroystvo kak osnovnaya funktsiya gosudarstva po obespecheniyu okhrany lesov* [Forest management as the main function of the state to ensure the protection of forests]. Aktual'nye problemy rossiyskogo prava [Actual problems of Russian law], 2015, no. 7 (56), pp. 117–120.
- [18] *Lesnoy kodeks Rossiyskoy Federatsii: Feder. zakon* [Forest Code of the Russian Federation: Federal law]. Available at: <http://docs.cntd.ru/document/902017047> (accessed 03.03.2020).
- [19] Rudskiy A.F. *Rukovodstvo k ustroystvu russkikh lesov* [Guide to the device of Russian forests]. St. Petersburg: Izdatel'stvo A.F. Devrien [Publisher A.F. Devrien], 1893, 460 p.
- [20] Puryaeva A.Yu. *Istoriya spetsial'nykh organov upravleniya lesami ot Rossiyskoy imperii do Rossiyskoy Federatsii* [History of special forest management bodies from the Russian Empire to the Russian Federation]. Available at: <https://www.wiselawyer.ru/poleznoe/69028-istoriya-specialnykh-organov-upravleniya-lesami-rossijskoj-imperii> (accessed 10.03.2020).
- [21] Butko G.P., Perepelkina L.A., Shurmina O.A. *Povyshenie konkurentosposobnosti kak faktor obespecheniya ekonomicheskoy bezopasnosti* [Improving competitiveness as a factor in ensuring economic security]. Yekaterinburg: USLTU, 2019, 142 p.
- [22] Butko G.P. *Innovatsionnaya deyatel'nost' korporatsii* [Innovation activities of the corporation]. Yekaterinburg: UrFUI, 2013, 182 p.
- [23] Butko G.P., Porotnikov P.A., Velieva O.V. *Upravlenie prirodookhrannoy deyatel'nost'yu na osnove klastera innovatsionnogo tipa* [Management of environmental activities on the basis of an innovation-type cluster]. [Izvestia Ural State Economic University], 2010, no. 2 (28), pp. 162–168.
- [24] *Lesnaya entsiklopediya. T. 1. Abeliya. Limon* [Forest Encyclopedia. T. 1. Abelia. Lemon]. In 2 t. Ed. G.I. Vorobyov. Moscow: [Soviet Encyclopedia], 1985, 563 p.
- [25] Sukhikh V.I., Chernykh V.L. *Lesoustroystvo* [Forest inventory]. Yoshkar-Ola: PSTU, 2015, 400 p.
- [26] *Entsiklopediya lesnogo khozyaystva* [Encyclopedia of Forestry. T. 1]. Moscow: VNILM, 2006, 442 p.

## Author's information

**Butko Galina Pavlovna** — Dr. Sci. (Economic), Professor of the Department of Economics and municipal management of the Ural State Forestry University, Professor of the Department of Information technology and statistics of the Ural State Economic University, [gbutko@mail.ru](mailto:gbutko@mail.ru)

Received 26.05.2019.

Accepted for publication 15.06.2020.

УДК 630\*812

DOI: 10.18698/2542-1468-2020-5-74-88

**СОСТОЯНИЕ И ПЕРСПЕКТИВЫ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ДРЕВЕСНОЙ КОРЫ****З. Пастори<sup>1</sup>, Г.А. Горбачева<sup>2</sup>, В.Г. Санаев<sup>2</sup>, И.Р. Мохачине<sup>1</sup>, З. Борчок<sup>1</sup>**<sup>1</sup>Инновационный центр, Шопронский университет, 9400, Венгрия, г. Шопрон, ул. Байчи Жилински, д. 4<sup>2</sup>МГТУ им. Н.Э. Баумана (Мытищинский филиал), 141005, Московская обл., г. Мытищи, ул. 1-я Институтская, д. 1

gorbacheva@bmsu.ru

Человечество веками использует в различных сферах своей жизни кору древесных растений. Ежегодно на лесозаготовительном производстве и в деревоперерабатывающей промышленности производится от 300 до 400 тыс. м<sup>3</sup> коры, которая утилизируется многочисленными способами, большая часть коры по-прежнему сжигается. Приведен литературный обзор работ, посвященных исследованиям строения, свойств, традиционных и современных способов применения древесной коры. После краткого анатомического обзора обсуждаются защитная роль коры для растущего дерева, применение коры как индикатора загрязнения окружающей среды. Проанализированы физические свойства, химический состав коры, методы окорки. Охарактеризован сложный химический состав — большое разнообразие вторичных метаболитов, а также физические и механические свойства коры, которые позволяют ее использовать в медицине, энергетике, сельском хозяйстве и других отраслях экономики. Показана растущая популярность химической обработки коры и получения из нее различных соединений, производства на основе коры стружечных, волокнистых и теплоизоляционных плит, композиционных материалов, очистки воды и газов с помощью древесины, что указывает на перспективность ее применения как уникального природного материала и возобновляемого ресурса.

**Ключевые слова:** древесная кора, строение и свойства древесной коры, способы применения коры

**Ссылка для цитирования:** Пастори З., Горбачева Г.А., Санаев В.Г., Мохачине И.Р., Борчок З. Состояние и перспективы использования древесной коры // Лесной вестник / Forestry Bulletin, 2020. Т. 24. № 5. С. 74–88. DOI: 10.18698/2542-1468-2020-5-74-88

По данным Продовольственной и сельскохозяйственной организации ООН (ФАО), общий объем заготовленных круглых лесоматериалов в мире оценивается в 3 591 142 000 м<sup>3</sup> [1]. Исходя из соотношения 1/10, объем древесной коры, подлежащей утилизации, составляет примерно 359 114 200 м<sup>3</sup>. Только на лесопильных заводах Калифорнии запасы коры оцениваются в 2,2–2,6 млн т [2]. В обзоре, выполненном С. Фенг и соавт. [3], в Канаде ежегодно производится более 17 млн м<sup>3</sup> коры, более половины которой сжигается или вывозится на свалки. Производство древесной коры в Венгрии ежегодно достигает 5...6 тыс. м<sup>3</sup> [4], в России — около 30 млн м<sup>3</sup> [5, 6].

Кора выполняет различные функции в продолжении жизни растения. С возрастом происходит изменение ее свойств. По внешнему виду и характеру поверхности кора отличается очень большим разнообразием, в зависимости от вида, возраста и экологических факторов, заметны различия даже в пределах одного дерева. Относительный объем коры изменяется в пределах 5...28 % [4, 7–10].

**Цель работы**

Цель работы — рассмотреть строение, физические свойства коры, ее химический состав, анализ методов окорки для ее использования в медицине, энергетике, сельском хозяйстве и других отраслях экономики.

**Строение и защитные функции коры**

Характерными признаками древесных растений являются мощное вторичное утолщение и развитие перидермы. Перидерма представляет собой комплекс тканей, состоящих из феллогена и его производных — феллодермы (откладывается внутрь) и феллемы, или пробки (вторичной покровной ткани, откладываемой наружу) [8, 11–14]. У взрослого дерева кора имеет две четко выделяющиеся зоны: луб (флоэму) и корку (ритидом). Луб, так же, как и образованная камбием древесина, содержит анатомические элементы, выполняющие проводящую, механическую и запасающую функции. Проводящую функцию в лубе выполняют ситовидные анатомические элементы (клетки и трубки), механическую — лубяные волокна и каменистые клетки; запасающую — паренхимные клетки, которые, как и в древесине, образуют две системы — горизонтальную (лубяные лучи) и вертикальную (лубяную паренхиму). Корка состоит из прослоек перидермы и участков заключенного между ними отмершего луба. Основная масса перидермы — это пробковые клетки, располагающиеся радиальными рядами, которые вскоре после образования отмирают. Это связано с отложением в их стенках суберина. Прослойки суберина чередуются с прослойками воска, который и обеспечивает, главным образом, непроницаемость клеточных стенок (они не имеют пор) для

воды и газов. Тонкостенные пробковые клетки, заполненные воздухом, обладают хорошими теплоизоляционными свойствами. Защитные функции корки в растущем дереве обусловлены в основном присутствием в ней пробковых клеток. У большинства пород начиная с определенного возраста пробковый камбий закладывается в глубине коры и образует слои перидермы. В изолированные перидермой участки луба не могут поступать растворы питательных веществ, и они отмирают. Постепенно образуется корка с комплексом отмерших тканей. Одновременно с ежегодным приращением корки изнутри происходит отпад ее наружных слоев обычно в виде чешуек [8].

Кора деревьев представляет собой среду обитания для многочисленных живых организмов: членистоногих, позвоночных, лишайников, мхов и др. Кора защищает дерево не только от погодных условий, проникновения спор грибов, бактерий, механических повреждений, насекомых-вредителей, но и имеет решающее значение при лесных пожарах. Относительная толщина коры существенно влияет на выживание деревьев в огне [15–21].

### Кора как индикатор загрязнения окружающей среды

Кору используют в качестве биоиндикаторов загрязнения окружающей среды, поскольку вследствие анатомического строения и значительной пористости кора имеет значительную поверхность контакта с воздухом и дольше сохраняет загрязнения, чем поверхность листьев, откуда загрязнения легко смываются дождем [22–25]. К. Гродзинска использовала изменение показателя кислотности коры деревьев для оценки загрязнения окружающего воздуха [26–29]. Многие работы посвящены исследованию взаимосвязи загрязнения воздуха и кислотности коры [30–36]. Некоторые роды и виды деревьев, такие, как дуб (*Quercus* L.), ильм (*Ulmus* L.), ива (*Salix* L.), тополь (*Populus* L.), ясень (*Fraxinus* L.), клен (*Acer* L.), липа (*Tilia* L.), сосна (*Pinus* L.), тис ягодный (*Taxus baccata* L.), робиния ложноакациевая (*Robinia pseudoacacia* L.), оливковое дерево (*Olea europea* L.), кедр атлантический (*Cedrus atlantica* (Endl.) Manetti ex Carrière), кипарис вечнозеленый (*Cupressus sempervirens* L.), эвкалипт (*Eucalyptus* L'Hér.) и другие, были использованы для обнаружения загрязнений металлами и другими химическими веществами [25, 34, 36–47]. Кора сохраняет загрязняющие вещества предыдущих лет, поэтому наросты коры, образованные в результате повреждения, послужили основой для изготовления образцов и проведения исследований изменения загрязнения свинцом различной степени интенсивности и изучения источников загрязнения для разных периодов времени [48–53].

### Физические свойства древесной коры

Влажность коры может изменяться в широком диапазоне. Многие факторы, такие как, порода древесины, способ хранения, время года, способ окорки, осадки оказывают влияние на содержание влаги [54]. Влажность луба (флоэмы) обычно в 7–10 раз больше, чем корки (ритидома), поэтому влажность коры зависит, в первую очередь, от количественного соотношения внутреннего и внешнего слоев коры. После распиловки влажность коры может достигать 150 %, в частности, влажность коры сосны обыкновенной составляет в среднем 120 %, ели — 112, бука — 127, березы — 58 % [8, 54–56]. Корка большинства пород при хранении относительно быстро теряет влагу. До процесса окорки на лесопильных предприятиях среднее значение влажности в чешуйчатой коре ели и сосны обыкновенной снижается до 60...70 % [8].

Теплота сгорания коры несколько выше, чем у древесины соответствующей породы (18...23 МДж/кг) [8, 54, 57], максимальные значения отмечены для наружной части коры березы (бересты) — 35 МДж/кг [8, 58].

Плотность древесной коры зависит от возраста, географического положения и других факторов [8, 59]. П.Д. Майлз и В.Б. Смит [60] собрали данные по плотности коры 156 североамериканских древесных пород. Для большинства видов измеренные значения составляли 400...500 кг/м<sup>3</sup>, для некоторых видов дуба плотность коры достигала 750 кг/м<sup>3</sup>, для некоторых видов сосны была несколько ниже — 300 кг/м<sup>3</sup>. Ранее О.И. Полубаяринов [59] получил аналогичные результаты для отечественных древесных пород.

### Химический состав коры

Элементный химический состав коры мало отличается от древесины — в коре несколько больше углерода и существенно выше содержание азота, больше количество минеральных веществ, особенно в лубе (таблица).

Содержание минеральных веществ в коре существенно отличается в зависимости от породы древесины и изменяется в диапазоне 1,5...10 % [54, 61–66], как правило, меньшая зольность характерна для голосеменных [67]. В золе содержатся Al, Mn, Mo, Ca, P, Mg, Zn, Cu, Fe, B, N, K, Ni, Cr, Pb, Si, Na, обычно преобладают Ca, N, K [68–74]. Д.Е. Милкин [62] определил элементный химический состав коры для многих видов и обнаружил, что для голосеменных содержание С составляет более 50 %, в то время как для покрытосеменных изменяется в несколько больших пределах и изредка превышает 50 %. И. Барбутис и С. Ликидис [75] отмечают большее содержание золы в голосеменных.

### Элементный химический состав древесины и коры ели, в процентах [8]

Chemical composition of wood and spruce bark, in percent [8]

Ель	С	Н	О	Другие элементы
Древесина	50,0	6,0	43,5	0,5
Луб	51,5	5,7	38,8	4,0
Корка	44,4	6,4	45,4	3,8

Соотношение между основными органическими веществами в лубе и коре иное, чем в древесине — они содержат значительно меньше целлюлозы. В то время как древесина содержит 40...50 % целлюлозы, в лубе ее 18...25 %, в корке — только 3...17 % [8, 56, 76–78]. Другим основным компонентом является лигнин, который также присутствует в коре [3, 67, 73, 79, 80]. Характерно наличие суберина, который вызывает опробковение клеточных стенок корки [73, 80–83].

Важными компонентами коры являются экстрактивные вещества и вторичные продукты метаболизма, содержание которых достигает 20 %, и особенно дубильных веществ. Ранее кора дуба, ели, ивы и каштана использовалась для получения дубильной кислоты, которая применяется для дубления кож [84]. Терпеноиды, эфиры терпеноидов, тритерпеновые спирты, эфирные масла, стероиды, таннины, терпены, сесквитерпены, флавоноиды, сложные эфиры жирных кислот, липиды, фенолы, углеводы, сапонины, гидроксикумарины, стильбеноиды, нецеллюлозные моносахариды (арабиноза, ксилоза, манноза) и многие другие вещества были обнаружены в составе коры различных древесных пород [3, 67, 73, 79, 85–95].

### Методы окорки

Способ окорки зависит от вида коры, ее относительного объема, влажности, химического состава. На выбранную применяемую технологию влияет содержание луба и влажность коры, которая зависит от времени лесозаготовки и условий хранения. Механизованная окорка подразделяется на механическую (ударный, фрикционный, режущий, струйный способы) с использованием физико-химических способов (ультразвуковая, термическая, химическая окорка, окорка СВЧ-волнами и электромагнитным полем), а также комбинированную, включающую применение механического способа окорки в сочетании с воздействием физико-химических способов [96–100]. Процесс окорки зависит от нескольких факторов: породы древесины, размеров бревна, наличия лубяных волокон и каменистых клеток, условий хранения, влажности древесины [99, 101, 102].

### Использование древесной коры

Применение коры в различных сферах жизни человека имеет многовековые традиции.

**Медицина.** Первые лекарства были изготовлены из растений. Алкалоиды, эфирные масла, углеводы, витамины, антибиотики входят в состав коры многих древесных пород. Кора некоторых видов, таких как *Chondrodendron tomentosum* Ruiz & Pavón, *Cinchona pubescens* Vahl, *Frangula alnus* Mill., *Quercus robur* L., *Quercus petraea* (Matt.) Liebl., *Cinnamomum cassia* (L.) J.Presl, *Salix alba* L., *Salix fragilis* L., *Aesculus hippocastanum* L., *Warburgia salutaris* (Bertol.f.) Chiov., *Robinia pseudoacacia* L., *Magnolia* L., *Byrsonima intermedia* A. Juss., *Cariniana rubra* Gardner ex Miers, *Garcinia buchananii* Baker, *Acacia mangium* Willd., *Acacia pennata* (L.) Willd., *Tilia cordata* Mill., *Careya arborea* Roxb., *Sclerocarya birrea* (A. Rich.) Hochst., *Alnus incana* (L.) Moench, *Betula pendula* Roth, *Castanea sativa* Mill., *Picea abies* (L.) H. Karst., *Acanthopanax sessiliflorus* (Rupr. & Maxim.) Maxim., *Quercus ilex* L., *Picea mariana* (Mill.) Britton, Sterns & Poggenburg, *Cinnamomum verum* J. Presl широко использовалась в медицине [103–125].

**Энергетика.** На энергетическую утилизацию коры влияет, в основном, повышенная зольность коры, нежели у древесины. Массовая теплота сгорания коры также несколько больше, чем у древесины — 16,2...23 МДж/кг [8, 54, 56, 76, 126, 127]. Отходы коры, образующиеся в больших количествах, как правило, имеют высокую влажность, что значительно снижает эффективность их применения при сжигании [4]. Кору используют в брикете, смешивая с соломой и опилками. Из коры изготавливают пеллеты. Установлено, что они обладают отличной прочностью, имеют высокие физико-механические свойства и устойчивы к изменению влажности окружающего воздуха, однако есть и существенный недостаток — высокая зольность. В.И. Мелехов и соавт. [6] исследовали энергетический потенциал древесной коры в рамках программы по ресурсосбережению, и предложили в целях изменения физико-механических свойств термомодификацию березовой коры, значительно упрощающую дальнейшую технологию превращения ее в гранулированное топливо.

**Сельское хозяйство.** Самый простой способ сельскохозяйственного использования коры — мульчирование. Преимущества мульчирования заключаются в уменьшении испарения с поверхности почвы, содействии активности корневой системы, сохранении и обогащении видового состава наземной энтомофауны. При смешивании с тяжелыми почвами кора необходима для аэрирования, поскольку предотвращает уплотне-

ние, увеличивает водопоглощение и уменьшает эрозию почвы. Однако, не все виды коры пригодны для мульчирования вследствие высокого содержания химических веществ [76, 131–134]. Кора в естественных условиях медленно гниет в основном по причине низкого содержания в ней азота. Компостирование может ускорить процесс гниения, в частности на открытом воздухе потребуется всего лишь 4 мес., при размерах щепы менее 10 мм [135]. При правильной подготовке кора имеет такое же значение, как и торф, — ее можно использовать как экологически чистый продукт растительного происхождения [136–138].

Кора как лиственных, так и хвойных пород применяется в животноводстве в качестве подстилки для птицы. Подстилка из коры с размером частиц менее 4...5 мм не оказывает вредного влияния на питание и прирост массы поголовья птицы [139].

Кора по сравнению с древесиной менее пригодна для непосредственного кормления животных, в частности добавка в корм для овец частиц коры осины не показало приемлемых результатов [140].

**Производство плит.** Были предприняты попытки производства стружечных и волокнистых плит на основе коры (в качестве альтернативного сырья), не лишенные трудностей, связанных с загрязнениями коры песком, содержащим диоксид кремния и почвой) [141]. К тому же по мере увеличения доли коры в плитах механические свойства снижались. Увеличение содержания коры при различном содержании смолы привело к падению предела прочности плит при статическом изгибе и снижению модуля упругости, а значит, формостабильности плит [142].

Т.И. Чен и соавт. [143] изготовили стружечные плиты из смеси частиц древесины и коры ели обыкновенной (*Picea abies* (L.) Н. Karst.), наилучшие результаты были получены для соотношения 1:1. Р. Гертэянсен и Дж.Г. Хайгреен [144] пришли к выводу, что весь ствол осины можно использовать для производства древесностружечных плит. Б.Г. Хеебинк [145] показал, что при производстве древесностружечных плит из отходов лесозаготовок из древесины сосны (*Pinus contorta* Douglas), добавка 7 % коры не вызывает дополнительных трудностей при производстве. В.Ф. Лехманн и Р.Л. Геимер [146] изготовили подобные плиты и показали, что допустимая прочность и формоустойчивость соответствуют содержанию коры меньше 12 %.

А.Б. Андерсон и соавт. [147–149] выполнили серию исследований свойств стружечных плит, изготовленных с использованием коры. Стружечные плиты из коры обладали довольно низкой прочностью на статический изгиб и характеризовались значительной усадкой, вместе с тем

плиты, в которых кора применялась для среднего слоя, показали удовлетворительные результаты. А. Старецки [150] производил однослойные и трехслойные плиты, прочность на изгиб в них уменьшалась при увеличении содержания коры. Плиты, содержащие 65 % коры в среднем слое, соответствовали стандартам того времени. З. Мушински и Дж.Д. МакНатт [151] показали, что плиты с содержанием 30 % коры *Picea abies* (L.) Н. Karst. и *Pinus sylvestris* L. пригодны для производства мебели. П. Чу и соавт. [152] при исследовании древесины и коры *Parthenium argentatum* А. Грау показали, что кору можно использовать при замене древесных волокон.

П. Бланше и группа исследователей [153] установили, что при определенных условиях в древесностружечных плитах технологически возможно содержание коры. Наилучшие механические свойства этих плит получают при содержании 50 % древесины и 14 % смолы.

Е. Кехр [154], проанализировав техническую литературу и результаты проведенных им экспериментов, утверждал, что древесный материал с содержанием коры более 10 % в среднем слое можно использовать только при увеличении плотности плиты. Исследование также показало, что производство древесностружечных плит можно удешевит на 70 %, добавив кору белой березы, причем механические свойства не снизятся [155]. Г. Немли и соавт. [156] обнаружили, что кора белой акации и мимозы в древесностружечных плитах значительно уменьшает эмиссию формальдегида, а прочность внутри плит увеличивает.

Д. Миядзак и группа ученых [157], исследуя прочность склеивания для различных связующих, обнаружили, что древесная мука из коры акации увеличивает прочность фенолформальдегидных смол. Экстракт коры акации *Acacia mangium* Willd. богат фенольными соединениями и потенциально может заменить фенолформальдегидные смолы при производстве фанеры [158, 159]. Г.К. Гупта [160] изготовил плиты из поврежденной типографом коры *Pinus contorta* Douglas без добавления связующего. Р. Педье и соавт. [161, 162] на примере корки березы *Betula papyrifera* Marshall показали, что стружечные плиты можно изготавливать при содержании коры не более 45 %, чтобы получить регламентированные показатели физических и механических свойств. Древесноволокнистые плиты средней плотности (МДФ), содержащие кору четырех древесных пород — гибрида тополя, сосны Банка, лиственницы и ели, показали более высокую плотность по сравнению с контрольными образцами [163].

А. Винклер [164] изготовил из коры ели плиты толщиной 4...5 мм, плотностью 900 кг/м<sup>3</sup> и прочностью на изгиб более 2000 Н/см<sup>2</sup>.

Началось применение коры в производстве теплоизоляционных плит. Кора обычно характеризуется низким содержанием волокон, нежели чем древесина, поэтому и ее прочность ниже. Содержание смолы и воска в коре некоторых деревьев относительно высокое, что является преимуществом, поскольку нет необходимости в связующем — достаточно прессования при высоких температурах. Плиты можно изготавливать из смеси частиц коры (25 %) и древесины [76]. Г. Кайн и группа исследователей [165] изготовили теплоизоляционные плиты из коры *Pinus sylvestris* L., при этом обнаружив, что для теплоизоляции возможно изготовление сравнительно легких древесностружечных плит. Кора обладает меньшей теплопроводностью, чем другие материалы, используемые для выдувной теплоизоляции, в частности, частицы еловой коры пригодны для выдувной теплоизоляции деревянных стен [166].

Г. Кайн и соавт. [167] изготовили теплоизоляционные плиты из смеси коры *Pinus sylvestris* L., *Picea abies* (L.) Н. Karst. и *Abies alba* Mill. Оказалось, что изготовленные плиты обладают довольно высокими тепло- и звукоизоляционными свойствами, имеют соответствующие прочностные показатели и довольно низкие значения эмиссии формальдегида. Согласно проведенным экспериментам [168], кора лиственницы *Larix decidua* Mill. подходит для изготовления теплоизоляционных плит с относительно низкими коэффициентами теплопроводности (0,065 до 0,09 Вт/м·К). Кроме того, для их производства можно использовать танниновые смолы, которые не содержат ни формальдегида, ни искусственные смолы, что более экологично.

В Японии древесина *Cryptomeria japonica* (Thunb. ex L.f.) D. Don широко применяется в строительной отрасли, однако ее кора, богатая волокнами и долговечная, не находит должного применения. Ю. Сато и группа ученых [169] изготовили плиты из крупной и мелкой фракций коры криптомерии с добавлением пенополистирола и провели эксперименты по исследованию их теплоизоляционных свойств. При испытаниях не было выявлено значительных различий крупной и мелкой фракций коры, а коэффициенты теплопроводности составляли 0,073 и 0,076 Вт/м·К соответственно, что выше по сравнению с плитой из пенополистирола 0,045 Вт/м·К [169].

Волокна коры черной сосны и осины обыкновенной использовались для изготовления композитов. При этом большинство показателей их механических свойств оказалось ниже, чем для контрольных образцов из древесины и древесных композитов, однако прочность на растяжение и тепловое расширение дали лучший результат, чем контрольные образцы [170]. Предпринимались

также попытки производства литевых изделий из коры сосны Дугласа [76].

О. Кастро и группа ученых [171] исследовали изготовленные из пробки сэндвич-структурированные агломераты для самолетов. В ходе экспериментов выяснилось, что на свойства сэндвич-структуры влияют в основном такие параметры, как размер и плотность пробковых гранул, способ их склеивания, которые можно задавать в зависимости от конечного использования.

Ф. Эрнандес-Оливарес и соавт. [172] разработали новый композит из пробки и гипса. Результаты показали, что пробка и гипс взаимно совместимы друг с другом, а при различном соотношении компонентов смеси можно изготовить композиты с различной плотностью и функциями, которые обладали бы необходимыми тепло- и звукоизоляционными свойствами.

Б.Д. Руденко [173] изучал влияние структуры на формирование свойств плит из коры сосны и лиственницы и вторичного полиэтилена, показав, что наилучшие свойства наблюдаются для плит, состоящих на 80 % из полиэтилена и на 20 % из коры.

**Использование пробки.** Специальный способ утилизации коры — пробковое производство (например, пробки, изоляционные панели и т. д.) из коры пробкового дуба (*Quercus suber* L.). Плотность пробки составляет 110—200...250 кг/м<sup>3</sup>, она гибкая, непроницаемая для жидкостей, устойчивая к поражениям грибами, насекомыми, химическим веществам [174]. Клетки пробки мертвые вследствие отложения в их стенках суберина. Оболочки становятся непроницаемыми для жидкостей и газов, что и приводит к гибели протопласта. Полости заполняют воздух и смолистые вещества [175]. Химический состав: суберин — 58 %, целлюлозы — 22, лигнина — 12 %, остальные вещества — 8 % (дубильная кислота, компоненты золы и т. д.). Этот природный материал имеет превосходные характеристики: паропроницаемый, водоустойчивый и гидрофобный, устойчивый к низким температурам, трудногорючий, не усыхает, хороший теплоизолятор (низкий коэффициент теплопроводности — 0,037...0,040 Вт/м·К) и звукоизолятор, антистатик, устойчивый к поражениям грибами и насекомыми.

Перечисленные выше характеристики пробки хорошо объясняют, почему суберифицированная кора надежно защищает древесину [4]. А. Шен и соавт. [176] исследовали пробку толстой коры дуба *Quercus cerris* L. и обнаружили, что толстую кору дуба *Q. cerris* L. var. *cerris* также можно использовать для изготовления пробок и заглушек. Попутно было выявлено [177], что пробка *Quercus cerris* L. var. *cerris* имеет типичные характеристики, однако размер клеток меньше, доля

клеточных стенок выше и включений больше, чем в пробке у *Quercus suber* L. Это дало основания внедрить ее для в производство гранул и различных агломератов (например, для изоляции).

**Другие виды использования.** Химическая обработка коры и получение из нее различных соединений становится все более популярными. Х.А. Орамахи и Ф. Диба [178] получили различные соединения из коры дуриана с помощью пиролиза — такие, как уксусная кислота, метиловый спирт, производные фенола. С. Шенсез [179] методом пиролиза получил бионефть из коры сосны *Pinus brutia* Tenore. Экстракт коры акации *Acacia tearnsii* De Wild. может быть значительным возобновляемым промышленным источником природных полимеров, для применения в качестве дубильных веществ при производстве клеев [180]. С точки зрения деревообрабатывающей промышленности интерес вызывает возможное использование экстракта коры в производстве клеев. ОН-группы фенольных соединений вступают в реакцию с формальдегидом, и полученное связующее можно применять для получения водостойких древесно-стружечных плит и фанеры [147–149, 181, 182]. И.Г. Судакова и группа ученых [183] провели исследования образцов суберина из бересты коры березы для получения лаковых композиций и огнезащитных составов на основе поликонденсированного суберина в качестве пленкообразующего вещества.

Измельченные отходы коры можно добавить к материалу, предназначенному для изготовления кирпичей. В этом случае после обжига пористость и теплоизолирующая способность кирпича увеличиваются, хотя количество выгоревшего материала уменьшает плотность кирпича [184–186].

Интенсивные эксперименты показали, что из плетеной коры после специальной обработки можно получить волокнистый материал для производства войлочных досок, картонных досок, оберточного материала и особенно теплоизоляционных материалов [187].

В Норвегии для земляных работ на железной дороге под несущими балками для защиты от мороза использовали щепу коры ели и европейской пихты [188].

**Очистка воды и газа.** Кора или ее модифицированный вариант применяли для очистки воды. По мнению ряда исследователей, кора ели, сосны обыкновенной и лиственницы, ольхи, липы и вяза связывает токсичные ионы Pb, Cd, Hg, Zn [189]. С помощью метода химической активации активированный уголь можно получить из коры эвкалипта с помощью фосфорной кислоты [190]. Активированный уголь из-за своих превосходных адсорбционных свойств используется для очистки питьевой воды, сточных вод, растворов,

загрязненного воздуха и отбеливания сахара. Г. Пальма и группа ученых [191] с помощью химически модифицированной коры сосны *Pinus radiata* D.Don и дубильных веществ удалили ионы металлов из водных растворов и сточных вод медного рудника. Н.М. Салем и А.М. Авад [192] провели исследование процессов фракционной биосорбции модифицированной коры *Eriobotrya japonica* (Thunb.) Lindl. на водных растворах ионов никеля — скорость связи зависела от pH, концентрации ионов никеля, количества коры, времени контакта и температуры. Г.К. Кафле и др. [193] показали эффективность применения биофильтров на основе древесной коры для обеззараживания сточных вод свинко-комплексов от запахов аммиака и сероводорода. Л. Кутиллас-Барейро и группа ученых [194] в ходе эксперимента продемонстрировали, что кора *Pinus pinaster* Aiton может связывать значительное количество ионов  $Pb^{2+}$ ,  $Cu^{2+}$ ,  $Cd^{2+}$ ,  $Zn^{2+}$ ,  $Ni^{2+}$ , что свидетельствует о возможности эффективного обеззараживания воды от ионов тяжелых металлов в загрязненной среде. В исследовании М. Вайда [195] проводилось обеззараживание сточных вод с помощью древесной коры от нефтеподобных соединений. А.В. Семенович и С.Р. Лоскутов [196, 197] изучали применение модифицированной коры хвойных пород для изготовления сорбентов различного назначения, в том числе и для сбора разливов нефтепродуктов с водных поверхностей. Сорбционная емкость модифицированной древесной коры по отношению к катионам металлов  $Cu^{2+}$ ,  $Co^{2+}$ ,  $Ca^{2+}$ ,  $Zn^{2+}$  достигала 21,30 мг/г, красителю метиленовому голубому — 42,10 мг/г, нефтепродуктам — 8,23 г/г.

Изучалась не только очистка воды, но и очистка газов. Для очистки топочных газов использовались биофильтры, сделанные из коры *Pinus sylvestris* L. при промышленных температуре и давлении [198]. Л. Валентин и группа исследователей [199] использовали грибы (*Phanerochaete velutina* és *Stropharia rugosoannulata*) с коры сосны обыкновенной для производства лигнолитических ферментов и пероксидазы для очистки загрязнений окружающей среды. Результаты показали, что кора *Pinus sylvestris* L. помогает вырабатывать ферменты и служит питательной средой для грибов, поэтому кора сосны подходит для биоремедиации.

**Производство пластмасс и наполнителей.** Н. Кордейро и группа ученых [200] исследовали процесс получения и характеристики полиуретана на субериновой основе, Д.Е. Гарсиа и соавт. [201] изучали обработанные на основе полифенолов полиуретановые пленки с помощью конденсированных танинов и про-

изводных гидроксил-танинов, полученных из коры *Pinus pinaster* Aiton и с помощью диизоцианатов. Ф. Мунош и группа исследователей [202] обнаружили, что волокна коры эвкалипта *Eucalyptus nitens* (H.Deane & Maiden) Maiden могут служить в качестве упрочняющего материала для термопластичных пластмасс, таких как полиэтилен высокой плотности (HDPE). С.В. Макарычев [203] показал, что древесная кора, применяемая в качестве наполнителя термопластов, увеличивает их теплоемкость и теплопроводность, сохраняя температуропроводность. Дж. Хейнмяки и соавт. [204] доказали, что даже небольшие концентрации жирных кислот из суберина, экстрагируемого из коры *Betula* L., значительно увеличивают пароизоляционные характеристики гидрокси-пропилметилцеллюлозных пленок.

**Использование для изготовления одежды и посуды.** Д. Ли и соавт. [205] в Южном Китае нашли остатки одежды из дерева возрастом примерно 7900 лет. Сегодня по-прежнему одежда изготавливается из древесины. Л. Робертсон [206] описал традиционное изготовление одежды из коры *Ficus natalensis* Hochst., произрастающего в Африке. Кроме того, эта кора с давних времен используется как оберточный материал [207]. В некоторых регионах для изготовления горшков используется береста, кора липы, некоторых видов тополя и вязов. Различные корзины, сумки и другие изделия закручены или сплетены из спирально срезанной, выдержанной коры. Изделия из светлой коры можно использовать десятилетиями (например, для сбора грибов или фруктов). Известен фат об изготовлении сандалий из бересты [208].

## Выводы

Таким образом, древесная кора как уникальный природный материал представляет огромный потенциал для использования в различных сферах нашей жизнедеятельности. Сложный химический состав, большое разнообразие вторичных метаболитов, физические и механические свойства древесной коры позволяют найти новые области ее применения и значительно расширить ассортимент получаемых продуктов.

*Представленная работа выполнена в рамках проекта «Sustainable Raw Material Management Thematic Network – RING 2017», EFOP-3.6.2-16-2017-00010 project in the framework of the Széchenyi 2020 Program. Реализация данного проекта осуществляется при финансовой поддержке Европейского Союза (European Union) и совместном финансировании со стороны Европейского Социального Фонда (European Social Fund).*

## Список литературы / References

- [1] FAO 2015: Forest products 2009–2013. FAO Forestry Series, 2015, no. 48. FAO Statistics Series no. 204.
- [2] Yang P., Jenkins B. M. Wood residues from sawmills in California. *Biomass and Bioenergy*, 2008, no. 32(2), pp. 101–108. DOI: 10.1016/j.biombioe.2007.09.001
- [3] Feng S., Cheng S., Yuan Z., Leitch M., Xu C. Valorization of bark for chemicals and materials: A review. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 2013, no. 26, pp. 560–578. DOI: 10.1016/j.rser.2013.06.024
- [4] Molnár S. Faanyagismeret («Wood material science»). Budapest: Mezőgazdasági Szaktudás kiadó, 2004, 471 p. (in Hungarian)
- [5] Ушанова В.М. Комплексная переработка древесной зелени и коры пихты сибирской с получением продуктов, обладающих биологической активностью: дис. ... д-ра техн. наук: 05.21.03. Красноярск, 2012. 580 с. Ushanova V.M. *Kompleksnaya pererabotka drevesnoy zeleni i kory pikhty sibirskoy s polucheniem produktov, obladayushchikh biologicheskoy aktivnost'yu*. [Complex processing of Siberian fir needles and bark for obtaining products having biological activity] Dis. Dr. Sci. (Tech.). Krasnoyarsk, 2012, 580 p.
- [6] Мелехов В.И., Тюрикова Т.В., Пономарева Н.Г. Энергетический потенциал древесной коры в программе ресурсосбережения // Актуальные направления научных исследований XXI века: теория и практика, 2015. Т. 3, № 9–3 (20–3). С. 106–110. DOI: 10.12737 / 16877
- [7] Melekhov V.I., Tyurikova T.V., Ponomareva N.G. *Energeticheskiy potentsial drevesnoy kory v programme resursosberezheniya* [Energy potential of bark in resource saving program]. Aktual'nye napravleniya nauchnykh issledovaniy XXI veka: teoriya i praktika [Current research areas of the XXI century: theory and practice], 2015, no. 9–3 (20–3), pp. 106–110. DOI: 10.12737 / 16877
- [8] Fekete Z. Erdőbecslés (Estimation of forest stocks). Budapest, Hungary: Akadémiai Kiadó, 1951, pp. 145–628. (in Hungarian)
- [9] Уголев Б.Н. Древесиноведение с основами лесного товароведения. М.: Лесная пром-сть, 1986. 365 с. Ugolev B.N. *Drevesinovedenie s osnovami lesnogo tovarovedeniya* [Wood science with the basics of forest product science]. Moscow: Lesnaya promyshlennost' [Forest industry], 1986, 365 p.
- [10] Sopp L., Kolozs L. Fatömegszámítási táblázatok [Tables for calculating wood volume] Budapest: Állami Erdészeti Szolgálat, 2000, pp. 24–29. (in Hungarian)
- [11] Guidi W., Piccioni E., Ginanni M., Bonari E. Bark content estimation in poplar (*Populus deltoides* L.) short-rotation coppice in Central Italy. *Biomass and bioenergy*, 2008, no. 32, pp. 518–524. DOI: 10.1016/j.biombioe.2007.11.012
- [12] Fodor F. Fásult személyi- Az árulkodó fakéreg. *Természetbúvár*, 2004, no. 59(3), pp. 2–5. (in Hungarian)
- [13] Тимонин А.К. Ботаника: в 4 т. Высшие растения. М.: Издательский центр «Академия», 2007. Т. 3. 352 с. Timonin A.K. *Botanika: v 4 t. Vysshie rasteniya* [Botany: in 4 vols. Higher plants]. M.: Izdatel'skiy tsentr «Akademiya» [Publishing center «Academy»], 2007, v. 3, 352 p.
- [14] Ghosh D. Bark is the Hallmark. *Resonance*, 2006, no. 11(3), pp. 41–50.
- [15] Oskolski A.A., Wyk B.E.V. Wood and bark anatomy of *Centella*: scalariform perforation plates support an affinity with the subfamily Mackinlayoideae (Apiaceae). *Plant Systematics and Evolution*, 2010, no. 289(3–4), pp. 127–135. DOI: 10.1007/s00606-010-0338-6

- [15] Schafer J.L., Breslow B.P., Hohmann M.G., Hoffmann W.A. Relative bark thickness is correlated with tree species distribution along a fire frequency gradient. *Fire Ecology*, 2015, no. 11(1), pp. 74–87. DOI: 10.4996/fireecology.1101074
- [16] Catry F.X., Rego F., Moreira F., Fernandes P.M., Pausas J.G. Post-fire tree mortality in mixed forests of central Portugal. *Forest Ecology and Management*, 2010, no. 260, pp. 1184–1192. DOI: 10.1016/j.foreco.2010.07.010
- [17] Lawes M.J., Richards A., Dathe J., Midgley J.J. Bark thickness determines fire resistance of selected tree species from fire-prone tropical savanna in north Australia. *Plant Ecology*, 2011, no. 212, pp. 2057–2069. DOI: 10.1007/s11258-011-9954-7
- [18] Wang G.G., Wangen S.R. Does frequent burning affect longleaf pine (*Pinus palustris*) bark thickness? *Canadian Journal of Forest Research*, 2011, no. 41(7), pp. 1562–1565. DOI: 10.1139/X11-074
- [19] do Vale A.T., Elias P.S. Bark thermal protection level of four tree species and the relationship between bark architecture and heat transfer. *Ciência Florestal*, Santa Maria, 2014, no. 24(4), pp. 979–987. DOI: 10.1590/1980-509820142404017
- [20] Dickinson M.B., Johnson E.A. Fire effects on trees. *Forest Fires: Behavior and Ecological Effects*. Chapter 14. Academic Press, 2001, pp. 477–525. DOI: 10.1016/b978-012386660-8/50016-7
- [21] Dickinson M.B. Heat transfer and vascular cambium necrosis in the boles of trees during surface fires. *Forest Fire Research & Wildland Fire Safety*, Millpress, Rotterdam, 2002, ed. 1–10. Available at: <https://www.fs.usda.gov/treearch/pubs/14592> (accessed 05.02.2019).
- [22] Härtel O. Pollutants accumulation by bark. *Monitoring of Air Pollutants by Plants — Methods and Problems*. Eds. Steubing L., Jäger H.-J. W. Junk Publishers, The Hague, 1982, pp. 137–147.
- [23] Böhm P., Wolterbeek H., Verburg T., Mušilek L. The use of tree bark for environmental pollution monitoring in the Czech Republic. *Environmental Pollution*, 1998, no. 102, pp. 243–250. DOI: 10.1016/S0269-7491(98)00082-7
- [24] Saarela K.E., Harju L., Rajander J., Lill J.O., Heselius S.J., Lindroos A., Mattsson K. Elemental analyses of pine bark and wood in an environmental study. *Science of The Total Environment*, 2005, no. 343 (1–3), pp. 231–241. DOI: 10.1016/j.scitotenv.2004.09.043
- [25] Mandiwana K.L., Resane T., Panichev N., Ngobeni P. The application of tree bark as bio-indicator for the assessment of Cr(VI) in air pollution. *J. Haz. Mater.*, 2006, no. B 137, pp. 1241–1245. DOI: 10.1016/j.jhazmat.2006.04.015
- [26] Grodzinska K. Acidification of tree bark as a measure of air pollution in southern Poland. *Bull. Acad. Polon. Sci., Cl. 2, Sér. Sci. Biol.*, 1971, no. 19(3), pp. 189–195.
- [27] Grodzinska K. Acidity of tree bark as a bioindicator of forest pollution in southern Poland. *Water, Air, and Soil Pollution*, 1978, no. 7, pp. 3–7.
- [28] Grodzinska K. Tree-bark — sensitive biotest for environment acidification. *Environment International*, 1979, no. 2(3), pp. 173–176. DOI: 10.1016/0160-4120(79)90075-8
- [29] Grodzinska K. Monitoring of air pollutants by mosses and tree bark. *Monitoring of Air Pollutants by Plants — Methods and Problems*. Eds. Steubing L., Jäger H.-J. W. Junk Publishers, The Hague, 1982, pp. 33–42.
- [30] Staxang B. Acidification of bark of some deciduous trees. *Oikos* 20, 1969, pp. 224–230. DOI: 10.2307/3543190
- [31] O'Hare G.P. Lichens and bark acidification as indicators of air pollution in west central Scotland. *J. Biogeogr.*, 1974, no. 1, pp. 135–146. DOI: 10.2307/3037960
- [32] Swieboda M., Kalembe A. The bark of Scots pine (*Pinus sylvestris* L.) as a biological indicator of atmospheric air pollution. *Acta Societatis Botanicorum Poloniae*, 1979, no. 48(4), pp. 539–549. DOI: 10.5586/asbp.1979.045
- [33] Santamaría J.M., Martín A. Tree bark as a bioindicator of air pollution in Navarra. *Spain Water, Air, and Soil Pollution*, 1997, no. 98, pp. 381–387. DOI: 10.1023/A:1026431211784
- [34] Kuang Y., Zhou G., Wen D., Liu S. Acidity and conductivity of *Pinus massoniana* bark as indicators to atmospheric acid deposition in Guangdong, China. *J. Environmental Sciences*, 2006, no. 18(5), pp. 916–920. DOI: 10.1016/S1001-0742(06)60014-4
- [35] Marmor L., Randlane T. Effects of road traffic on bark pH and epiphytic lichens in Tallinn. *Folia Cryptog. Estonica*, Fasc., 2007, no. 43, pp. 23–37.
- [36] Steindor K., Palowski B., Góras P., Nadgórska-Socha A. Assessment of bark reaction of selected tree species as an indicator of acid gaseous pollution. *Polish J. Environment Studies*, 2011, no. 20(3), pp. 619–622.
- [37] Barnes D., Hamadan M. A., Ottaway J.M. The lead, copper and zinc content of tree rings and bark. *The Science of Total Environment*, 1976, no. 5, pp. 63–67. DOI: 10.1016/0048-9697(76)90024-3
- [38] Fatoki O.S., Ayodele E.T. Zinc and copper levels in tree barks as indicators of environmental pollution. *Environmental International*, 1991, no. 17, pp. 455–460. DOI: 10.1016/0160-4120(91)90279-Y
- [39] Lippo H., Poikolainen, J. Kubin E. The use of moss, lichen and pine bark in the nationwide monitoring of atmospheric heavy metal deposition in Finland. *Water, Air, and Soil Pollution*, 1995, no. 85, pp. 2241–2246. DOI: 10.1007/BF01186167
- [40] Poikolainen J. Sulphur and heavy metal concentrations in Scots pine bark in northern Finland and the Kola Peninsula. *Water Air Soil Pollution*, 1997, no. 93, pp. 395–408. DOI: 10.1023/A:1022160930526
- [41] Schulz H., Popp P., Huhn G., Stärk H. J., Schürmann G. Biomonitoring of airborne inorganic and organic pollutants by means of pine tree barks. I. Temporal and spatial variations. In: *Biomonitoring of Atmospheric Pollution (with Emphasis on Trace Elements) – BioMAP (IAEA-TEC-DOC-1152)*. Ed. B. Smodis. International Atomic Energy Agency, Vienna, 2000, pp. 149–158. DOI: 10.1016/S0048-9697(99)00109-6
- [42] Schulz H., Schulz U., Huhn G., Schürmann G. Biomonitoring of airborne inorganic and organic pollutants by means of pine tree barks. II. Deposition types and impact levels. In: *Biomonitoring of Atmospheric Pollution (with Emphasis on Trace Elements) – BioMAP (IAEA-TEC-DOC-1152)*. Ed. B. Smodis. International Atomic Energy Agency, Vienna, 2000, pp. 159–167.
- [43] El-Hasan T., Al-Omari H., Jiries A., Al-Nasir F. Cypress tree (*Cupressus semervirens* L.) bark as an indicator for heavy metal pollution in the atmosphere of Amman City, Jordan. *Environment International*, 2002, no. 28, pp. 513–519. DOI: 10.1016/S0160-4120(02)00079-X
- [44] Gemici M., Gemici Y., Tan K. Sulphur content of Red pine (*Pinus brutia*) needles and bark as indicator of atmospheric pollution in Southwest Turkey. *Phytologia Balcanica*, 2006, no. 12(2), pp. 267–272.
- [45] Suzuki K. Characterisation of airborne particulates and associated trace metals deposited on tree bark by ICP-OES, ICP-MS, SEM-EDX and laser ablation ICP-MS. *Atmospheric Environment*, 2006, no. 40, pp. 2626–2634. DOI: 10.1016/j.atmosenv.2005.12.022
- [46] Berlizov A.N., Blum O.B., Filby R.H., Malyuk I.A., Tryshyn V.V. Testing applicability of black poplar (*Populus*

- nigra* L.) bark to heavy metal air pollution monitoring in urban and industrial regions. *Science of the Total Environment*, 2007, no. 372, pp. 693–706. DOI: 10.1016/j.scitotenv.2006.10.029
- [47] Han L.E., Li B.T., Lan S.F. Responses of the urban roadside trees to traffic environment. *Proceedings from the Fourth International Conference on Environmental Science and Technology*, July 28–31 2008, Houston, Texas, USA. Eds. George A. Sorial, Jihua Hong. *Environmental Science & Technology (II)*. Houston, USA: American Science Press, 2008, pp. 63–70.
- [48] Satake K., Tanaka A., Kimura K. Accumulation of lead in tree trunk bark pockets as pollution time capsules. *The Science of the Total Environment*, 1996, no. 181, pp. 25–30. DOI: 10.1016/0048-9697(95)04955-X
- [49] Bellis D.J., McLeod C.W., Satake K. Pb and 206Pb 207Pb isotopic analysis of a tree bark pocket near Sheffield, UK recording historical change in airborne pollution during the 20th Century. *The Science of the Total Environment*, 2002, no. 289, pp. 169–176. DOI: 10.1016/S0048-9697(01)01037-3
- [50] Bellis D.J., Satake K., Noda M., Nishimura N., McLeod C.W. Evaluation of the historical records of lead pollution in the annual growth rings and bark pockets of a 250-year-old *Quercus crispula* in Nikko, Japan. *The Science of the Total Environment*, 2002, no. 295, pp. 91–100. DOI: 10.1016/S0048-9697(02)00054-2
- [51] Wang Q., Zhu C., Wang Y., Huang Z., Li Z., Huang B. A novel sampling method for present and historical monitoring of air pollution by using tree bark. *Environmental Chemistry*, 2003, no. 22(3), pp. 250–254.
- [52] Åberga G., Abrahamsen G., Steinnes E., Hjelmseth H. Utilization of barkpockets as time capsules of atmospheric-lead pollution in Norway. *Atmospheric Environment*, 2014, no. 38, pp. 6231–6237. DOI: 10.1016/j.atmosenv.2004.06.041
- [53] Conkova M., Kubiznakova J. Lead isotope ratios in tree bark pockets: An indicator of past air pollution in the Czech Republic. *Science of the Total Environment*, 2008, no. 404, pp. 440–445. DOI: 10.1016/j.scitotenv.2008.04.025
- [54] Corder S.E. Properties and uses of bark as an energy source. Research paper 31, Oregon State University, School of Forestry, Forest Research Laboratory. Corvallis, Oregon 97331, 1976, 21 p.
- [55] Clark A.(III), Phillips D.R., Frederick D.J. Weight, volume and physical properties of major hardwood species in the Gulf and Atlantic coastal plains. USDA, Forest Service, Southeastern Forest Experiment Station Research Paper, 1985, 78 p.
- [56] Dibdiakova J., Gjølsjø S., Wang L. Solid biofuels from forest — fuel specification and quality assurance. Inherent properties of Norway spruce biomass in some geographical locations in South Norway. Report from Norwegian forest and landscape institute, 2014, v. 14/08, 44 p.
- [57] Németh K., Molnár S. Az akácfa égésmelegének és fűtőértékének vizsgálata. *Faipar*, 1983, no. 33(3), p.78–79. (in Hungarian)
- [58] Hakkila P. Utilization of Residual Forest Biomass. *Springer Series in Wood Science*, 1989, 568 p.
- [59] Полубоярин О.И. Плотность древесины. М.: Лесная пром-сть, 1976. 160 с. Poluboyarinov O.I. *Plotnost' drevesiny* [Density of wood]. Moscow: Lesnaya promyshlennost' [Forest industry], 1976, 160 p.
- [60] Miles P.D., Smith W.B. Specific Gravity and Other Properties of Wood and Bark for 156 Tree Species Found in North America. U.S. Delaware: Forest service, Publications Distribution, 2009, 38 p.
- [61] Chang Y.P., Mitchell R.L. Chemical composition of common North American pulpwood barks. *Tappi*, 1955, no. 38(5), pp. 315–320.
- [62] Millikin D.E. Determination of bark volumes and fuel properties. *Pulp and paper magazine of Canada*, 1955, no. 56(13), pp. 106–108.
- [63] Житков А.В. Утилизация древесной коры. М.: Лесная пром-сть, 1985. 136 с. Zhitkov A.B. *Utilizatsiya drevesnoy kory* [Utilization of wood bark]. Moscow: Lesnaya promyshlennost' [Forest industry], 1985, 136 p.
- [64] Szendrey I. *Faipari kémiai technológia 1 «Wood chemistry»*. Sopron, Hungary: Egyetemi Jegyzet, 1986, 33 p. (in Hungarian)
- [65] Shin S. J., Han S. H. Investigation of solid energy potential of wood and bark obtained from four clones of a two-year old goat willow. *Frontiers in Energy Research*, 2014, no. 2, pp. 5–18. DOI: 10.3389/feeng.2014.00005
- [66] Дейнеко И.П., Фаустова Н.М. Элементный и групповой химический состав коры и древесины осины // Химия растительного сырья, 2015. № 1. С. 51–62. Deyneko I.P., Faustova N.M. *Elementnyy i gruppovoy khimicheskiy sostav kory i drevesiny osiny* [Element and group chemical composition of aspen bark and wood] *Khimiya rastitel'nogo syr'ya* [Chemistry of plant raw material], 2015, no. 1, pp. 51–62. DOI: 10.14258/jcprm.201501461
- [67] Naunes E., Qbuilhó T., Pereira H. Anatomy and chemical composition of *Pinus pinea* L. bark. *Annals of Forest Science*, 1999, no. 56(6), pp. 479–484. DOI: 10.1051/forest:19990604
- [68] Young H.E. Preliminary estimates of bark percentages and chemical elements in complete trees of eight species in Maine. *Aspen Bibliography*, 1971, p. 5461. Available at: [http://digitalcommons.usu.edu/aspens\\_bib/5461](http://digitalcommons.usu.edu/aspens_bib/5461) (accessed 05.02.2019).
- [69] Lambert M.J. Inorganic constituents in wood and bark of New South Wales forest tree species. Research Note. Sydney: Forestry Commission of New South Wales, 1981, no. 45, 43 p.
- [70] Ragland K.W., Aerts D.J. Properties of wood for combustion analysis. *Bioresource Technology*, 1991, no. 37, pp. 161–168. DOI: 10.1016/0960-8524(91)90205-X
- [71] Olander B., Steenari B.M. Characterization of ashes from wood and straw. *Biomass and Bioenergy*, 1995, no. 8(2), pp. 105–115. DOI: 10.1016/0961-9534(95)00004-Q
- [72] Piotrowska P., Skoglund N., Grimm A., Boman C., Öhman M., Zevenhoven M., Boström D., Hupa M. Systematic studies of ash composition during the co-combustion of rapeseed cake and bark. *Proceedings of the 21st International Conference on Fluidized Bed Combustion*, Naples, Italy, 2012, 183 p. Available at: <https://doi.org/10.1007/978-3-642-02682-9> (accessed 05.02.2019).
- [73] Miranda I., Gominho J., Mirra I., Pereira H. Chemical characterization of barks from *Picea abies* and *Pinus sylvestris* after fractioning into different particle sizes. *Industrial Crops and Products*, 2012, no. 36, pp. 395–400. DOI: 10.1016/j.indcrop.2011.10.035
- [74] Wang L., Dibdiakova J. Characterization of Ashes from Different Wood Parts of Norway Spruce Tree. *Chemical Engineering Transactions*, 2014, no. 37, pp. 37–42. DOI: 10.3303/CET1437007. ISSN 2283-9216.
- [75] Barboutis I., Lykidis C. The effects of bark on fuel characteristics of some evergreen Mediterranean hardwood species. *Proceedings of the 57th International Convention of Society of Wood Science and Technology*, Zvolen, Slovakia, 2014, pp. 533–540.
- [76] Harkin J.M., Rowe J.W. Bark and its possible uses. USDA. Forest Service, Research note, FPL-091, Forest Products Laboratory, 1971. 56 p.

- [77] Usta M., Kara Z. The chemical composition of wood and bark of *Cedrus libani* A. Rich. *Holz als Roh- und Werkstoff*, 1997, no. 55, pp. 268. DOI: 10.1007/BF02990561
- [78] Melin S. Bark as feedstock for production of wood pellets. Wood pellett asociacion of Canada, 2008. Available at: [http://www.pellet.org/images/2008-12-11\\_Bark\\_as\\_feedstock\\_for\\_Production\\_of\\_Wood\\_Pellets\\_Report\\_December\\_2008.pdf](http://www.pellet.org/images/2008-12-11_Bark_as_feedstock_for_Production_of_Wood_Pellets_Report_December_2008.pdf). (accessed 05.02.2019).
- [79] Fradinho D.M., Neto C.P., Evtuguin D., Jorge F.C., Irlé M.A., Gil M.H., Pedrosa de Jesus J. Chemical characterization of bark and of alkaline bark extracts from maritime pine grown in Portugal. *Industrial Crops and Products*, 2002, no. 16, pp. 23–32. DOI: 10.1016/S0926-6690(02)00004-3
- [80] Jové P., Olivella M.Á., Cano L. Study of the variability in chemical composition of bark layers of *Quercus suber* L. from different production areas. *BioResources*, 2011, no. 6(2), pp. 1806–1815.
- [81] Cordeiro N., Belgacem M.N., Silvestre A.J.D., Neto C.P., Gandini, A. Cork suberin as a new source of chemicals. 1. Isolation and chemical characterization of its composition. *International J. Biological Macromolecules*, 1998, no. 22, pp. 71–80. DOI: 10.1016/S0141-8130(97)00090-1
- [82] Gandini A., Neto C.P., Silvestre A.J.D. Suberin: A promising renewable resource for novel macromolecular materials. *Progress in Polymer Sciences*, 2006, no. 31, pp. 878–892. DOI: 10.1016/j.progpolymsci.2006.07.004
- [83] Судакова И.Г., Гарынцева Н.В., Иванов И.П., Кузнецов Б.Н. Выделение и применение суберина из бересты коры березы // Журнал Сибирского федерального университета. Сер.: Химия, 2012. Т. 5. № 2. С. 168–177. Sudakova I.G., Garyntseva N.V., Ivanov I.P., Kuznetsov B.N. *Vydelenie i primeneniye suberina iz beresty kory berezy* [Isolation and application of suberin from outer birch-bark]. *Zhurnal Sibirskogo federal'nogo universiteta. Seriya: Khimiya* [Journal of Siberian Federal University. Series: Chemistry], 2012, no. 5(2), pp. 168–177.
- [84] Portik K.I. A fenyő hasznosítása a Székelyföldön (Utilization of coniferous in Transylvania). *Székelyföld- kulturális folyóirat*, 2006, no. 10(12). (in Hungarian)
- [85] Narasimhachari N., von Rudloff E. The chemical composition of the wood and bark extractives of *Juniperus horizontalis* Moench. *Canadian J. Chemistry*, 1961, no. 39, pp. 2572–2581. DOI: 10.1139/v61-339
- [86] Rowe J.W., Bower C.L., Wagner E.R. Extractives of Jack pine bark: occurrence of cis- and trans-pinoylvin dimethyl ether and ferulic acid esters. *Phytochemistry*, 1969, no. 8, pp. 235–241. DOI: 10.1016/S0031-9422(00)85819-7
- [87] Abyshev A.Z., Agaev É.M., Guseinov A.B. Studies of the chemical composition of Birch bark extracts (Cortex betula) from the Betulaceae family. *Pharmaceutical Chemistry J.*, 2007, no. 41(8), pp. 419–423. DOI: 10.1007/s11094-007-0091-5
- [88] Vázquez G., Fontenla E., Santos J., Freire M. S., González-Álvarez J., Antorrena G. Antioxidant activity and phenolic content of chestnut (*Castanea sativa*) shell and eucalyptus (*Eucalyptus globulus*) bark extracts. *Industrial crops and products*, 2008, no. 28, pp. 279–285. DOI: 10.1016/j.indcrop.2008.03.003
- [89] Pinto P.C.R.O., Sousa A.F., Silvestre A.J.D., Neto C.P., Gandini A., Eckerman C., Holmbom B. *Quercus suber* and *Betula pendula* outer barks as renewable sources of oleochemicals: A comparative study. *Industrial Crops and Products*, 2009, no. 29(1), pp. 126–132. DOI: 10.1016/j.indcrop.2008.04.015
- [90] Григорюк Г.П., Слостников И.И., Старостина Е.Б., Продаевич В.Г., Левин Д.В. Способ переработки коры деревьев хвойных пород / Пат. 2400357 Российская Федерация, МПК В27К 9/00, В01Д 11/00, С08В 37/06/ заявитель и патентообладатель Григорюк Г.П. № 2008116537/04; заявл. 29.04.2008; опубл. 27.09.2010, Бюл. № 27. 9 с. Grigoryuk G.P., Slastnikov I.I., Starostina E.B., Prodaevich V.G., Levin D.V. *Sposob pererabotki kory derev'ev khvoynykh porod* [Method for processing of conifer bark]. Patent RF, no. 2400357, 2010.
- [91] Santos S.A.O., Pinto P.C.R.O., Silvestre A.J.D., Neto C.P. Chemical composition and antioxidant activity of phenolic extracts of cork from *Quercus suber* L. *Industrial Crops and Products*, 2010, no. 31, pp. 521–526. DOI: 10.1016/j.indcrop.2010.02.001
- [92] Lin H., Zhang Y.W., Bao Y.L., Wu Y., Sun L.G., Yu C.L., Huang Y.X., Wang E.B., Li Y.X. Secondary metabolites from the stem bark of *Juglans mandshurica*. *Biochemical Systematics and Ecology*, 2013, no. 51, pp. 184–188. DOI: 10.1016/j.bse.2013.08.010
- [93] Thalhamer B., Himmelsbach M. Characterization of quillaja bark extracts and evaluation of their purity using liquid chromatography – high resolution mass spectrometry. *Phytochemistry Letters*, 2014, no. 8, pp. 97–100. DOI: 10.1016/j.phytol.2014.02.009
- [94] Kempainen K., Siika-aho M., Pattathil S., Giovando S., Kruus S. Spruce bark as an industrial source of condensed tannins and non-cellulosic sugars. *Industrial Crops and Products*, 2014, no. 52, pp. 158–168. DOI: 10.1016/j.indcrop.2013.10.009
- [95] Кузнецов Б.Н., Левданский В.А., Кузнецова С.А. Химические продукты из древесной коры. Красноярск: Сибирский федеральный университет, 2012. 260 с. Kuznetsov B.N., Levdanskiy V.A., Kuznetsova S.A. *Khimicheskie produkty iz drevesnoy kory* [Chemical products from bark: monography]. Krasnoyarsk: Sibirskiy federal'nyy universitet [Siberian Federal University], 2012, 260 p.
- [96] Szalay L. A fahulladék hasznosítása (Utilization of wood waste). Budapest, Hungary: Műszaki Könyvkiadó, 1981, 227 p. (in Hungarian)
- [97] Васильев А.С. Классификация способов окорки древесины // Актуальные направления научных исследований: от теории к практике, 2015. № 3 (5). С. 258–260. Vasil'ev A.S. *Klassifikatsiya sposobov okorki drevesiny* [Classification of wood debarking methods]. *Aktual'nye napravleniya nauchnykh issledovaniy: ot teorii k praktike* [Current research directions: from theory to practice], 2015, no. 3 (5), pp. 258–260.
- [98] Hargitai L. Fűrészárú (Timber products). Budapest Hungary: Szaktudás Kiadó Ház Rt., 2003, 171 p. (in Hungarian)
- [99] Baroth R. Literature review of the latest development of wood debarking. University of Oulu, Control Engineering Laboratory, 2005, Report A, no. 27, 29 p.
- [100] Ressel J.B. Wood yard operations, in: *Handbook of Pulp*. Ed. H. Sixta. WILEY-VCH Verlag GmbH & Co. KGaA, Weinheim, 2006, pp. 69–107. DOI: 10.1002/9783527619887.ch3
- [101] Einspahr D.W., Van Eperen R.H., Fiscus M.L. Morphological and bark strength characteristics important to wood/bark adhesion in hardwoods. *Wood and Fiber Science*, 1984, no. 16(3), pp. 339–348.
- [102] Chow S., Obermajer A. Wood-to-bark adhesion of subalpine fir (*Abies lasiocarpa*) in extreme temperatures. *Wood Science and Technology*, 2004, no. 38, pp. 391–403. DOI 10.1007/s00226-004-0247-3
- [103] Rápóti J., Romváry V. *Gyógyító Növények* (Healing plants). Budapest, Hungary: Medicina Könyvkiadó Rt, 1997, 512 p. (in Hungarian)
- [104] Grace O.M., Prendergast H.D.V., Jager A.K., van Staden J. Bark medicines used in traditional healthcare in KwaZulu-Natal, South Africa: An inventory. *South African*

- Journal of Botany, 2003, no. 69(3), pp. 301–363.  
DOI: 10.1016/S0254-6299(15)30318-5
- [105] Tóth L. Gyógynövények, drogok, fitoterápia (Herbs, drugs and fitotherapy), Kossuth Egyetemi Kiadó, Debrecen, Hungary, 2005, 586 p. (in Hungarian).
- [106] Berahou A., Auhmani A., Fdil N., Benharref A., Jana M., Gadhi C.A. Antibacterial activity of *Quercus ilex* bark's extracts. *J. Ethnopharmacology*, 2007, no. 112, pp. 426–429. DOI: 10.1016/j.jep.2007.03.032
- [107] Diouf P.N., Stevanovic T., Cloutier A. Study on chemical composition, antioxidant and anti-inflammatory activities of hot water extract from *Picea mariana* bark and its proanthocyanidin-rich fractions. *Food Chemistry*, 2009, no. 113, pp. 897–902.  
DOI: 10.1016/j.foodchem.2008.08.016
- [108] Kiran A.W., Chandrakant S.M. Pharmacognostic profiles of bark of *Careya arborea* Roxb. *J. Pharmacognosy and Phytotherapy*, 2009, no. 1(5), pp. 064–066.
- [109] Zhang L., Chen J., Wang Y., Wu D., Xu M. Phenolic Extracts from *Acacia mangium* Bark and Their Antioxidant Activities. *Molecules*, 2010, no. 15, pp. 3567–3577.  
DOI: 10.3390/molecules15053567
- [110] Liu Z., Zhang X., Cui W., Zhang X., Li N., Chen J., Wong A.W., Roberts A. Evaluation of short-term and subchronic toxicity of magnolia bark extract in rats. *Regulatory Toxicology and Pharmacology*, 2007, no. 49(3), pp. 160–171.  
DOI: 10.1016/j.yrtph.2007.06.006
- [111] Orlandi L., Vilela F.C., Santa-Cecilia F.V., Dias D.F., Alves-da-Silva G., Giusti-Paiva A. Anti-inflammatory and antinociceptive effects of the stem bark of *Byrsonima intermedia* A. Juss. *J. Ethnopharmacology*, 2011, no. 137(3), pp. 1469–1476. DOI: 10.1016/j.jep.2011.08.032
- [112] Vasconcelos C.F., Maranhão H.M., Batista T.M., Carneiro E.M., Ferreira F., Costa J., Soares L.A., Sá M.D., Souza T.P., Wanderley A.G. Hypoglycaemic activity and molecular mechanisms of *Caesalpinia ferrea* Martius bark extract on streptozotocin-induced diabetes in Wistar rats. *J. Ethnopharmacology*, 2011, no. 137(3), pp. 1533–1541.  
DOI: 10.1016/j.jep.2011.08.059
- [113] Annegowda H.V., Gooi T.S., Awang S.H.H., Alias N.A., Mordi M. N., Ramanathan S., Mansor, S. M. Evaluation of Analgesic and Antioxidant Potency of Various Extracts of *Cinnamomum iners* Bark. *International J. Pharmacology*, 2012, no. 8(3), pp. 198–203.  
DOI: 10.3923/ijp.2012.198.203
- [114] Boakye P.A., Brierley S.M., Pasilis S.P., Balemba O.B. *Garcinia buchananii* bark extract is an effective anti-diarrheal remedy for lactose-induced diarrhea. *J. Ethnopharmacology*, 2012, no. 142(2), pp. 539–547.  
DOI: 10.1016/j.jep.2012.05.034
- [115] Орловская Т.В., Гюльбякова Х.Н., Гужва Н.Н., Огурцов Ю.А. Изучение коры липы сердцелистной с целью создания новых лекарственных средств // Современные проблемы науки и образования, 2013. № 2. С. 427. URL: <http://www.science-education.ru/ru/article/view?id=8561>. (дата обращения 27.03.2020). Orlovskaya T.V., Gyl'byakova Kh.N., Guzhva N.N., Ogurtsov Yu.A. *Izuchenie kory lipy serdtselistnoy s tsel'yu srzdaniya novykh lekarstvennykh sredstv* [Studying the *Tilia cordata* L. bark with the purpose of creation the new medicines]. *Sovremennye problemy nauki i obrazovaniya* [Modern problems of science and education], 2013, no. 2, pp. 427. Available at: <http://www.science-education.ru/ru/article/view?id=8561> (accessed 27.03.2020).
- [116] Terangpi R., Basumatary R., Tamuli A.K., Teron R. Pharmacognostic and Physicochemical evaluation of stem bark of *Acacia pennata* (L.) Willd., a folk plant of the Dimasa tribe of Assam. *J. Pharmacognosy and Phytochemistry*, 2013, no. 2(2), pp. 134–140.
- [117] Comandini P., Lerma-García M.J., Simó-Alfonso E.F., Toschi T.G. Tannin analysis of chestnut bark samples (*Castanea sativa* Mill.) by HPLC-DAD–MS. *Food Chemistry*, 2014, no. 157, pp. 290–295.  
DOI: 10.1016/j.foodchem.2014.02.003
- [118] Jyske T., Laakso T., Latva-Mäenpää H., Tapanila T., Saranpää P. Yield of stilbene glucosides from the bark of young and old Norway spruce stems. *Biomass and bioenergy*, 2014, no. 71, pp. 216–227.  
DOI: 10.1016/j.biombioe.2014.10.005
- [119] Poyraz M.U., Mat A. The miracle bark Chinhona and malaria in the Ottoman Empire. XI National Conference on the History of Turkish Pharmacy 25–28 May 2014. Poster Session, Abstarct Lokman Hekim Journal, 2014, p. 60.
- [120] Kotina E.L., Van Wyk B.E., Tilney P.M. Anatomy of the leaf and bark of *Warburgia salutaris* (Canellaceae), an important medicinal plant from South Africa. *South African J. Botany*, 2014, no. 94, pp. 177–181.  
DOI: 10.1016/j.sajb.2014.06.008
- [121] Sarkar R., Chaudhary S.K., Sharma A., Yadav K.K., Nema N.K., Sekhoacha M., Karmakar S., Braga F.C., Matsabisa M.G., Mukherjee P.K., Sen T. Anti-biofilm activity of *Marula* — A study with the standardized bark extract. *J. Ethnopharmacology*, 2014, no. 154, pp. 170–175.  
DOI: 10.1016/j.jep.2014.03.067
- [122] Ponomarenko J., Trouillas P., Martin N., Dizhbite T., Krasilnikova J., Telysheva G. Elucidation of antioxidant properties of wood bark derived saturated diarylheptanoids: A comprehensive (DFT-supported) understanding. *Phytochemistry*, 2014, no. 103, pp. 178–187.  
DOI: 10.1016/j.phytochem.2014.03.010
- [123] Navid H., Laszczyk-Lauer M.N., Reichling J., Schnitzler P. Pentacyclic triterpenes in birch bark extract inhibit early step of herpes simplex virus type 1 replication. *Phytochemistry*, 2014, no. 21, pp. 1273–1280.  
DOI: 10.1016/j.phymed.2014.06.007
- [124] Kim Y.G., Lee J.H., Kim S. I., Baek K.H., Lee J. Cinnamon bark oil and its components inhibit biofilm formation and toxin production. *International J. Food Microbiology*, 2015, no. 195, pp. 30–39.  
DOI: 10.1016/j.ijfoodmicro.2014.11.028
- [125] Venkatesan T., Choi Y.W., Kim Y.K. The cytotoxic nature of *Acanthopanax sessiliflorus* stem bark extracts in human breast cancer cells. *Saudi J. Biological Sciences*, 2015, no. 22 (6), pp. 752–759. DOI: 10.1016/j.sjbs.2015.04.004
- [126] Gil L. Cork powder waste: an overview. *Biomass and Bioenergy*, 1997, no. 13 (1/2), pp. 59–61.  
DOI: 10.1016/S0961-9534(97)00033-0
- [127] Pecznik P., Körmendi P. (szerk.) *Hőenergia Gazdálkodás- biomassza Tüzelés* (Thermal energy management and biomass burning), FM Műszaki Int. 1997, Gödöllő, Hungary, 2002, pp. 23–39. (in Hungarian)
- [128] Kamikawa D., Kuroda K., Inoue M., Kubo S., Yoshida T. Evaluation of combustion properties of wood pellets using a cone calorimeter. *J. Wood Sciences*, 2009, no. 55, pp. 453–457. DOI: 10.1007/s10086-009-1061-1
- [129] Lehtikangas P. Quality properties of pelletised sawdust, logging residues and bark. *Biomass and Bioenergy*, 2001, no. 20, pp. 351–360.  
DOI: 10.1016/S0961-9534(00)00092-1
- [130] Filbakk T., Jirjis R., Nurmi J., Høibø O. The effect of bark content on quality parameters of Scots pine (*Pinus sylvestris* L.) pellets. *Biomass and bioenergy*, 2011, no. 35, pp. 3342–3349. DOI: 10.1016/j.biombioe.2010.09.011
- [131] Bittner A., Schneider A. Wertvoller Humus aus Rinde. *Holz- Zentralblatt*, 1975, no. 73–74, p. 956.
- [132] Blossfeld O. Einsatzmöglichkeiten für Rinden sind geklärt. Informationen für den Industriezweig Schnittholz und Holzwaren, 1977, no. 4, p. 319.

- [133] Nagy G., Novák Á., Osztrólczyk M. Zöld szerkezetek – Green Design. Budapest: Ybl Miklós Műszaki Főiskola, 1998, 168 p. (in Hungarian).
- [134] Whiting D., Wilson C., Moravec C., Reeder J. Mulching with Wood/Bark Chips, Grass Clippings, and Rock. Colorado Master Gardeners Program, Colorado State University Extension. Ft. Collins, CO, USA: Yard and Garden Publications, 2018, 614 p.
- [135] Береснев Р.С. Использование коры на удобрение // Деревообрабатывающая промышленность, 1975. № 12. С. 22–24. Beresnev R.S. *Ispol'zovanie kory na udobrenie* [The use of bark for fertilizer]. *Derevoobrabatyvayushchaya promyshlennost'* [Woodworking industry], 1975, no. 12, pp. 22–24.
- [136] Asztalos J. A fakéreghasznosítás irányzatai a szocialista országokban. *Faipar*, 1977, no. 27(8), pp. 239–244. (in Hungarian)
- [137] Asztalos J., Szabó P. A fakéreg hasznosítása Lengyelországban. *Faipar*, 1975, no. 25(12), pp. 363–366. (in Hungarian)
- [138] Ábri J., Gömöry P., Horváth A. Természetes eredetű növénykondicionáló készítmény és eljárás annak alkalmazására (Plant conditioning composition of natural origin and process for using it). Szabadalmi oltalom (Patent protection WO2010150034 A2), Budapest, 2010. (in Hungarian)
- [139] Labosky J.P., Holleman K.A., Dick J.W., So D.T. Utilization of bark residues as poultry litter. *Forest Products J.*, 1977, no. 1, pp. 28–32.
- [140] Дудкин М.С., Дарманьян П.М. Древесина и отходы ее переработки как кормовые продукты // Химия древесины, 1978. № 1. С. 3–17. Dudkin M.C., Darman'yan P.M. *Drevesina i otkhody ee pererabotki kak kormovyye produkty* [Wood and waste of its processing as feed products]. *Khimiya drevesiny* [Wood chemistry], 1978, no. 1, pp. 3–17.
- [141] Deppe H.J., Ernst K. Taschenbuch der Spanplatten-technik, DRW-Verlag, Stuttgart, Germany, 1977. 265 p. (in German)
- [142] Dost W.A. Redwood bark fiber in particleboard. *Forest Product J.*, 1971, no. 21(10), pp. 38–43.
- [143] Chen T.Y., Paulitsch M., Soto G. On the suitability of the biological surface mass from spruce thinnings as raw material for particleboard. *Holz Roh-Werkst*, 1972, no. 30(1), pp. 15–18. DOI: 10.1007/BF02615026
- [144] Gertjeansen R., Haygreen J.G. Effect of aspen bark from butt and upper logs on the physical properties of wafer-type and flake-type particleboards. *Forest Product J.*, 1973, no. 23(9), pp. 66–71.
- [145] Heebink B.G. Particleboards from Lodgepole Pine Forest Residue (Research Paper FPL 221), U.S. Department of Agriculture, Forest Products Laboratory, Madison, WI, USA, 1974, 16 p.
- [146] Lehmann W.F., Geimer R.L. Properties of structural particleboards from Douglas-fir forest residues. *Forest Product J.*, 1974, no. 24(10), pp. 17–25.
- [147] Anderson A.B., Wong A., Wu K.T. Utilization of white fir bark in particleboard. *Forest Products J.*, 1974, no. 24(1), pp. 51–54.
- [148] Anderson A.B., Wong A., Wu K.T. Utilization of white fir bark and its extract in particleboard. *Forest Products J.*, 1974, no. 24(7), pp. 40–45.
- [149] Anderson A.B., Wong A., Wu K.T. Utilization of Ponderosa pine bark and its extract in particleboard. *Forest Products J.*, 1974, no. 24(8), pp. 48–53.
- [150] Starecki A. Spanplatten aus Holz mit Rindenanteil. *Holztechnologie*, 1979, no. 20(2), pp. 108–111.
- [151] Muszynski Z., McNatt J.D. Investigations on the use of spruce bark in the manufacture of particleboard in Poland. *Forest Products J.*, 1984, no. 34(1), pp. 28–35.
- [152] Chow P., Nakayama F.S., Blahnik B., Youngquist J.A., Coffelt T.A. Chemical constituents and physical properties of guayule wood and bark. *Industrial Crops and Products*, 2008, no. 28, pp. 303–308. DOI: 10.1016/j.indcrop.2008.03.006
- [153] Blanchet P., Cloutier A., Riedl B. Particleboard made from hammer milled black spruce bark residues. *Wood Science and Technology*, 2000, no. 34(1), pp. 11–19. DOI: 10.1007/s002260050003
- [154] Kehr E. Untersuchungen zum Einfluss der Rinde bei der Verarbeitung unentrindeten Holzes in der Deckschicht von Spanplatten. *Holztechnologie*, 1979, no. 20, pp. 32–39.
- [155] Pedieu R., Riedl B., Pichette A. Properties of mixed particleboards based on white birch (*Betula papyrifera*) inner bark particles and reinforced with wood fibres. *European J. Wood and Wood Products*, 2009, no. 67(1), pp. 95–101. DOI: 10.1007/s00107-008-0297-6
- [156] Nemli G., Colakoglu G. Effects of Mimosa Bark Usage on Some Properties of Particleboard. *Turkish J. Agriculture and Forestry*, 2005, no. 29(3), pp. 227–230.
- [157] Miyazaki J., Hirabayashi Y. Effect of the addition of Acacia mangium bark on thermosetting of phenol-formaldehyde resin. *Wood Science and Technology*, 2011, no. 45(3), pp. 449–460. DOI: 10.1007/s00226-010-0342-6
- [158] Hoong Y.B., Paridah M.T., Loh Y.F., Jalaluddin H., Chuah L.A. A new source of natural adhesive: Acacia mangium bark extracts co-polymerized with phenol-formaldehyde (PF) for bonding Mempisang (*Annonaceae* spp.) veneers. *International J. Adhesion and Adhesives*, 2011, no. 31(3), pp. 164–167. DOI: 10.1016/j.ijadhadh.2010.12.002
- [159] Hoong Y.B., Paridah M.T., Luqman C.A., Koh M.P., Loh Y.F. Fortification of sulfited tannin from the bark of Acacia mangium with phenol-formaldehyde for use as plywood adhesive. *Industrial Crops and Products*, 2009, no. 30, pp. 416–421. DOI: 10.1016/j.indcrop.2009.07.012
- [160] Gupta G.K. Development of Bark-based Environmental-friendly Composite Panels. Master's thesis. Toronto, Canada: University of Toronto, 2009, 133 p.
- [161] Pedieu R., Riedl B., Pichette A. Properties of white birch (*Betula papyrifera*) outer bark particleboards with reinforcement of coarse wood particles in the core layer. *Annals of Forest Science*, 2008, no. 65(7), pp. 701. DOI: 10.1051/forest:2008053
- [162] Pedieu R., Riedl B., Pichette A. Physical and mechanical properties of panel based on outer bark of white birch: mixed panels with wood particles versus wood fibers. *Maderas. Ciencia y tecnología*, 2008, no. 10(3), pp. 195–206. DOI: 10.4067/S0718-221X2008000300003
- [163] Cheng X., Deng J., Zhang S.Y., Riedl B., Cloutier A. Impact of bark content on the properties of medium density fiberboard (MDF) in four species grown in eastern Canada. *Forest products*, 2006, no. 56(3), pp. 64–69.
- [164] Winkler A. A fakéreg struktúrájának és megfelelő fizikai-mechanikai tulajdonságú fakéreglapok gyárthatóságának kapcsolata (Connection of Tree Bark Structure and Mechanical and Physical Properties of Board Production). Diss. Ph.D., University of Forest and Wood Science, Sopron, Hungary, 1978. (in Hungarian)
- [165] Kain G., Barbu M.C., Teischinger A., Musso M., Petutschnigg A. Substantial Bark Use as Insulation Material. *Forest Products J.*, 2012, no. 62(6), pp. 480–487.
- [166] Kain G., Barbu M.C., Hinterreiter S., Richter K., Petutschnigg A. Using bark as a heat insulation material. *BioResources*, 2013, no. 8(3), pp. 3718–3731. DOI: 10.15376/biores.8.3.3718-3731

- [167] Kain G., Güttler V., Barbu M.C., Petutschnigg A., Richter K., Tondi G. Density related properties of bark insulation boards bonded with tannin hexamine resin. *European J. Wood and Wood Products*, 2014, no. 72(4), pp. 417–424. DOI: 10.1007/s00107-014-0798-4
- [168] Kain G., Heinzmann B., Barbu M.C., Petutschnigg A. Softwood bark for modern composites. *ProLigno*, 2013, no. 9(4), pp. 460–468.
- [169] Sato Y., Konishi T., Takahashi A. Development of insulation material using natural tree bark. *Transactions of the Materials Research Society of Japan*, 2004, no. 29(5), pp. 1937–1940.
- [170] Yemele M.C.N., Koubaa A., Cloutier A., Soullounganga P., Wolcott M. Effect of bark fiber content and size on the mechanical properties of bark/HDPE composites, Composites Part A. *Applied Science and Manufacturing*, 2010, no. 41(1), pp. 131–137. DOI: 10.1016/j.compositesa.2009.06.005
- [171] Castro O., Silva J. M., Devezas T., Silva A., Gil L. Cork agglomerates as an ideal core material in lightweight structures. *Materials and Design*, 2010, no. 31, pp. 425–432. DOI: 10.1016/j.matdes.2009.05.039
- [172] Hernández-Olivares F., Bollati M.R., del Rio M., Parga-Landa B. Development of cork-gypsum composites for building applications. *Construction and Building Materials*, 1999, no. 13, pp. 179–186. DOI: 10.1016/S0950-0618(99)00021-5
- [173] Руденко Б.Д. Влияние состава на формирование свойств плит из коры и вторичного полиэтилена // Вестник Московского государственного университета леса – Лесной вестник, 2010. № (4). С. 151–154. Rudenko B.D. *Vliyanie sostava na formirovanie svoystv plit iz kory i vtorichnogo polietilena* [Influence of composition on formation of properties of plates made of bark and secondary polyethylene]. *Moscow state forest university bulletin – Lesnoy vestnik*, 2010, no. 4, pp. 151–154.
- [174] Vajda B. Parafa az építőiparban (Cork in the building industry), 2006. Available at: <http://fenntarthato.hu/> (accessed 05.02.2019). (in Hungarian)
- [175] Raymund R. A fakéreg («The treebark»). *A Természet*, 1940, no. 36(1), pp. 2–5. (in Hungarian)
- [176] Şen A., Isabel Miranda I., Santos S., Graça J., Pereira H. The chemical composition of cork and phloem in the rhytidome of *Quercus cerris* bark. *Industrial Crops and Products*, 2010, no. 31(2), pp. 417–422. DOI: 10.1016/j.indcrop.2010.01.002
- [177] Şen A., Quilhó T., Pereira H. The cellular structure of cork from *Quercus cerris* var. *cerris* bark in a materials' perspective. *Industrial Crops and Products*, 2011, no. 34(1), pp. 929–936. DOI: 10.1016/j.indcrop.2011.02.015
- [178] Oramahi H. A., Diba F. Maximizing the Production of Liquid Smoke from Bark of Durio by Studying Its Potential Compounds. *Procedia Environmental Sciences*, 2013, no. 17, pp. 60–69. DOI: 10.1016/j.proenv.2013.02.012
- [179] Şensöz S. Slow pyrolysis of wood barks from *Pinus brutia* Ten. and product compositions. *Bioresource Technology*, 2003, no. 89, pp. 307–311. DOI: 10.1016/S0960-8524(03)00059-2
- [180] Venter P.B., Senekal N.D., Kemp G., Amra-Jordaan M., Khan P., Bonnet S.L., van der Westhuizen J.H. Analysis of commercial proanthocyanidins. Part 3: The chemical composition of wattle (*Acacia mearnsii*) bark extract. *Phytochemistry*, 2012, no. 83, pp. 153–167. DOI: 10.1016/j.phytochem.2012.07.012
- [181] Anderson A.B., Wong A., Wu K.T. Douglas-Fir and Western Hemlock Bark Extracts as Bonding Agents for Particleboard. *Forest Products J.*, 1975, no. 25(3), pp. 45–48.
- [182] Saayman H.M., Oatley J.A. Wood adhesives from wattle bark extract. *Forest Products J.*, 1976, no. 26(11–12), pp. 27–33.
- [183] Судакова И.Г., Иванов И.П., Иванченко Н.М., Кузнецов Б.Н. Защитные составы для древесины на основе суберина коры березы // Химия растительного сырья, 2005. № 1. С. 59–63. Sudakova I.G., Ivanov I.P., Ivanchenko N.M., Kuznetsov B.N. *Zashchitnye sostavy dlya drevesiny na osnove suberina kory berezy* [Protective compositions for wood on the basis of the suberin of birch bark]. *Khimiya rastitel'nogo syr'ya* [Chemistry of plant raw material], 2005, no. 1, pp. 59–63.
- [184] Schweizer G. Versuche zur Optimierung der Schlammentwässerung und zur Verwertung von Rinde und Schlamm in der Ziegelindustrie. *Wochenblatt für Papierfabrikation*, 1975, no. 22, pp. 833–839.
- [185] Schweizer G., Meigel P. Über die Verwertung von Entzündungsabfall als Porosierungstoff in der Ziegelindustrie. *Das Papier*, 1977, no. 10A, V27–V32.
- [186] Liversidge R.M., Murray M.H. Possible use of sawdust in clay building bricks should help many sawmillers. *Australian Forest Industries*, 1977, no. 43(2), pp. 48–49.
- [187] Oldrich D. Eljárás fűzfavessző kéreg hasznosítására (Method for the use of willow bark), 1911. (in Hungarian)
- [188] Schneider A., Baums A. *Wohin mit der Rinde?* DRW-Verlag GmbH, Stuttgart, Germany, 1970, 52 p.
- [189] Randall J.M., Hautala E., Waiss C.A., Tschernitz J.L. Modified barks as scavengers for heavy metal ions. *Forest Products J.*, 1976, no. 26, pp. 46–50.
- [190] Patnukao P., Pavasant P. Activated carbon from *Eucalyptus camaldulensis* Dehn bark using phosphoric acid activation. *Bioresource Technology*, 2008, no. 99(17), pp. 8540–8543. DOI: 10.1016/j.biortech.2006.10.049
- [191] Palma G., Freer J., Baeza J. Removal of metal ions by modified *Pinus radiata* bark and tannins from water solutions. *Water Research*, 2003, no. 37, pp. 4974–4980. DOI: 10.1016/j.watres.2003.08.008
- [192] Salem N.M., Awwad A.M. Biosorption of Ni(II) from electroplating wastewater by modified (*Eriobotrya japonica*) loquat bark. *J. Saudi Chemical Society*, 2014, no. 18(5), pp. 379–386. DOI: 10.1016/j.jscs.2011.07.008
- [193] Kafle G.K., Chen L., Neibling H., He B.B. Field evaluation of wood bark-based down-flow biofilters for mitigation of odor, ammonia, and hydrogen sulfide emissions from confined swine nursery barns. *J. Environmental Management*, 2015, no. 147, pp. 164–174. DOI: 10.1016/j.jenvman.2014.09.004
- [194] Cutillas-Barreiro L., Ansias-Manso L., Fernández-Calvino D., Arias-Estévez M., Nóvoa-Munoz J. C., Fernández-Sanjurjo M. J., Alvarez-Rodríguez E., Núñez-Delgado A. Pine bark as bio-adsorbent for Cd, Cu, Ni, Pb and Zn: Batch-type and stirred flow chamber experiments. *J. Environmental Management*, 2014, no. 144, pp. 258–264. DOI: 10.1016/j.jenvman.2014.06.008
- [195] Vajda M. Kezelt fakéreg lipidek eltávolítására vízből (Treated tree bark for removal of lipids from water). *Környezetvédelem- információs folyóirat*, 2002, BME-OMIKK 17–18, pp. 61–70. (in Hungarian)
- [196] Семенович А.В., Лоскутов С.Р., Пермьякова Г.В. Сбор проливов нефтепродуктов модифицированной корой хвойных пород // Химия растительного сырья, 2008. № 2. С. 113–118. Semenovich A.V., Loskutov S.R., Permyakova G.V. *Sbor prolivov nefteproduktov modifitsirovannoy koroy khvoynykh porod* [Collection of oil spills by modified bark of coniferous]. *Khimiya rastitel'nogo syr'ya* [Chemistry of plant raw material], 2008, no. 2, pp. 113–118.

- [197] Семенович А.В., Лоскутов С.Р. Кора хвойных пород — перспективное сырье для изготовления сорбентов различного назначения // Биотехнология и общество в XXI веке: Сб. статей Междунар. науч.-практ. конф., Барнаул, 15–18 сентября 2015 г. Барнаул: Изд-во Алтайского гос. ун-та, 2015. С. 269–272. Semenovich A.V., Loskutov S.R. *Kora khvoynykh porod — perspektivnoe syr'e dlya izgotovleniya sorbentov razlichnogo naznacheniya* [The bark of coniferous trees is a promising raw material for the manufacture of various sorbents]. *Biotechnologiya i obshchestvo v XXI veke: Sbornik statey Mezhd. nauch.-prakt. conf.*, 15–18 sentyabrya 2015 g., Barnaul [Biotechnology and Society in the XXI century: Proc. of Int. scien. pract. conf.]. Barnaul: Altai State University, 2015, pp. 269–272.
- [198] Andres Y., Dumont E., Le Cloirec P., Ramirez-Lopez E. Wood bark as packing material in a biofilter used for air treatment. *Environmental Technology*, 2006, no. 27(12), pp. 1297–1301. DOI: 10.1080/09593332708618747
- [199] Valentin L., Kluczek-Turpeinen B., Willför S., Hemming J., Hatakka A., Steffen K., Tuomela M. Scots pine (*Pinus sylvestris*) bark composition and degradation by fungi: Potential substrate for bioremediation. *Bioresource Technology*, 2010, no. 101(7), pp. 2203–2209. DOI: 10.1016/j.biortech.2009.11.052
- [200] Cordeiro N., Belgacem M.N., Gandini A., Neto C.P. Urethanes and polyurethanes from suberin: I. Kinetic study. *Industrial Crops and Products*, 1997, no. 6, pp. 163–167. DOI: 10.1016/S0926-6690(96)00212-9
- [201] García D.E., Glasser W.G., Pizzi A., Paczkowski S., Laborie M.P. Hydroxypropyl tannin from *Pinus pinaster* bark as polyol source in urethane chemistry. *European Polymer J.*, 2015, no. 67, pp. 152–165. DOI: 10.1016/j.eurpolymj.2015.03.039
- [202] Muñoz F., Ballerini A., Gacitúa W. Variability of physical, morphological and thermal properties of *Eucalyptus nitens* bark fiber. *Maderas Ciencia y Tecnología*, 2013, no. 15(1), pp. 17–30. DOI: 10.4067/S0718-221X2013005000002
- [203] Макарычев С.В. Теплофизические свойства термопластов, изготовленных на основе древесины из отходов лесной промышленности // Вестник Алтайского государственного аграрного университета, 2015. № 6 (128). С. 139–142. Makarychev S.V. *Teplofizicheskie svoystva termoplastov, izgotovlennykh na osnove drevesiny iz otkhodov lesnoy promyshlennosti* [Thermophysical properties of thermoplastics made on the basis of wood wastes]. *Vestnik Altayskogo gosudarstvennogo agramogo universiteta* [Altai State Agricultural University bulletin], 2015, no. 6 (128), pp. 139–142.
- [204] Heinämäki J., Halenius A., Paavo M., Alakurtti S., Pitkänen P., Pirttimaa M., Paaver U., Kirsimäe K., Kogermann K., Yliruusi J. Suberin fatty acids isolated from outer birch bark improve moisture barrier properties of cellulose ether films intended for tablet coatings. *International J. Pharmaceutics*, 2015, no. 489(1–2), pp. 91–99. DOI: 10.1016/j.ijpharm.2015.04.066
- [205] Li D., Wang W., Tian F., Liao W., Ba C.J. The oldest bark cloth beater in southern China (Dingmo, Bubing basin, Guangxi). *Quaternary International*, 2014, no. 354, pp. 184–189. DOI: 10.1016/j.quaint.2014.06.062
- [206] Robertson L. Rethinking material culture: Ugandan bark cloth. *Proceedings of Textile Society of America Symposium, 14th Biennial Symposium, September 10–14, 2014, Los Angeles, USA, Paper 897*. Available at: <http://digitalcommons.unl.edu/tsaconf/897> (accessed 05.02.2019).
- [207] Östlund L., Ahlberg L., Zackrisson O., Bergman I., Arno S. Bark-peeling, food stress and tree spirits – The use of pine inner bark for food in Scandinavia and North America. *J. Ethnobiology*, 2009, no. 29(1), pp. 94–112. DOI: 10.2993/0278-0771-29.1.94
- [208] Szatyor Gy. *Famüvesség (Wood skills)*. Budapest, Hungary: Mezőgazdasági Kiadó, 1986, 166 p. (in Hungarian)

## Сведения об авторах

**Пастори Золтан** — Ph.D, директор Инновационного центра, Шопронский университет, г. Шопрон, Венгрия, [pasztory.zoltan@uni-sopron.hu](mailto:pasztory.zoltan@uni-sopron.hu)

**Горбачева Галина Александровна** — канд. техн. наук, доцент кафедры древесиноведения и технологии деревообработки, МГТУ им. Н.Э. Баумана (Мытищинский филиал), [gorbacheva@bmstu.ru](mailto:gorbacheva@bmstu.ru)

**Санаев Виктор Георгиевич** — д-р техн. наук, профессор, заведующий кафедрой древесиноведения и технологии деревообработки, директор Мытищинского филиала МГТУ им. Н.Э. Баумана, [rector@mgul.ac.ru](mailto:rector@mgul.ac.ru)

**Мохачине Ильдико Ронец** — Ph.D, исследователь Инновационного центра, Шопронский университет, г. Шопрон, Венгрия, [ildiko.ronyecz@gmail.com](mailto:ildiko.ronyecz@gmail.com)

**Борчок Золтан** — Ph.D, исследователь Инновационного центра, Шопронский университет, г. Шопрон, Венгрия, [borcsok.zoltan@uni-sopron.hu](mailto:borcsok.zoltan@uni-sopron.hu)

Поступила в редакцию 15.06.2020.

Принята к публикации 02.07.2020.

## STATE AND PROSPECTS OF TREE BARK USE

Z. Pásztor<sup>1</sup>, G.A. Gorbacheva<sup>2</sup>, V.G. Sanaev<sup>2</sup>, I.R. Mohácsiné<sup>1</sup>, Z. Börcsök<sup>1</sup>

<sup>1</sup>University of Sopron, Innovation Center, 4, Bajcsy-Zsilinszky utca, 9400, Sopron, Hungary

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

gorbacheva@bmstu.ru

The tree bark has been used by mankind for centuries in various ways. The bark has special structure and chemical components, and it is used mostly among the natural raw materials. The bark has numerous functions during the lifespan of the plant, while itself is also changing due to its age. The outer bark is very diverse, depending on the species, the age and ecological factors. Between 3 and 4 hundred thousand cubic meter bark is produced yearly by forestry and woodworking industry, which is utilized in many ways, most of the bark is still burned. The article provides a literature review in the field of studies of the structure, properties, traditional and modern methods of using tree bark. After a short anatomical review, the protective role of bark for a living tree, the use of bark as an indicator of environmental pollution are discussed. Physical properties, chemical composition of the bark, debarking methods are considered. The complex chemical composition, wide variety of secondary metabolites, the physical and mechanical properties of the bark make it possible to use bark in medicine, the energy sector, agriculture and various fields of industry. The chemical exploration of the bark and producing different compounds from it, the production of particle and fiber boards based on bark, heat-insulating boards, composite materials, and water and gas clarification are increasingly comes to the front and becoming the most perspective areas of application of tree bark as a unique natural material and a renewable resource representing huge potential for use in various fields of human life.

**Keywords:** tree bark, structure and properties of tree bark, methods of tree bark utilization

**Suggested citation:** Pásztor Z., Gorbacheva G.A., Sanaev V.G., Mohácsiné I.R., Börcsök Z. *Sostoyanie i perspektivy ispol'zovaniya drevesnoy kory* [State and prospects of tree bark use]. *Lesnoy vestnik / Forestry Bulletin*, 2020, vol. 24, no. 5, pp. 74–88. DOI: 10.18698/2542-1468-2020-5-74-88

### Authors' information

**Pásztor Zoltán** — Ph.D, Director of Innovation Center, University of Sopron, Sopron, Hungary, pasztor.zoltan@uni-sopron.hu

**Gorbacheva Galina Aleksandrovna** — Cand. Sci. (Tech.), Associate Professor of Department of Wood Science and Technology of the BMSTU (Mytishchi branch), gorbacheva@bmstu.ru

**Sanaev Victor Georgievich** — Dr. Sci. (Tech.), Professor, Head of Department of Wood Science and Technology, Director of Mytishchi Branch of the BMSTU, rector@mgul.ac.ru

**Mohácsiné Ildikó Ronyecz** — Ph.D, Researcher of Innovation Center, University of Sopron, Sopron, Hungary, ildiko.ronyecz@gmail.com.

**Zoltán Börcsök** — Ph.D, Researcher of Innovation Center, University of Sopron, Sopron, Hungary, borcsok.zoltan@uni-sopron.hu

Received 15.06.2020.

Accepted for publication 02.07.2020.

**МИКОЛИЗ ДРЕВЕСИНЫ, ЕГО ПРОДУКТЫ И ИХ ИСПОЛЬЗОВАНИЕ****II. БИОЛОГО-МОРФОЛОГИЧЕСКИЕ ПРОЦЕССЫ****МИКОЛОГИЧЕСКОГО РАЗРУШЕНИЯ ДРЕВЕСИНЫ****Г.Н. Кононов, А.Н. Веревкин, Ю.В. Сердюкова, В.Д. Зайцев**

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

kononov@mgul.ac.ru

Рассмотрены некоторые вопросы биологии дереворазрушающих грибов: питание, рост, размножение и развитие как ксилофитов. Приведена классификация гнилей, образованных действием дереворазрушающих грибов по месту их расположения в древесном растении и по характеру разрушения древесины. Даны характеристики стадий микологического разрушения древесины с точки зрения изменения ее морфологии. Показано влияние изменения макро-структуры микологически разрушенной древесины на ее физические свойства.

**Ключевые слова:** грибы-паразиты, сапрофиты, споры, гифы, мицелий, бурая, белая, пестрая гнили

**Ссылка для цитирования:** Кононов Г.Н., Веревкин А.Н., Сердюкова Ю.В., Зайцев В.Д. Миколиз древесины, его продукты и их использование. II. Биолого-морфологические процессы микологического разрушения древесины // Лесной вестник / Forestry Bulletin, 2020. Т. 24. № 5. С. 89–96.

DOI: 10.18698/2542-1468-2020-5-89-96

**В**се грибы, в том числе дереворазрушающие, не являются фотосинтезирующими организмами, поэтому для их жизнедеятельности необходимы питательные вещества. Вещества, обеспечивающие развитие всех видов дереворазрушающих грибов, находятся непосредственно в древесине — это олигомерные компоненты лигно-углеводного комплекса, образующие клеточную стенку прозенхимных клеток, крахмал, низкомолекулярные сахара и другие соединения, содержащиеся в вакуолях паренхимных клеток. Полисахариды и лигнин клеточных стенок непригодны для питания грибов, но с помощью ферментов, выделяемых гифами грибов, они превращаются в низкомолекулярные растворимые и легкоусвояемые соединения [1].

Для оптимального развития большинства грибов влагосодержание древесины должно быть значительно выше точки насыщения волокна. При низком влагосодержании развитие грибов сильно замедляется, а при его значении ниже 20 % полностью прекращается. Гриб может оставаться в состоянии покоя некоторое время, однако при восстановлении необходимого для его развития влагосодержания древесины он «оживает». Иногда состояние покоя грибов может измеряться десятилетиями.

Для развития дереворазрушающих грибов необходим доступ воздуха, причем в количестве не менее 20 % объема древесины. Установлена зависимость между количеством воздуха и воды в древесине и ее восприимчивостью к миколизу. Так, в древесине, полностью насыщенной водой и при отсутствии воздуха, грибы не развиваются. Это характерно для затопленной и находящейся глубоко в земле древесины. Вследствие недостат-

ка воздуха древесина затопленных свайных оснований, поддерживающих каменные фундаменты мостов и зданий, не поражается грибами и служит сотни лет. Не разрушается древесина грибами также и в процессе ее «морения» [2].

Оптимальная температура для развития большинства грибов составляет от 20 до 36 °С. При влажности воздуха 100 % большинство грибов гибнет, как и при температуре от 50 до 70 °С, а в сухом воздухе эта температура может даже превышать 100 °С. При низких значениях температуры деятельность грибов сильно замедляется, а при температуре ниже –5 °С они погибают. Тем не менее, вследствие низкой теплопроводности древесины грибной мицелий, находящийся в ее толще, не погибает при более низких значениях температуры.

Заболонь у большинства древесных пород более восприимчива к гниению, в отличие от ядра, достаточно стойкого к такому разрушению. Большая природная стойкость ядра объясняется химическими изменениями, которые протекают в древесине и связаны с переходом заболони в ядро, т. е. отмиранием протоплазмы паренхимных клеток с образованием экстрактивных веществ, токсичных по отношению к грибам, и их накоплением в ядровой древесине. К таким веществам относятся различные компоненты эфирных масел, терпены, танины и другие соединения. В случае отсутствия таких соединений микологическому разрушению подвержено и ядро [3].

**Цель работы**

Цель работы — анализ морфологических изменений древесины при ее микологическом

разрушении вследствие биологических особенностей дереворазрушающих грибов и влияния их деятельности на физические свойства древесины.

## Материалы и методы

Споры грибов, попадая на поверхность древесины, при благоприятных условиях прорастают, наружная оболочка споры разрывается и из споры начинает расти гифа, которая быстро и обильно разветвляется и образует очень тонкий первичный мицелий, состоящий из тонкостенных гиф, содержащих многочисленные отдельные клетки, как правило, с одним ядром.

При встрече вершинных клеток двух первичных мицелиев, возникших из разных спор, осуществляется их слияние. Появляется вторичный мицелий, все клетки которого имеют по два ядра, являющийся собственно вегетативной стадией всех базидиальных грибов, к которым относится большинство дереворазрушающих грибов (рис. 1) [4].

Вторичный мицелий бывает двух типов: глубинный и поверхностный. Глубинный мицелий, проникающий вглубь древесины, откуда он получает необходимые элементы питания, состоит из тонкостенных морфологически не отличающихся друг от друга гиф с большим содержанием цитоплазмы.

Поверхностный мицелий состоит обычно из более широких и толстостенных гиф, он разрастается на поверхности древесины, распространяясь по все большей площади. Из гиф поверхностного мицелия могут возникать жгутовидные образования — ризоморфы или кожистые пленки — сирроции, образующиеся не только на поверхности, но и под корой, а также в трещинах древесины (рис. 2) [5].

Плодовые тела грибов образуются плотным сплетением гиф вторичного мицелия. У плодовых тел базидиомицетов, обычно на их нижней стороне, гифы образуют особый слой — гименофор, в котором они булавовидно заканчиваются и превращаются в так называемые базидии. В виде исключения гименофор может возникнуть на верхней стороне плодового тела. На базидиях образуются базидиоспоры, обычно четыре, реже две, сидящие на стеригмах (стволиках).

После созревания от гименофора отделяется большое количество спор. Так, домовый гриб (*Merulius lacrymans*), отличающийся особенно обильным спорообразованием, выделяет в течение нескольких дней с каждого квадратного сантиметра гименофора в среднем 6000 спор ежеминутно. Жизнеспособность спор неодинакова. Виды рода *Stereum* сохраняют способность прорастания спор только в течение нескольких недель, тогда как споры домового гриба (*Merulius lacrymans*) остаются живыми в течение трех лет [5].

Распространение спор осуществляется с помощью ветра, насекомых и других факторов. В лесных насаждениях споры разносятся также дождем. На ветвях и листьях деревьев всегда много грибных спор. На одной сосновой хвоинке было обнаружено 85 спор разных видов грибов. В течение одного года количество и видовой состав спор изменяются, что зависит также и от санитарного состояния леса.

Грибы-сапрофиты заражают мертвую древесину. Местами для проникновения грибной инфекции в срубленные деревья являются торцы стволов и раны после обрубки сучьев; у окоренных бревен, как и у пиломатериалов, заражение возможно по всей поверхности.

Для грибов-паразитов или сапрофитов, которые заражают и растущие деревья, должен быть открыт путь внутрь ствола. Споры могут проникать в древесину через раны, остающиеся после отмирания и обрубки сучьев, обдиры коры, повреждения корней и пр. Способ заражения может быть пассивным — с помощью ветра, воды и т. п. или активным — насекомыми, иными представителями животного мира [5].

## Результаты и их обсуждение

В зависимости от места проникновения спор дереворазрушающих грибов в древесину гнили подразделяются на корневые, стволовые и вершинные (рис. 3).

Корневые (комлевые) гнили возникают в корнях и могут доходить до комля дерева. Они представляют непосредственную опасность для жизни древесного растения, нанося биологический вред, способствуя распаду древостоев и образованию очагов микологического заражения леса [7].

Стволовые гнили появляются и распространяются либо в срединной, либо в комлевой части ствола. Из комля гниль нередко переходит в корни. Стволовые гнили причиняют наибольший технический вред, увеличивая количество некондиционной древесины.

Вершинные гнили возникают в вершинной части ствола или в пределах кроны, позднее распространяясь вниз по стволу. Они не представляют серьезной угрозы для жизни дерева и мало влияют на выход деловой древесины.

На поперечном разрезе ствола различают: ядровые, или центральные, заболонные, или периферические, и ядрово-заболонные, или смешанные гнили.

В зависимости от особенностей процесса микологического разрушения древесины выделяют два его основных типа: деструктивный и коррозионный.

Деструктивный тип микологического разрушения вызывают целлюлозоразрушающие грибы, в результате образуется бурая гниль. Вследствие

изменения объема древесины, пораженная грибами бурой гнили, растрескивается, иногда распадается на отдельные призматические фрагменты, становится хрупкой, крошится и даже растирается в порошок.

Коррозионный тип микологического разрушения вызывают лигнинразрушающие грибы, в результате образуется белая гниль. Миколиз сопровождается формированием многочисленных отверстий, которые проделывают гифы гриба в клеточных стенках. Поэтому в древесине можно заметить пустоты в виде ямок, «чечевиц» и отверстий. На внутренней стороне ямок возникают выцветы или белые пятна целлюлозы. Объем древесины при этом типе разрушения практически не уменьшается, но резко снижается ее плотность, она сохраняет определенную пластичность и может расщепляться на волокна [8].

Встречается и смешанный тип гниения — коррозионно-деструктивный, когда ферментативный аппарат грибов в равной мере направлен на разрушение и углеводов, и лигнинных комплексов, когда образуется пестрая (сетчатая) гниль.

Каждому типу микологического разрушения характерна определенная окраска: при его деструктивном типе наиболее часто наблюдается бурая, красновато-коричневая, темно-коричневая (бурая гниль) окраска разрушаемой древесины; при коррозионном — светло-желтая, мраморная, белая (белая гниль), при коррозионно-деструктивном — светло-коричневая (пестрая гниль).

Миколиз древесины сопровождается изменением ее анатомического строения и физических свойств. Для деструктивного типа характерна призматическая, кубическая, трещиноватая, порошкообразная и пылевидная (бурая гниль) структура гнилей; при коррозионном типе образуется ямчатая, волокнистая, ямчато-волокнистая структура (белая гниль), при коррозионно-деструктивном — ситовидная структура (пестрая гниль) [9, 10].

Коррозионную гниль в основном вызывают грибы-паразиты, а деструктивную — грибы-сапрофиты.

В зависимости от глубины процесса различают три основные стадии микологического разрушения древесины:

I) *начальную*, которая характеризуется появлением цветных пятен и полос, при этом первоначальную структуру и прочность древесины сохраняет, изменяется только ее цвет, чаще всего в сторону потемнения, причем пронизывают древесину гифы грибов; диагностика гнили на этой стадии затруднена;

II) *развитую*, которая характеризуется появлением видимых нарушений в структуре: пятен, полос, иногда черных извилистых линий; в клет-



Рис. 1. Гифы вторичного мицелия в пестрой гнили ели  
Fig. 1. Hyphae of surface mycelium in mottled rot of spruce

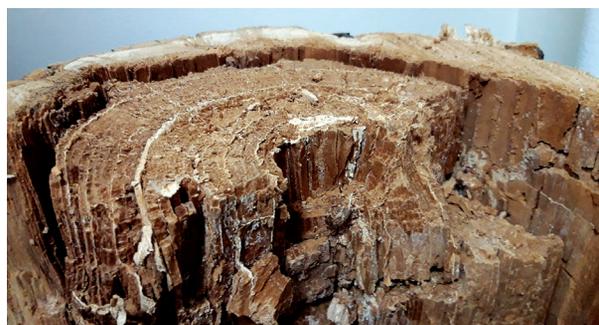


Рис. 2. Сироции в бурой гнили ясеня  
Fig. 2. Syrocy in the rot of ash

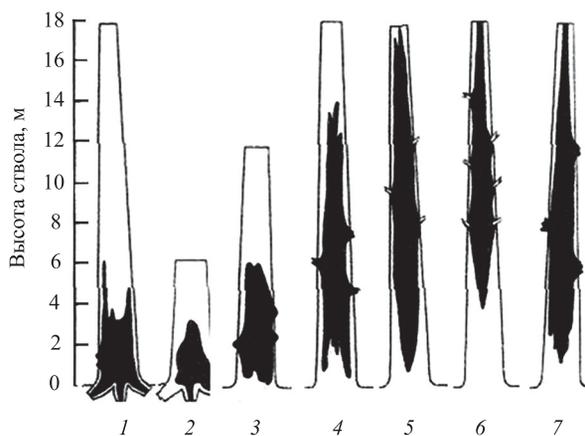


Рис. 3. Расположение корневых (1–3), стволовых (4, 5) и вершинных (6, 7) гнилей по высоте ствола

Fig. 3. Location of root (1–3), stem (4, 5) and apical (6, 7) rot along the height of the trunk

ках — обильным скоплением гиф, в клеточных стенках — увеличением числа мелких пустот; древесина еще сохраняет определенную твердость, хотя ее плотность и механические свойства уже сильно снижены;

III) *конечную*, характеризующуюся появлением мягкости и хрупкости, полной потери нормальной прочности; древесина приобретает характерный для гнили того или иного типа внешний вид и структуру, ее легко можно измельчать до волокна или порошка (рис. 4–6) [8].

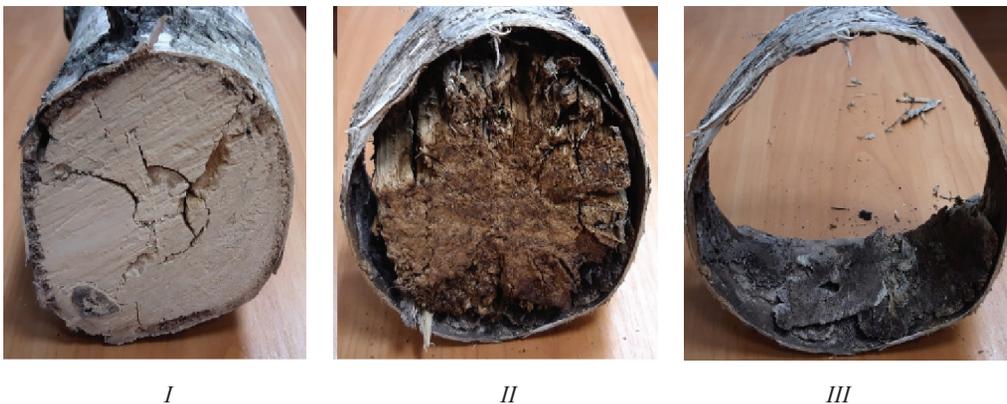


Рис. 4. Начальная (I), развитая (II) и конечная (III) стадии развития бурой гнили березы  
 Fig. 4. Initial (I), developed (II) and final (III) stages of development of the brown rot of birch



Рис. 5. Начальная (I), развитая (II) и конечная (III) стадии развития белой гнили березы  
 Fig. 5. Initial (I), developed (II) and final (III) stages of development of the white rot of birch



Рис. 6. Начальная (I), развитая (II) и конечная (III) стадии развития пестрой гнили ели  
 Fig. 6. Initial (I), developed (II) and final (III) stages of development of the motley rot of spruce

Все изменения физических свойств древесины под действием дереворазрушающих грибов обусловлены прежде всего изменением ее морфологии, объема и массы в процессе разложения, причем уменьшение массы не пропорционально уменьшению ее объема.

На рис. 7 приведена взаимосвязь между изменением объема сухой древесины березы, подвергнутой воздействию целлюлозоразрушающего *Coniophora puteana* (бурая гниль) и лигнинраз-

рушающего грибов *Trametes versicolor* (белая гниль), и ее степенью разложения. В отличие от целлюлозоразрушающих лигнинразрушающие грибы не вызывают уменьшения объема пораженной древесины, который в процессе миколиза даже несколько увеличивается за счет разрыхления структуры. В связи с этим лигнинразрушающие грибы заметно снижают плотность древесины, образуя большое количество внутренних полостей и каналов [11].

Развитие в древесине гнилей, приводящее к ее морфологическим и структурным изменениям, потере массы и снижению плотности, определяет и ее новые механические характеристики. При этом от типа микологического разрушения зависит характер изменения и других физических свойств древесины (см. рис. 7).

С уменьшением остаточной плотности снижаются механические характеристики древесины, причем ее прочность падает значительно быстрее, чем плотность.

На рис. 8 представлены зависимости, характеризующие снижение прочности на изгиб древесины березы, подвергшейся разложению грибами бурой и белой гнили. При 35%-м разложении древесины лигноразрушающим грибом *Trametes hirsute* (белая гниль) прочность образцов падает примерно на 30 %, а при такой же степени разложения целлюлозоразрушающим грибом *Piptoporus betulinus* (бурая гниль) — на 80 %. Характер уменьшения твердости древесины березы под действием тех же дереворазрушающих грибов представлен на рис. 9 [12].

Динамика снижения твердости древесины в этом случае также существенно различается. На начальном этапе разложения лигнинразрушающий гриб (белая гниль) способствует значительному снижению твердости за счет образования в древесине полостей, снижения доли лигнина и объемной массы древесины. При потере 10 % массы в этом случае твердость уменьшается примерно на одну треть. Целлюлозоразрушающий гриб (бурая гниль) на такой стадии разрушения практически не снижает твердость древесины, так как целлюлозный каркас еще практически не затронут, поскольку расщепляется в основном гемицеллюлозная часть. После того как целлюлоза значительно деполимеризована и потеря массы древесины составляет около 20 %, твердость ее уменьшается даже больше, чем под воздействием лигнинразрушающего гриба [13–15].

Однако наблюдались такие случаи, когда древесина на первой стадии разложения под влиянием грибов становилась тверже и прочнее. Это, как правило, связано со вторичными явлениями, сопровождающими разложение. Так, например, заражение типичным лигнинразрушающим грибом *Phellinus pini* главным образом сосны и ели, сопровождается мощным смоловыделением в пораженные участки дерева. Смола, пропитывающая древесину, придает ей повышенную прочность, но структура древесины при этом такая же, как и в любой другой зоне поражения. Такое повышение прочности и твердости древесины является следствием защитной реакции древесного растения от действия дереворазрушающего гриба [16–18].

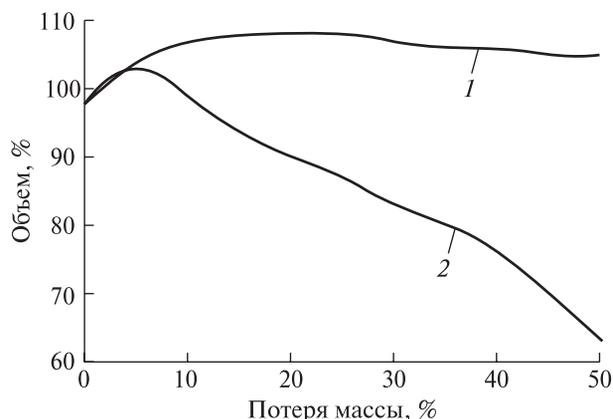


Рис. 7. Изменение объема древесины березы при разрушении грибами белой (1) и бурой (2) гнили

Fig. 7. Change in the volume of birch wood during destruction by mushrooms of white rot (1) and brown rot (2)

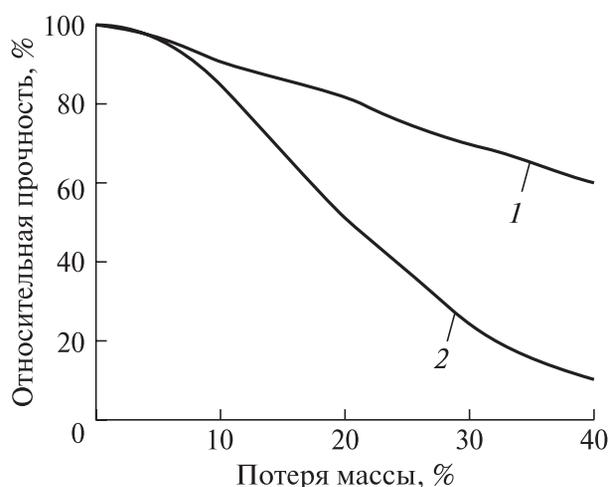


Рис. 8. Изменение прочности на изгиб древесины березы при разрушении грибами белой (1) и бурой (2) гнили

Fig. 8. Change in the bending strength of birch wood during destruction by mushrooms of white rot (1) and brown rot (2)

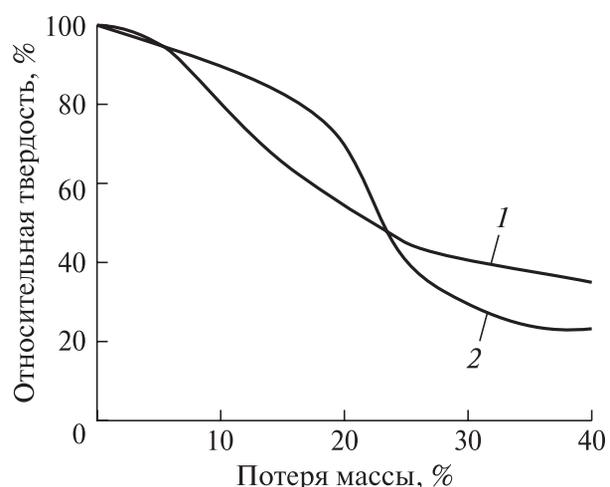


Рис. 9. Изменение твердости древесины березы при разложении грибами белой (1) и бурой (2) гнили

Fig. 9. Change in hardness of birch wood during decomposition by mushrooms of white rot (1) and brown rot (2)

**Изменения водопоглощения древесины березы, зараженной лигнинразрушающим грибом *Trametes versicolor* (белая гниль), в зависимости от потери массы**

Changes in water absorption of birch wood infected with lignin by the destructive fungus *Trametes versicolor* (white rot)

Потеря массы древесины, %	Водопоглощение, %
6	119
11	129
17	153
25	173
30	180
34	209
42	231
47	258

Изменения структуры, вызванные деятельностью грибов, влияют также на набухание и водопоглощение древесины. Водопоглощение увеличивается в процессе разложения у древесины, разлагаемой и целлюлозразрушающими, и лигнинразрушающими грибами, но во втором случае это происходит интенсивнее (таблица) [19].

Поэтому при разложении древесины в природе постоянно увеличивается ее влагосодержание. Исследования показали, что абсолютная влажность пней через год после рубки (в летние месяцы) в среднем составляла 62 % (42...86 %), тогда как этот показатель для древесины пней шестилетней давности при разной степени разложения составлял в среднем 210 % (166...390 %).

Исходя из изложенного выше, древесина, пораженная белой гнилью, за счет деятельности лигнинразрушающих грибов, и вследствие снижения своих физико-механических характеристик, может быть использована в качестве конструкционного или поделочного материала с «мраморным» рисунком для изготовления декоративных изделий и мебели, только на ранних стадиях разрушения, а на поздних — в качестве волокнистого полуфабриката и химического сырья. Древесина же, пораженная бурой гнилью, за счет деятельности целлюлозоразрушающих грибов может быть использована даже на ранних стадиях разрушения как источник полупродуктов [20].

## Выводы

1. Процесс микологического разрушения древесины, зависящий от вида ксилофита, приводит к образованию гнилей разных типов.

2. Стадии миколиза приводят к коренному изменению морфологии древесины.

3. Глубина микологического разрушения древесины в разной степени связана с изменением ее физических свойств.

## Список литературы

- [1] Рипачек В. Биология дереворазрушающих грибов. М.: Лесная пром-сть, 1967. 276 с.
- [2] Беккер З.Э. Физиология и биохимия грибов. М.: Изд-во Московского государственного университета, 1988. 230 с.
- [3] Степанова Н.Т., Мухин В.А. Основы экологии дереворазрушающих грибов. М.: Наука. 1979. 100 с.
- [4] Фостер Д. Химическая деятельность грибов. М.: Изд-во иностранной литературы, 1950. 651 с.
- [5] Кононов Г.Н. Дендрохимия. Химия, нанохимия и биогенхимия компонентов клеток, тканей и органов древесных растений. М.: МГУЛ, 2015. Т. I. 480 с., Т. II. 632 с.
- [6] Озолия Н.Р., Сергеева В.Н., Абрамович Ц.Л. Анатомические и химические изменения древесины березы, пораженной грибами белой гнили. // Известия АН Латвийской ССР, 1987. № 12. С. 45–52
- [7] Семенкова И.Г., Соколова Э.С. Фитопатология. М.: Академия, 2003. 480 с.
- [8] Рабинович М.Л. Теоретические основы биотехнологии древесных композитов. Кн. I. Древесина и разрушающие ее грибы. М.: Наука, 2001. 264 с.
- [9] Ахмедова З.Р. Лигнолитические, ксиланолитические и целлюлолитические ферменты некоторых базидиальных грибов и их взаимосвязь в разложении лигноцеллюлозы: автореф. дис. ... д-ра биол. наук. Ташкент, 1999.
- [10] Билай В.И. Трансформация целлюлозы грибами. Киев: Наукова думка, 1982. 295 с.
- [11] Березина М.П., Ерменко М.В., Мартынова Е.Я., Васильева В.К., Маттисон Н.Л., Шиврина А.Н. О механизме физиологического действия осажденного пигментного комплекса чаги на организм // Комплексное изучение физиологически активных веществ низших растений. М.; Л.: Изд-во АН СССР, 1961. 279 с.
- [12] Екабсоне М.Я., Крейцберг З.Н., Сергеева В.Н., Киршбаум И.З. Исследование энзиматически разрушенной древесины // Химия древесины, 1978. № 2. С. 61–64
- [13] Соловьев В.А. Изменение химического состава древесины под действием лигнинразрушающих грибов // Химия древесины, 1985. № 6. С. 94–100.
- [14] Медведева С.А. Превращение ароматической компоненты древесины в процессе биоделигнификации: автореф. дис. ... д-ра хим. наук. Иркутск, 1995.
- [15] Горячев Н.Л. Микологически разрушенная древесина как сырье для композиционных пластиков и декоративных изделий: автореф. дис. ... канд. техн. наук. Москва, 2015.
- [16] Ганбаров Х.Г. Эколого-физиологические особенности дереворазрушающих высших грибов. Баку: ЭЛМ, 1990. 197 с.
- [17] Билай В.И. Основы общей микологии. Киев: Вища шк., 1980. 360 с.
- [18] Болобова А.В., Аскадский А.А., Кондращенко В.И., Рабинович М.Л. Теоретические основы биотехнологии древесных композитов. Кн. 2. Ферменты, модели, процессы. М.: Наука, 2002. 344 с.
- [19] Шиврина А.Н., Низковская О.П., Фалина Н.Н. Биосинтетическая деятельность высших грибов. М.: Наука, 1969. 243 с.
- [20] Фенгел Д., Вегенер Г. Древесина (химия, ультраструктура, реакции). М.: Мир, 1988. 512 с.

## Сведения об авторах

**Кононов Георгий Николаевич** — канд. техн. наук, доцент кафедры «Химия и химические технологии в лесном комплексе» МГТУ им. Н.Э. Баумана (Мытищинский филиал), чл.-кор. РАЕН, уч. секретарь Секции «Химия и химическая технология древесины» РХО им. Д.И. Менделеева, kononov@mgul.ac.ru

**Веревкин Алексей Николаевич** — канд. хим. наук, доцент кафедры «Химия и химические технологии в лесном комплексе» МГТУ им. Н.Э. Баумана (Мытищинский филиал), verevkin@mgul.ac.ru

**Сердюкова Юлия Владимировна** — ст. преподаватель кафедры «Химия и химические технологии в лесном комплексе» МГТУ им. Н.Э. Баумана (Мытищинский филиал), caf-htdip@mgul.ac.ru

**Зайцев Владислав Дмитриевич** — аспирант МГТУ им. Н.Э. Баумана (Мытищинский филиал), kelertak@bk.ru

Поступила в редакцию 26.05.2020.

Принята к публикации 22.06.2020.

## MYCOLYSIS OF WOOD, ITS PRODUCTS AND THEIR USE

### II. BIOLOGICAL AND MORPHOLOGICAL PROCESSES OF MYCOLOGICAL DESTRUCTION OF WOOD

**G.N. Kononov, A.N. Verevkin, Yu.V. Serdyukova, V.D. Zaitsev**

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

kononov@mgul.ac.ru

The article is devoted to some questions of the biology of wood-destroying fungi: the processes of their nutrition, growth, reproduction and development as xylophytes. The classification of «rot» formed by the action of wood-destroying fungi at the place of their location in a woody plant and the nature of the destruction of wood is considered. The characteristics of the stages of mycological destruction of wood in terms of changes in its morphology are given. The effect of changes in the structure of mycologically destroyed wood on its physical properties is shown.

**Keywords:** parasitic mushrooms, saprophytes, spores, hyphae, mycelium, «brown», «white», «mottled rot»

**Suggested citation:** Kononov G.N., Verevkin A.N., Serdyukova Yu.V., Zaitsev V.D. *Mikoliz drevesiny, ego produkty i ikh ispol'zovanie. II. Biologo-morfologicheskie protsessy mikologicheskogo razrusheniya drevesiny* [Mycolysis of wood, its products and their use. II. Biological and morphological processes of mycological destruction of wood]. *Lesnoy vestnik / Forestry Bulletin*, 2020, vol. 24, no. 5, pp. 89–96. DOI: 10.18698/2542-1468-2020-5-89-96

## References

- [1] Ripachek V. *Biologiya derevorazrushayushchikh gribov* [Biology of wood-destroying mushrooms]. Moscow: Lesnaya promyshlennost' [Forest industry], 1967, 267 p.
- [2] Bekker Z.E. *Fiziologiya i biokhimiya gribov* [Physiology and biochemistry of mushrooms]. Moscow: MGU [Moscow State University], 1988, 230 p.
- [3] Stepanova N.T., Mukhin V.A. *Osnovy ekologii derevorazrushayushchikh gribov* [Fundamentals of ecology of wood-destroying mushrooms]. Moscow: Nauka [Science], 1979, 100 p.
- [4] Foster D. *Khimicheskaya deyatel'nost' gribov* [Chemical activity of fungi]. Moscow: Izd. inostrannoy literatury [Publishing Foreign Literature], 1950, 651 p.
- [5] Kononov G.N. *Dendrokimiya. Khimiya, nanokhimiya i biogeokhimiya komponentov kletok, tkaney i organov drevesnykh rasteniy* [Dendrochemistry. Chemistry, nanochemistry and biogeochemistry of components of cells, tissues and organs of woody plants]. Moscow: MSFU, 2015, v. I, 480 p., v. II, 632 p.
- [6] Ozolinya N.R., Sergeeva V.N., Abramovich Ts.L. *Anatomicheskie i khimicheskie izmeneniya drevesiny berezy porazhennoy gribami beloy gnili* [Anatomical and chemical changes in birch wood affected by white rot fungi]. *Izvestiya AN Latvyskoy SSSR* [News of the Academy of Sciences of the Latvian USSR], 1987, no. 12, pp. 45–52.
- [7] Semenkova I.G., Sokolova E.S. *Fitopatologiya* [Plant pathology]. Moscow: Academy, 2003, 480 p.
- [8] Rabinovich M.L. *Teoreticheskie osnovy biotekhnologii drevesnykh kompozitov. Kn. I. Drevesina i razrushayushchie ee griby* [Theoretical foundations of biotechnology of wood composites. Prince I. Wood and mushrooms that destroy it]. Moscow: Science, 2001, 264 p.
- [9] Akhmedova Z.R. *Lignoliticheskie, ksilanoliticheskie i tsellyuloliticheskie fermenty nekotorykh bazidial'nykh gribov i ikh vzaimosvyaz' v razlozhenii lignotsellyulozy* [Lignolytic, xylanolytic and cellulolytic enzymes of some basidiomycetes and their relationship in the decomposition of lignocellulose]. Dis. ... Dr. Sci (Biol.). Tashkent, 1999.

- [10] Bilay V.I. *Trasformatsiya tsellyulozy gribami* [Transformation of cellulose by mushrooms]. Kiev: Naukova Dumka, 1982, 295 p.
- [11] Berezina M.P., M.V. Ermenko, E.Ya. Martynova, V.K. Vasil'eva, Mattison N.L., Shivrina A.N. *O mekhanizme fiziologicheskogo deystviya osazhdennogo pigmentnogo kompleksa chagi na organizm* [On the mechanism of the physiological action of the deposited Chaga pigment complex on the body]. Kompleksnoe izuchenie fiziologicheskii aktivnykh veshchestv nizshikh rasteniy [Set studied fiziol. active substances of lower plants]. Moscow–Leningrad, 1961, 279 p.
- [12] Ekabsone M.Ya., Kreysberg Z.N., Sergeeva V.N., Kirshbaum I.Z. *Issledovanie enzimaticheskii razrushennoy drevesiny* [The study of enzymatically destroyed wood]. Khimiya drevesiny [Chemistry of wood], 1978, no. 2, pp. 61–64.
- [13] Solov'ev V.A. *Izmenenie khimicheskogo sostava drevesiny pod deystviem ligninrazrushayushchikh gribov* [Change in the chemical composition of wood under the influence of lignin-destructive mushrooms]. Khimiya drevesiny [Chemistry of wood], 1985, no. 6, pp. 94–100.
- [14] Medvedeva S.A. *Prevrashchenie aromaticheskoy komponenty drevesiny v protsesse biodelignifikatsii* [The transformation of the aromatic components of wood in the process of bio-delignification]. Dis. Dr. Sci. (Chem.). Irkutsk, 1995.
- [15] Goryachev N.L. *Mikologicheskii razrushennaya drevesina kak syr'e dlya kompozitsionnykh plastikov i dekorativnykh izdeliy* [Mycologically destroyed wood as a raw material for composite plastics and decorative products]. Dis. Cand. Sci. (Tech.). Moscow, 2015.
- [16] Ganbarov Kh.G. *Ekologo-fiziologicheskie osobennosti derevorazrushayushchikh vysshikh gribov* [Ecological and physiological features of wood-destroying higher fungi]. Baku: ELM, 1990, 197 p.
- [17] Bilay V.I. *Osnovy obshchey mikologii* [Fundamentals of General Mycology]. Kiev: Vishcha shkola [High School], 1980, 360 p.
- [18] Bolobova A.V., Askadskiy A.A., Kondrashchenko V.I., Rabinovich M.L. *Teoreticheskie osnovy biotekhnologii drevesnykh kompozitov. Kn. 2. Fermenty, modeli, protsessy* [Theoretical foundations of biotechnology of wood composites. Book 2. Enzymes, models, processes]. Moscow: Nauka [Science], 2002, 344 p.
- [19] Shivrina A.N., Nizkovskaya O.P., Falina N.N. *Biosinteticheskaya deyatel'nost' vysshikh gribov* [Biosynthetic activities of higher fungi]. Moscow: Nauka [Science], 1969, 243 p.
- [20] Fengel D., Vegener G. *Drevesina (khimiya, ul'trastruktura, reaktsii)* [Wood (chemistry, ultrastructure, reactions)]. Moscow: Mir [World], 1988, 512 p.

## Authors' information

**Kononov Georgiy Nikolaevich** — Cand. Sci. (Tech.), Associate Professor of the BMSTU (Mytishchi branch), Corresponding member of the Russian Academy of Natural Sciences, the Scientific secretary of Section «Chemistry and engineering chemistry of wood» RHO of D. I. Mendeleev, kononov@mgul.ac.ru

**Verevkin Aleksey Nikolaevich** — Cand. Sci. (Chemical), Associate Professor of the BMSTU (Mytishchi branch), verevkin@mgul.ac.ru

**Serdyukova Yuliya Vladimirovna** — Senior Lecturer of the BMSTU (Mytishchi branch), caf-htdip@mgul.ac

**Zaytsev Vladislav Dmitrievich** — Pg. of the BMSTU (Mytishchi branch), kelertak@bk.ru

Received 26.05.2020.

Accepted for publication 22.06.2020.

## ИССЛЕДОВАНИЕ ПРОЦЕССА ПОЛУЧЕНИЯ И ПОДГОТОВКИ К ИСПОЛЬЗОВАНИЮ ЭКОЛОГИЧЕСКИ ЧИСТОГО БИОТОПЛИВА НА ОСНОВЕ ТАЛЛОВОГО МАСЛА

А.Н. Иванкин<sup>1</sup>, А.Н. Зарубина<sup>1</sup>, Г.Л. Олиференко<sup>1</sup>,  
А.С. Кулезнев<sup>1</sup>, А.В. Куликовский<sup>2</sup>

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

<sup>2</sup>ФГБНУ «ФНЦ пищевых систем им. В.М. Горбатова РАН», 109316, г. Москва, ул. Талалихина, д. 26

aivankin@mgul.ac.ru

Рассмотрены научно-технические вопросы методологии получения жидкого биотоплива из возобновляемого сырья растительного происхождения. Разработана общая схема получения биодизеля, представляющего собой смесь алкиловых эфиров жирных кислот. Определены оптимальные условия получения биодизеля из отходов производства целлюлозно-бумажных комбинатов — таллового масла. Изучен компонентный состав получаемого продукта и показано, что он более чем на 95 % состоит из смеси метиловых эфиров жирных кислот. Показано, что в перерабатываемом масле основное содержание компонентов представлено природными липидами. Приведен их жирно-кислотный состав, насчитывающий более 30 C<sub>10</sub>–C<sub>24</sub> жирных кислот. Показано, что в полученном биодизеле не содержится вредных примесей бром, иод, фосфор и серо замещенных соединений, а суммарное содержание Cl-замещенных органических веществ во всех исследованных образцах не превышало 0,07 ± 0,02 %, N-замещенных производных — было не более 0,05 ± 0,01 %, что указывает на достаточно высокую экологическую чистоту биотоплива. Охарактеризованы основные физико-химические свойства полученного биодизеля согласно международным требованиям, предъявляемым к биотопливу. Указаны основные направления возможного использования продукта в качестве жидкого топлива для форсунок миникотельных, а также для эксплуатации в обычных дизельных двигателях.

**Ключевые слова:** переработка отходов ЦБК, биодизель, талловое масло, перэтерификация

**Ссылка для цитирования:** Иванкин А.Н., Зарубина А.Н., Олиференко Г.Л., Кулезнев А.С., Куликовский А.В. Исследование процесса получения и подготовки к использованию экологически чистого биотоплива на основе таллового масла // Лесной вестник / Forestry Bulletin, 2020. Т. 24. № 5. С. 97–103.  
DOI: 10.18698/2542-1468-2020-5-97-103

Минеральное топливо из нефтепродуктов сегодня составляет основу работы подавляющего большинства транспортных средств различной конструкции. Нефтепродукты обеспечивают работу двигателя за счет своего сгорания, выделяя в окружающую среду диоксид углерода и воду.

Если в низкосортном топливе содержатся примеси, то возможно образование оксидов серы, азота, фосфора и других соединений, которые загрязняют атмосферу и оказывают негативное влияние на человека. Значительная часть выделяющихся в атмосферу выхлопных газов от некачественных видов топлива отличается высокой токсичностью и не должна наполнять вдыхаемый человеком воздух. Замена некачественного моторного топлива на высококачественные сорта — важнейшая технологическая задача, прежде всего для промышленно развитых стран, вследствие огромных масштабов применения продуктов переработки нефти [1, 2].

Существенной проблемой является факт отсутствия достаточных запасов нефтересурсов во многих странах, которые вынуждены искать им замену. К тому же традиционные нефтепромыслы со временем вырабатываются, и добыча нефти для переработки сокращается [3].

Эти причины привели к необходимости получения иных видов топлива на основе возобновляемого сырья. Реальными способами получения альтернативного топлива в настоящее время признаны два: 1) биотехнологическое получение этанола путем сбраживания сельскохозяйственных отходов и использование в виде добавок в смеси с минеральным топливом [4]; 2) получение из растительных масел, например рапсового, метиловых эфиров жирных кислот (ЖК), путем химической перэтерификации метанолом в присутствии катализаторов с последующим использованием в виде 10–100 % добавок к минеральному топливу, предназначенному для двигателей авто- мото-, авиатехники, т. е. биодизель В10, В20 или В100 [5].

Алкиловые эфиры природных ЖК получают не только из рапсового масла. Разработаны технологии их получения из жиросодержащего сырья животного и рыбного происхождения [6–8].

Одним из возможных источников природных липидов являются отходы целлюлозно-бумажного производства, в частности талловое масло (ТМ), рациональное использование которого до настоящего времени не является эффективным. Ресурсы ТМ при работе целлюлозно-бумажного комбината (ЦБК) являются значительными [9, 10].

Талловое масло — побочный продукт сульфатно-целлюлозного производства и представляет собой жидкость с поликомпонентным комплексом биологически активных веществ растительного происхождения [11, 12].

Талловое масло получают из древесного сырья как хвойного, так и лиственного происхождения. В связи с увеличением в перерабатываемом древесном сырье доли лиственных пород, в основном осины и березы, в составе образцов ТМ различного происхождения обнаруживается разное содержание ЖК и нейтральных веществ [13].

В литературе имеются данные, что в составе очищенного ТМ производства Архангельского ЦБК может суммарно содержаться более 75 % природных ЖК, в том числе, %: олеиновой кислоты — 9,7; линолевой — 48,5; линоленовой — 1,3; эйкозеновой — 0,7; стеариновой — 3,6; пальмитиновой — 7; арахиновой — 2,4; генэйкозановой — 0,8; бегеновой — 2,5; лигноцериновой — 1,2. Содержание смоляных кислот в ТМ, %: пимаровой — 0,6; дегидроабетиновой — 3,7; оксикислот (9-гидроксидононовой) — 3,8 [14].

Состав сырого ТМ, в зависимости от вида сырья и технологии его переработки, может включать в себя до 30...50 % смоляных кислот, 35...90 % ЖК и несколько процентов сернистых соединений, которые после дистилляционной очистки ТМ остаются в кубовом остатке [15].

## Цель работы

Цель работы — исследование процесса получения и определения путей применения экологически чистого биотоплива на основе ТМ в связи с важным значением использования природных ресурсов для масштабной эксплуатации в составе топлива для транспортных устройств, разработка подходов к получению биотоплива из возобновляемых ресурсов, в частности отходов ЦБК.

## Методика исследования

Для исследования были выбраны жирные кислоты талловых масел по ГОСТ 14845–79, дистиллированное ТМ по ТУ 13-00281074-26–95 с различными сроками хранения, полученные на Сегежском ЦБК (Россия).

Обработку сырья осуществляли путем нагревания с метанолом в соотношении 1:0,3 при температуре кипения растворителя в течение 2 ч с последующим охлаждением и отстаиванием смеси для удаления нижнего слоя с серноокислотным глицерином. Процесс повторяли 3 раза. Катализатор, в качестве которого применяли 94%-ную серную кислоту, вносили в количестве 2 % в начале процесса на 1-й стадии, а также по 1 % в каждую отстаившуюся фракцию при смешивании с метанолом. Контроль за образованием продуктов осу-

ществляли спектрофотометрически. Для этого к 0,1 мл аликвоты реакционной смеси прибавляли 3 мл этанола, 0,2 мл концентрированной азотной кислоты, 0,2 мл 10 % раствора дихромата калия и определяли количество образовавшегося глицерина при  $\lambda = 495$  нм против аликвоты исходной смеси.

Анализ состава изомеров ЖК и сопутствующих примесных компонентов проводили методом газовой хроматографии с использованием масс-селективного детектора 5975C VLMSD. Для расчета содержания изомеров также применяли автоматическую базу поиска и идентификации данных хроматомасс-спектрометрии NIST08 MS Library [6, 16].

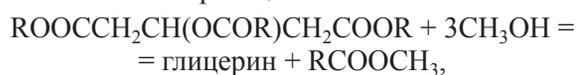
Физико-химические свойства сырья и материалов определяли по стандартным методикам, изложенным в государственных стандартах на соответствующий вид измерений.

## Результаты и обсуждение

Изучение химического состава образцов ТМ в виде его ЖК по ГОСТ 14845–79 и дистиллированного ТМ, выработанного по ТУ 13-00281074-26–95 с различными сроками хранения, показало, что в образцах содержание жировых липидов в виде соединений природных ЖК составляло более 94...95 %. Количество основных ЖК в исходном сырье представлено в табл. 1. Массовая доля смоляных кислот и неомыляемых веществ составляла не более 2,5 %.

Основным компонентом ТМ является смесь растительных липидов, которые представляют собой триглицериды, этерифицированные остатками ЖК, соотношения которых указаны выше. Процесс получения биодизеля из ТМ химически сводится к каталитическому расщеплению триглицеридов с высвобождением свободных ЖК и последующей этерификацией метанолом. В результате образуется смесь метиловых эфиров ЖК, которая и используется в виде биодизеля для сгорания в двигателе транспортного устройства.

Процесс протекает многостадийно по суммарной химической реакции:



где R — остаток ЖК.

Реакция является равновесным процессом, эффективно протекающим в присутствии кислотных-основных катализаторов [10, 14]. Этерификация метанолом идет до равновесия с выходом 35...40 %. Для смещения равновесия в сторону получения целевого продукта из зоны реакции со дна реактора дробно удаляли выделяющийся в процессе обработки глицерин. Проведение процесса в 3–4 стадии позволило получить биотопливный продукт с выходом более 70...80 %.

Т а б л и ц а 1

Содержание жирных кислот в талловом масле, % от суммы ( $n = 5$ )The fatty acid content in tall oil, % of the total ( $n = 5$ )

ЖК	Содержание	ЖК	Содержание	ЖК	Содержание
C <sub>10:0</sub>	0,3...0,4	C <sub>18:1n9t</sub>	0,5...1,8	C <sub>20:4n6</sub>	0,2...0,4
C <sub>12:0</sub>	0,3...0,5	C <sub>18:2n6</sub>	42,4...48,1	C <sub>20:5n3</sub>	0,05...0,2
C <sub>14:0</sub>	0,1...0,3	C <sub>18:3n6</sub>	8,0...8,5	C <sub>21:0</sub>	0,3...0,5
C <sub>16:0</sub>	1,5...3,5	C <sub>18:3n3</sub>	2,0...2,5	C <sub>22:0</sub>	0,2...0,5
C <sub>16:1</sub>	0,2...0,4	C <sub>20:1n9</sub>	0,4...0,6	C <sub>22:1n9</sub>	0,1...0,3
C <sub>17:0</sub>	0,3...0,6	C <sub>20:0</sub>	3,0...3,5	C <sub>22:2</sub>	0,1...0,4
C <sub>17:1</sub>	1,2...2,5	C <sub>20:2</sub>	0,05...0,2	C <sub>23:0</sub>	0,1...0,4
C <sub>18:0</sub>	5,5...7,7	C <sub>20:3n6</sub>	0,2...0,3	C <sub>24:0</sub>	0,3...0,5
C <sub>18:1n9c</sub>	20,0...22,6	C <sub>20:3n3</sub>	0,1...0,2	C <sub>24:1</sub>	0,2...0,4

Т а б л и ц а 2

## Содержание воды и глицерина в биодизеле по стадиям

The content of water and glycerol in biodiesel in stages

Наименование	1-я стадия	2-я стадия	3-я стадия	4-я стадия
Массовая доля глицерина, %	3,5	2,2	0,4	Не обнаружено
Массовая доля воды, %, не более	2,4	1,2	1,1	следы

Процесс получения биотопливного продукта осуществляли в три стадии. В конце каждой стадии проводили отстаивание с расслаиванием жидкой фазы для удаления глицерина с остатками катализатора. Окончательно, на 4-й стадии осуществляли промывку смеси порциями из трех объемов воды и прогреванием жидкого продукта при температуре 100 °С в течение 1 ч для удаления следов влаги (табл. 2). Из представленных данных в табл. 2 видно, что за одну стадию процесса удается не только сместить равновесие процесса и повысить выход целевого продукта до приемлемого уровня, но и

снизить содержание примесей остатков наиболее мешающих для дальнейшей эксплуатации продукта веществ. Потенциальное наличие примесей воды в топливе может мешать использованию такого топлива в двигателях внутреннего сгорания.

Выбранная схема ведения процесса позволяет получить не только сам продукт, но и провести его параллельную очистку от большинства примесей.

Основной состав ЖК компонентов жидкого биодизеля представлен в табл. 3.

Кроме указанных компонентов в составе биодизеля из ТМ были обнаружены микропримеси. Были выявлены вещества с уровнем содержания от 0,1 до 115 мг/л (табл. 4).

Из данных табл. 4 видно, что кроме основных компонентов — ЖК, в полученном продукте обнаружены примеси различных органических соединений природного происхождения. Продукт получен из растительного сырья и содержит остатки веществ, сформировавшихся в сырье в процессе биохимических превращений. Суммарное количество соединений не превышало 1,5...2,0 %. Минимальная концентрация некоторых веществ, установленных методом хромато-

Т а б л и ц а 3

Жирно-кислотный состав биодизеля, % от суммы ( $n = 3$ )Fatty acid composition of biodiesel, % of the total ( $n = 3$ )

ЖК	Содержание	ЖК	Содержание	ЖК	Содержание
C <sub>10:0</sub>	—	C <sub>18:1n9t</sub>	2,5...5,2	C <sub>20:4n6</sub>	0,1...0,3
C <sub>12:0</sub>	0,2...0,3	C <sub>18:2n6</sub>	41,0...44,5	C <sub>20:5n3</sub>	0,01...0,1
C <sub>14:0</sub>	0,1...0,2	C <sub>18:3n6</sub>	6,5...7,8	C <sub>21:0</sub>	0,5...0,6
C <sub>16:0</sub>	2,5...3,1	C <sub>18:3n3</sub>	1,0...1,5	C <sub>22:0</sub>	0,4...0,6
C <sub>16:1</sub>	0,2...0,3	C <sub>20:1n9</sub>	0,4...0,5	C <sub>22:1n9</sub>	0,1...0,2
C <sub>17:0</sub>	0,3...0,4	C <sub>20:0</sub>	4,0...4,6	C <sub>22:2</sub>	0,1...0,2
C <sub>17:1</sub>	1,2...1,4	C <sub>20:2</sub>	0,15...0,3	C <sub>23:0</sub>	0,4...0,5
C <sub>18:0</sub>	5,6...7,9	C <sub>20:3n6</sub>	0,1...0,2	C <sub>24:0</sub>	0,4...0,6
C <sub>18:1n9c</sub>	20,0...21,5	C <sub>20:3n3</sub>	0,05...0,1	C <sub>24:1</sub>	0,2...0,3

Т а б л и ц а 4

## Органические компоненты биодизеля из талового масла, мг/л

## Organic components of biodiesel from tall oil, mg/l

Вещество	Содержание	Вещество	Содержание	Вещество	Содержание
Додеканаль	3,4	9-нонадецен	4,7	Цис-2-метилциклогексанол	2,4
1Н-пиррол-1-метанол	0,1	Гептадецилоксиран	6,9	Тридекан	4,7
1-метоксидодекан	0,4	Тридецилоксиран	3,2	1,9-тридекадиен	2,8
1-тридецен	0,4	1-децен	4,0	7-пентилбицикло[4.1.0]гептан	0,5
3-циклопентилпропил-циклогексан	0,5	1-тетрадеанол	4,1	2-додеканон	5,1
Метилвый эфир 4-гептеновой кислоты	0,6	Тридеканаль	8,5	2-тридеканон	2,5
14-метил-8-гексадеценаль	0,8	Транс-2-додецен-1-ол	15,8	7-бутил-бицикло[4.1.0]гептан	3,9
2-хлорметил-1-бутен	0,3	Гексадециклоксиран	11,4	5-октен-1-ол	10,6
1-нонадецен	10,5	1,12-тридекадиен	6,5	Гексадеканаль	31,8
1-октадецен	8,2	2-пентадеканон	27,5	Пентадеканаль	115,9
1-докозен	17,4	1,19-эйкозадиен	24,2	Стигмастерол	38,0
15-метилгексаноат	3,3	2-гексадеканол	4,0	Метил-7,10-октадеканоат	2,6
Тетрагидро-2-(12-пентадецилокси)-2Н-пиран	7,2	Метил-8,11-октадеканоат	1,6	Метил-5,8,11,14-эйкозатетраеноат	0,8
Метил-7,10,13-эйкозатриеноат	6,4	Метил-8,11,14-эйкозатриеноат	5,4	Метил-11-эйкозеноат	2,2
6-гептилтетрагидро-2Н-пиран-2-он	5,4	4-этил-5-метилнонан	5,3	Метил-11-октадеканоат	1,3
Метил-12-октадеканоат	0,9	14-трикозенилформиат	2,7	Метил-13-докозеноат	3,5
7-гексадеценоат	1,8	12-трикозанон	0,5	9-трикозен	0,8
2-метилгексадекан	0,3	4-этил-2-октен	0,8	Эйкозан	0,3
2-(4-метилфенил)индолизин	0,5	4-циклогексилундекан	0,1	1-гексакозен	0,4
Нонадекан	0,2	Холеста-3,5-диен	0,5	2-гидроксигексадеканоат	0,4

масс-спектрометрии, составляла менее 0,001 % от суммы компонентов.

Представленные выше данные (см. табл. 4) о содержащихся в составе биодизеля из ТМ химических веществах, отображают содержание только основных компонентов. Однако, изучение масс-спектров продукта показало, что в нем имеется еще не менее 200 соединений органической природы, количество каждого из которых было очень низким — на уровне 0,001...0,002 %. Поскольку содержание таких примесей незначительно, они не могут существенно повлиять на технические свойства продукта.

Проанализированные образцы биодизеля, полученные из дистиллированного ТМ ( $n = 10$ ), не содержали по данным масс-спектрометрии примесей бром, йод, фосфор и серо замещенных соединений. Суммарное содержание хлорзамещенных органических веществ во всех образцах не превышало  $0,07 \pm 0,02$  %, а азот-замещенных производных — не более  $0,05 \pm 0,01$  %, что указывает на достаточно высокую экологическую чистоту возможных выхлопных продуктов сгорания полученного биотоплива.

Важнейшие свойства полученного продукта в виде метиловых эфиров жирных кислот ТМ в

Т а б л и ц а 5

Свойства биодизеля  
из возобновляемого сырья  
Renewable biodiesel properties

Показатель	Метилвый эфир		Биодизель по европейским нормам EN 14214
	из рапсового масла [17]	из талового масла	
Содержание моноалкиловых эфиров, %	98	96	> 96,5
Цетановое число	47	65	> 51
Плотность при 15 °С, кг/м <sup>3</sup>	840	880	860–900
Кинетическая вязкость, 40 °С, мм <sup>2</sup> /с	4,1	4,5	3,5–5,0
Температура помутнения, °С	11	5–6	От –11 до 16
Кислотное число, мг КОН/г	0,2	0,3	< 0,5

сравнении с международными нормами свойств биодизеля, получаемого из растительного сырья, представлены в табл. 5. Основные физико-химические свойства продукта соответствуют нормам, представленным в европейских нормативных актах.

## Выводы

Полученный биодизель можно использовать в виде топлива для форсунок миникотельных, а также в обычных дизельных двигателях. Он отличается более высоким, чем у дизельного топлива из рапсового масла, цетановым числом (63–65 против 47–50), что обеспечивает плавное нарастание давления при горении топлива, снижает его износ и характеризуется значительно меньшим количеством вредных выбросов в атмосферу по сравнению с нефтяным дизельным топливом.

Таким образом, определение основных компонентов в биотопливе, получаемом из продуктов переработки растительного сырья — таллового масла, позволяет рассматривать его как потенциально экологически безопасный продукт.

## Список литературы

- [1] Palage K., Lundmark R., Söderholm P. The impact of pilot and demonstration plants on innovation: The case of advanced biofuel patenting in the European Union // *International J. Production Economics*, 2019, v. 210, no 4, pp. 42–55.
- [2] Lechón Y., de la Rúa C., Rodríguez I., Caldés N. Socio-economic implications of biofuels deployment through an Input-Output approach. A case study in Uruguay // *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 2019, v. 104, no 4, pp. 178–191.
- [3] Chesnes M. The impact of outages on prices and investment in oil refining industry // *Energy Economics*, 2015, v. 50, no 7, pp. 324–336.
- [4] Неклюдов А.Д., Иванкин А.Н. Биологически активные соединения из природных объектов. Свойства и структурно-функциональное взаимодействие. М.: МГУЛ, 2003. 480 с.
- [5] Ghorbani A., Bazooyar B. Optimization of the combustion of SOME (soybean oil methyl ester), B5, B10, B20 and petrodiesel in a semi industrial boiler // *Energy*, 2012, v. 44, no. 8, pp. 217–227.
- [6] Иванкин А.Н., Куликовский А.В., Вострикова Н.Л., Чернуха И.М. Цис-, транс-конформационные изменения бактериальных жирных кислот в сравнении с ана-

- логами животного и растительного происхождения // *Прикладная биохимия и микробиология*, 2014. Т. 50. № 6. С. 604–611.
- [7] Jing G., Yu H., Sun Z., Zhen Z. Прогресс в области депрессорных присадок к биодизельному топливу // *Нефтехимия*, 2019. Т. 59. № 5. С. 575–579.
  - [8] Иванкин А.Н., Болдырев В.С., Жилин Ю.Н., Олиференко Г.Л., Бабурина М.И., Куликовский А.В. Макрокинетическая трансформация природных липидов для получения моторного топлива // *Вестник МГТУ им. Н.Э. Баумана. Сер. Естественные науки*, 2017. № 5. С. 95–108.
  - [9] Владимиров Т.М., Третьяков С.И., Жабин В.И., Коптелов А.Е. Получение и переработка талловых продуктов. Архангельск: АГТУ, 2008. 155 с.
  - [10] Леонтьев П.К., Зарубина А.Н., Иванкин А.Н. Получение биотоплива химической переработкой целлюлозно-бумажных отходов // *Лесной комплекс в цифровой экономике. Тез. докл. междунар. симп. М.: Научные технологии*, 2019. С. 101–102.
  - [11] Aro T., Fatehi P. Tall oil production from black liquor: Challenges and opportunities // *Separation and Purification Technology*, 2017, v. 17524, no. 3, pp. 469–480.
  - [12] Uusi-Kuyny P., Pakkanen M., Linnekoski J., Alopaeus V. Hydrogen solubility measurements of analyzed tall oil fractions and a solubility model // *J. Chemical Thermodynamics*, 2017, v. 105, no. 2. pp. 15–20.
  - [13] Пижурин А.А. Основы научных исследований в деревообработке. М.: МГУЛ, 2005. 305 с.
  - [14] Чинь Х.Ф., Царев Г.И., Рошин В.И. Модификация таллового масла лиственных пород // *Известия вузов. Лесной журнал*, 2014. № 2 (338). С. 123–129.
  - [15] Breuer T.E. Dimer Acids. *Van Nostrand's Encyclopedia of Chemistry*. New York: Wiley-Interscience, 2005, 1856 p.
  - [16] Ivankin A.N., Olfiferenko G.L., Kulikovskii A.V., Chernuha I.M., Semenova A.A., Spiridonov K.I., Nasonova V.V. Determination of Unsaturated Fatty Acids with a Migrating Double Bond in Complex Biological Matrices by Gas Chromatography with Flame Ionization and Mass Spectrometry Detection // *J. Analytical Chemistry*, 2016, v. 71, no. 11, pp. 1131–1137.
  - [17] Шаталов К.В., Горюнова А.К., Лихтерова Н.М., Иванкин А.Н., Бабурина М.И., Куликовский А.В. Применение продуктов сульфатцеллюлозного производства в качестве присадок к топливам реактивных двигателей // *Вестник Московского государственного университета леса – Лесной вестник*, 2016. Т. 20. № 6. С. 107–115.

## Сведения об авторах

**Иванкин Андрей Николаевич** — д-р хим. наук, профессор кафедры химии и химических технологий лесного комплекса, МГТУ им. Н.Э. Баумана (Мытищинский филиал), aivankin@mgul.ac.ru

**Зарубина Анжелла Николаевна** — канд. техн. наук, доцент, заведующая кафедрой химии и химических технологий лесного комплекса, МГТУ им. Н.Э. Баумана (Мытищинский филиал), zarubina@mgul.ac.ru

**Олиференко Галина Львовна** — канд. хим. наук, доцент кафедры химии и химических технологий лесного комплекса, МГТУ им. Н.Э. Баумана (Мытищинский филиал), oliferenko@mgul.ac.ru

**Кулезнев Алексей Сергеевич** — студент, МГТУ им. Н.Э. Баумана (Мытищинский филиал), kuleznev00@mail.ru

**Куликовский Андрей Владимирович** — канд. техн. наук, зав. лабораторией, ФГБНУ ФНЦ пищевых систем им. В.М. Горбатова РАН, a.kulikovskii@fnpcs.ru

Поступила в редакцию 26.03.2020.

Принята к публикации 15.06.2020.

## RESEARCH OF THE PROCESS OF RECEIVING AND PREPARING FOR TO USE OF ECOLOGICALLY PURE BIOFUEL ON THE BASIS OF TALL OIL

A.N. Ivankin<sup>1</sup>, A.N. Zarubina<sup>1</sup>, G.L. Oliferenko<sup>1</sup>, A.S. Kuleznev<sup>1</sup>, A.V. Kulikovskii<sup>2</sup>

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

<sup>2</sup>V.M. Gorbатов Federal Research Center for Food Systems of Russian Academy of Sciences, 26, Talalikhina st., 109316, Moscow, Russia

aivankin@mgul.ac.ru

The article discusses the scientific and technical issues of the methodology for producing liquid biofuel from renewable raw materials of plant origin. As raw materials used wastes from the production of pulp and paper mills — tall oil. The purpose of the work was to study the process of obtaining and determining ways to use the product. The optimal conditions for obtaining biodiesel are determined. The processing of raw materials was carried out by heating it with methanol in a ratio of 1:0,3 at a temperature of 50–65 °C for 2 hours in the presence of 2 % catalyst. The product, after separation of the resulting intermediate, was finally washed with water from the catalyst residues. The process was controlled spectrophotometrically. Using gas-liquid chromatography with mass spectrometric detection, the complete chemical composition of the used raw materials of various degrees of purification was established. It is shown that the main content in the processed oil is represented by natural lipids. Their fatty acid composition is described, comprising more than thirty C<sub>10</sub>–C<sub>24</sub> fatty acids. A general scheme for producing biodiesel, which is a mixture of fatty acid alkyl esters, has been developed. The product was obtained by chemical transformation in the presence of acid catalysts, followed by the formation of fatty acid methyl esters. The component composition of the obtained product, biodiesel, was studied and it was shown that it consists of a mixture of methyl esters of fatty acids more than 95 %. In biodiesel, more than two hundred organic substances are also contained in the form of an insignificant amount of microimpurities. Their number fluctuated around 0,001 %. The basic physico-chemical characteristics of the obtained biodiesel are described in comparison with international requirements for biofuels. The analyzed product samples obtained from distilled TM, according to mass spectrometry, did not contain harmful impurities bromine, iodine, phosphorus and sulfur-substituted compounds. The total content of chlorine-substituted organic substances in all samples did not exceed 0,07 ± 0,02 %, and N-substituted derivatives did not exceed 0,05 ± 0,01 %, which indicates a rather high ecological purity of bitumen fuel. The main directions of the possible use of the product as liquid fuel for mini-boiler nozzles, as well as for operation in conventional diesel engines, are determined.

**Keywords:** pulp and paper mill waste processing, biodiesel, tall oil, transesterification

**Suggested citation:** Ivankin A.N., Zarubina A.N., Oliferenko G.L., Kuleznev A.S., Kulikovskiy A.V. *Issledovanie protsessa polucheniya i podgotovki k ispol'zovaniyu ekologicheskoi chistogo biotopliva na osnove tallovoogo masla* [Research of the process of receiving and preparing for to use of ecologically pure biofuel on the basis of tall oil]. *Lesnoy vestnik / Forestry Bulletin*, 2020, vol. 24, no. 5, pp. 97–103. DOI: 10.18698/2542-1468-2020-5-97-103

### References

- [1] Palage K., Lundmark R., Söderholm P. The impact of pilot and demonstration plants on innovation: The case of advanced bio-fuel patenting in the European Union. *International J. Production Economics*, 2019, v. 210, no 4, pp. 42–55.
- [2] Lechón Y., de la Rúa C., Rodríguez I., Caldés N. Socioeconomic implications of biofuels deployment through an Input-Output approach. A case study in Uruguay. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 2019, v. 104, no 4, pp. 178–191.
- [3] Chesnes M. The impact of outages on prices and investment in oil refining industry. *Energy Economics*, 2015, v. 50, no 7, pp. 324–336.
- [4] Neklyudov A.D., Ivankin A.N. *Biologicheski aktivnye soedineniya iz prirodnikh ob'ektov. svoystva i strukturno-funktsional'noe vzaimosvyazi* [Biologically active compounds from natural objects. properties and structural-functional relationships]. Moscow: MSFU, 2003, 480 p.
- [5] Ghorbani A., Bazooyar B. Optimization of the combustion of SOME (soybean oil methyl ester), B5, B10, B20 and petrodiesel in a semi industrial boiler. *Energy*, 2012, v. 44, no. 8, pp. 217–227.
- [6] Ivankin A.N., Kulikovskiy A.V. Vostrikova N.L., Chernukha I.M. *Tsis-, trans-konformatsionnye izmeneniya bakterial'nykh zhirnykh kislot v sravnenii s analogami zivotnogo i rastitel'nogo proiskhozhdeniya* [Cis-, trans-conformational changes in bacterial fatty acids in comparison with analogues of animal and plant origin]. *Prikladnaya biokhimiya i mikrobiologiya* [Applied biochemistry and microbiology], 2014, v. 50, no. 6, pp. 604–611.
- [7] Jing G., Yu H., Sun Z., Zhen Z. *Progress v oblasti depressornykh prisadok k biodizel'nomu toplivu* [Progress in the field of depressant additives for biodiesel fuel]. *Neftekhimiya* [Petrochemicals], 2019, v. 59, no. 5, pp. 575–579.
- [8] Ivankin A.N., Boldyrev V.S., Zhilin Yu.N., Oliferenko G.L., Baburina M.I., Kulikovskiy A.V. *Makrokineticheskaya transformatsiya prirodnikh lipidov dlya polucheniya motornogo topliva* [Macrokinetic transformation of natural lipids to produce motor fuel]. *Vestnik MGTU im. N.E. Baumana. Ser. Estestvennyye nauki* [Vestnik BMSTU. Ser. Natural Sciences], 2017, no. 5, pp. 95–108.
- [9] Vladimirova T.M., Tret'yakov S.I., Zhabin V.I., Koptelov A.E. *Poluchenie i pererabotka tallovykh produktov* [Receiving and processing of tall products: monograph]. Arkhangel'sk: AGTU, 2008, 155 p.
- [10] Leont'ev P.K., Zarubina A.N., Ivankin A.N. *Poluchenie biotopliva khimicheskoy pererabotkoy tsellyulozno-bumazhnykh otkhodov* [Obtaining biofuels by chemical processing of pulp and paper waste]. *Lesnoy kompleks v tsifrovoy ekonomike. Tez. dokladov mezhdunarodnogo simpoziuma* [Forestry complex in the digital economy. Reports of the international symposium], 2019, pp. 101–102.

- [11] Aro T., Fatehi P. Tall oil production from black liquor: Challenges and opportunities. Separation and Purification Technology, 2017, v. 17524, no. 3, pp. 469–480.
- [12] Uusi-Kyyny P., Pakkanen M., Linnekoski J., Alopaeus V. Hydrogen solubility measurements of analyzed tall oil fractions and a solubility model. J. Chemical Thermodynamics, 2017, v. 105, no. 2, pp. 15–20.
- [13] Pizhurin A.A. *Osnovy nauchnykh issledovaniy v derevoobrabotke* [Fundamentals of scientific research in woodworking]. Moscow: MGUL, 2005, 305 p.
- [14] Chin' Kh.F., Tsarev G.I., Roshchin V.I. *Modifikatsiya talloвого масла listvennykh porod* [Modification of tall oil of hardwood]. Lesnoy Zhurnal (Russian Forestry Journal), 2014, no. 2 (338), pp. 123–129.
- [15] Breuer T.E. Dimer Acids. Van Nostrand's Encyclopedia of Chemistry. New York: Wiley-Interscience, 2005, 1856 p.
- [16] Ivankin A.N., Oliferenko G.L., Kulikovskii A.V., Chernuha I.M., Semenova A.A., Spiridonov K.I., Nasonova V.V. Determination of Unsaturated Fatty Acids with a Migrating Double Bond in Complex Biological Matrices by Gas Chromatography with Flame Ionization and Mass Spectrometry Detection. J. Analytical Chemistry, 2016, v. 71, no. 11, pp. 1131–1137.
- [17] Shatalov K.V., Goryunova A.K., Likhterova N.M., Ivankin A.N., Baburina M.I., Kulikovskiy A.V. *Primenenie produktov sul'fatsellyuloznogo proizvodstva v kachestve prisadok k toplivam reaktivnykh dvigateley* [The use of cellulose sulfate production products as additives to jet engine fuels]. Moscow state forest university bulletin – Lesnoy vestnik, 2016, v. 20, no. 6, pp. 107–115.

## Authors' information

**Ivankin Andrey Nikolayevich** — Dr. Sci. (Chem.), Professor of the Department of Chemistry BMSTU (Mytishchi branch), aivankin@mgul.ac.ru

**Zarubina Angela Nikolaevna** — Cand. Sci. (Tech.), Associate Professor, Head of the Department of Chemistry and Chemical Technologies of the Forest Complex of BMSTU (Mytishchi branch), zarubina@mgul.ac.ru

**Oliferenko Galina Livovna** — Cand. Sci. (Chem.), Associate Professor, Department of Chemistry and Chemical Technologies of the Forest Complex of BMSTU (Mytishchi branch), oliferenko@mgul.ac.ru

**Kuleznev Alexey Sergeevich** — student of BMSTU (Mytishchi branch), caf-htdip@mgul.ac.ru

**Kulikovskii Andrey Vladimirovich** — Cand. Sci. (Tech.), Head of the Laboratory of the V.M. Gorbатов Federal Research Center for Food Systems of Russian Academy of Sciences, a.kulikovskii@fneps.ru

Received 26.03.2020.

Accepted for publication 15.06.2020.

УДК 624.154.5

DOI: 10.18698/2542-1468-2020-5-104-108

## ИССЛЕДОВАНИЯ ПОВЫШЕНИЯ НЕСУЩЕЙ СПОСОБНОСТИ ГРУНТОВ ОСНОВАНИЙ МЕТОДОМ ЦЕМЕНТАЦИИ

Н.Г. Серегин<sup>1</sup>, В.И. Запруднов<sup>2</sup>

<sup>1</sup>ФГБОУ ВО «Московский государственный строительный университет» (НИУ МГСУ), 129337, г. Москва, Ярославское ш., д. 26

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

SereginNG@mgsu.ru

Представлен обзор видов грунтов, преобладающих в регионе Западной Сибири Российской Федерации. Проанализированы составы и физико-механические свойства грунтов. Особое внимание уделено лёссовым просадочным грунтам. Сформулирована и поставлена задача получения однородной цементогрунтовой смеси. Рассмотрена технологическая схема изготовления цементогрунтовых свай фундаментов зданий и сооружений буромесительным способом с механоактивацией. Приведены методы укрепления лёссовых просадочных грунтов. Определены методы исследования свойств цементогрунтовых свай фундаментов зданий и сооружений. Проведен многофакторный эксперимент по оценке параметров, влияющих на свойства цементогрунтовых свай. По результатам исследований сформулированы выводы и рекомендации.

**Ключевые слова:** связные грунты, суглинки, глины, супеси, несвязные песчаные грунты, каменные грунты, коренные массивные породы, лёссовые грунты, свайный фундамент, цементогрунты, цементогрунтовая смесь, просадочность грунтов, цементогрунтовые сваи, буромесительный способ, механоактивация грунтов, комплексный метод

**Ссылка для цитирования:** Серегин Н.Г., Запруднов В.И. Исследования повышения несущей способности грунтов оснований методом цементации // Лесной вестник / Forestry Bulletin, 2020. Т. 24. № 5. С. 104–108. DOI: 10.18698/2542-1468-2020-5-104-108

Связные грунты (суглинки, глины, супеси) распространены почти на всей территории Западной Сибири и только на незначительных территориях расположены несвязные песчаные грунты. Подходящие для строительства каменные грунты неравномерно расположены в этом регионе, а коренные массивные породы чаще недоступны для разработки, поскольку залегают на глубине от 1000 до 3000 м и более. В южной части Западной Сибири на значительных по площади участках распространены лёссовые грунты.

Состоят лёссовые грунты в основном из глины и суглинков. Лёссовые грунты являются хорошим материалом для сооружения свайных фундаментов из цементогрунтов, благодаря своему физико-механическому и химическому составу, включающему глинистые частицы, щелочную среду, легкорастворимые соли и т. д. Их легко разрабатывать и размельчать, так как они обладают высокой структурной пористостью и рыхлым составом. Лёссовые грунты легкого гранулометрического состава, такие как суглинки и супеси, из-за наличия в них карбоната кальция обладают высокой прочностью и морозостойкостью, поэтому наиболее пригодны к укреплению их цементом.

### Цель работы

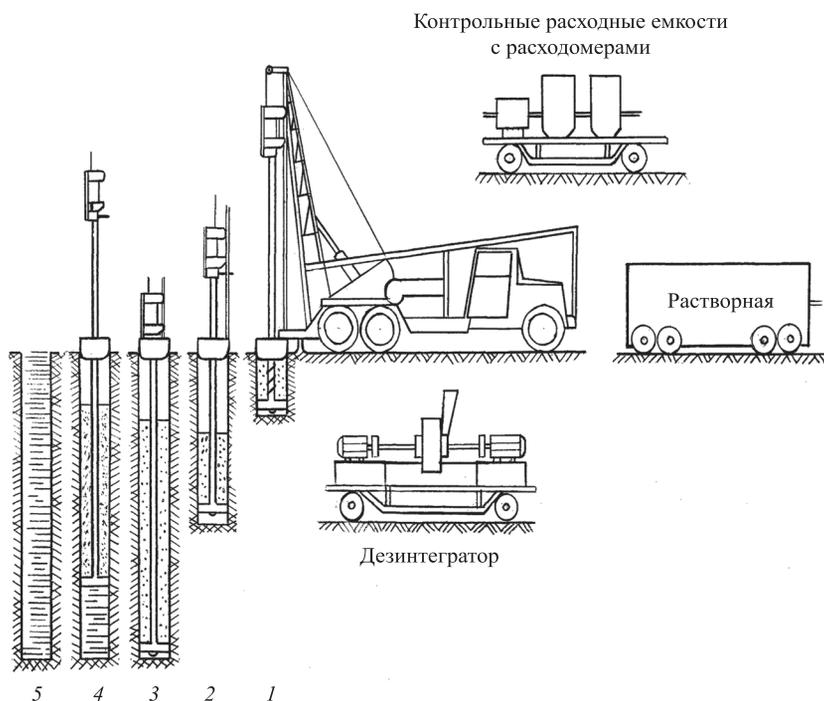
Целью работы является получение однородной цементогрунтовой смеси, включающей в себя не более 1 % частиц грунта крупнее 5 мм, возможно, с помощью механоактивации грунта.

### Материалы и методы

Однородность цементогрунтовой смеси обеспечивают буромесительным способом, увлажняя стружку лёссового грунта до тягучего состояния и смешивая ее с цементным раствором. Цементогрунт можно получить, используя смеси из супесчаных грунтов, содержащих до 15 % глинистых частиц. В этом случае расход цемента снижается почти вдвое, благодаря механоактивации грунтов.

Целью улучшения свойств лёссовых грунтов является борьба с их просадочностью. Преодолеть просадочность лёссовых грунтов можно только прорезкой всей просадочной толщи сваями фундаментов [1, 2]. Сооружение фундаментов на цементогрунтовых сваях по сравнению с ленточными обеспечивает существенную экономию цемента, снижение объема земляных работ, исключает необходимость изготовления опалубки и, как следствие, ускоряет выполнение нулевого цикла в 1,5–2 раза [3–7]. При этом монтаж цементогрунтовых свай буромесительным способом с механоактивацией позволяет сооружать свайные фундаменты рядом с существующими зданиями или сооружениями без опасения их разрушения.

Буромесительный способ изготовления цементогрунтовых свай фундаментов зданий и сооружений заключается в применении буромесителей, размельчающих грунт в скважине без выемки его на поверхность с одновременным введением в размельченный грунт цементного раствора (рис. 1).



**Рис. 1.** Технологическая схема изготовления цементогрунтовых свай буросмесительным методом: 1 — устройство приемки; 2 — погружение буросмесителя и перевод грунта в текучее состояние; 3 — скважина, заполненная грунтом текучей консистенции; 4 — выглубление буросмесителя и подача водогрунтоцементного раствора; 5 — готовая свая

**Fig. 1.** Technological scheme for the manufacture of cement-soil piles by drilling-mixing method: 1 — pit construction; 2 — immersion of the drilling mixer and transfer of the soil to a fluid state; 3 — a well filled with soil of fluid consistency; 4 — lifting of the drilling mixer and supply of water-soil-cement mortar; 5 — finished pile

Одним из важных достоинств буросмесительного способа изготовления цементогрунтовых свай фундаментов зданий и сооружений является способность закреплять все виды слабых и структурно-неустойчивых грунтов. Буросмесительный способ наиболее перспективен при укреплении лёссовых просадочных грунтов [1, 2]. Он может применяться как для сооружения новых свайных фундаментов, так и для реконструкции существующих.

К числу наиболее перспективных методов укрепления лёссовых просадочных грунтов следует отнести, прежде всего, комплексные методы укрепления грунтов [3], сочетающие в себе воздействие на грунт добавок различных связующих и активных химических реагентов, например поверхностно-активных веществ (ПАВ). Одним из этих методов является метод механоактивации грунтов, позволяющий уменьшить расход цемента и повысить прочность цементогрунтовых свай.

Образование структуры цементогрунтов происходит в два этапа:

- 1) перемешивание компонентов;
- 2) уплотнение параллельно с мелкодисперсным измельчением.

Обволакивание грунтов при перемешивании происходит с потерей поверхностной энергии, и внешняя энергия уходит на перемешивание грунтов и преодоление внутреннего трения.

При наличии смачивания за счет сил дисперсионного и химического взаимодействия происходит сцепление между грунтом и связующим. С увеличением удельной поверхности грунта повышается прочность структуры при условии сохранения удельного содержания связующего на единицу поверхности грунта. Значительные скорости стружкообразования грунтов, свойственные цементогрунтам, способствуют образованию аморфных структур, имеющих малую пластичность, но высокую прочность.

Известно, что одним из основных аналитических методов исследования является метод планирования экспериментов [8, 9], позволяющий сократить количество опытов путем уменьшения числа уровней варьирования факторов. Другим наиболее перспективным методом исследований следует считать метод математического моделирования [10, 11] которому свойственно повышение эффективности и сокращение времени исследований. Комплексное сочетание при

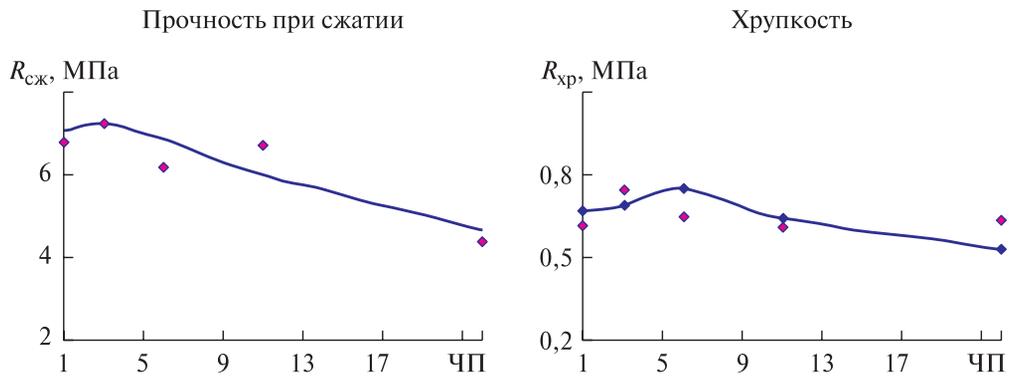


Рис. 2. Влияние типа грунта на показатели его прочности при сжатии и раскалывании  
 Fig. 2. The influence of soil type on the performance of its compressive strength and cracking

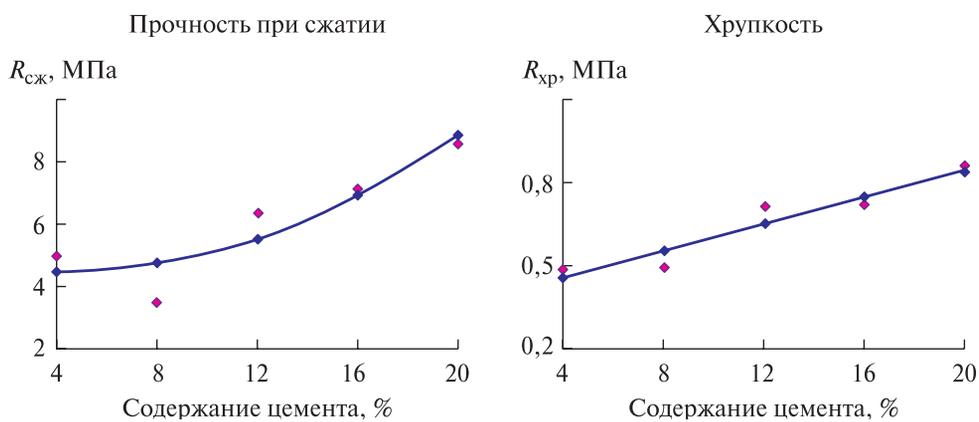


Рис. 3. Влияние количества цемента в зависимости от его доли в объеме механоактивированного грунта на показатели его прочности  
 Fig. 3. Influence of the amount of cement depending on its share in the volume of mechanically activated soil on its strength indicators

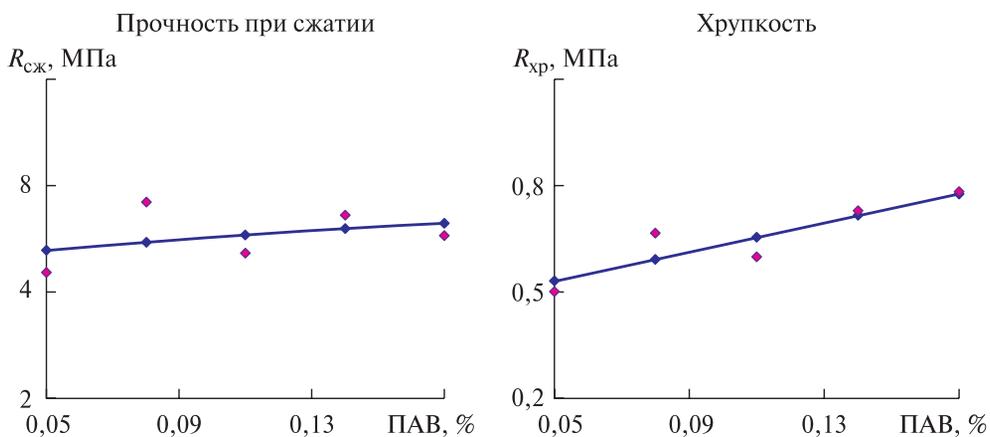


Рис. 4. Влияние содержания ПАВ на прочность цементогрунтов  
 Fig. 4. Influence of the content of surfactants on the strength of cement substrates

проведении исследований методом математического моделирования и планирования экспериментов позволяет выполнить работу на достаточном уровне точности и в кратчайшие сроки [3].

В исследованиях, рассмотренных в настоящей статье для создания модели эксперимента выбран вероятностно-детерминированный метод [3, 12].

### Результаты исследования

Результаты исследований, полученные вероятностно-детерминантным методом [3, 12], представлены в виде графиков (рис. 2–4). На графиках изображены две кривые: —♦— — теоретических и —■— — экспериментальных результатов исследования.

При проведении многофакторного эксперимента варьировались следующие параметры, влияющие на свойства цементогрунтовых свай:

– влияние типа грунта на показатели его прочности при сжатии и раскалывании (см. рис. 2);

– влияние количества цемента в зависимости от его доли в объеме механоактивированного грунта на показатели его прочности (см. рис. 3);

– влияние содержания ПАВ на прочность цементогрунтов (см. рис. 4).

Максимальная прочность достигнута при моделировании грунта типа супесь. С увеличением значения пластичности прочность при раскалывании уменьшается равномерно. По мере увеличения в грунте количества песчаных частиц изменяется структура смеси, поэтому максимальная прочность приходится на песчаный грунт. При небольшом количестве песка цементогрунт приобретает коагуляционную структуру, в которой крупные зерна погружены в цементирующее вещество и не образуют взаимных контактов.

При дальнейшем насыщении структуры грунта крупными зернами она переходит в коагуляционно-конденсационную структуру, а затем в конденсационно-коагуляционную. Впоследствии зерна склеиваются незначительной прослойкой цементирующих веществ, и образуется плотный каркас. Прочность цементогрунта увеличивается. Однако при этом снижается его пластичность и возрастает хрупкость (см. рис. 3).

Увеличение количества цемента в зависимости от его доли в объеме механоактивированного грунта увеличивает прочность грунта на сжатие и скалывание, потому что объем цемента в объеме смеси увеличивает количество связей, образующихся в результате кристаллизации структуры. Наибольший эффект повышения прочности цементогрунта происходит при введении более 12 % цемента [3], благодаря тому, что частицы связующего равномерно распределяются по объему цементогрунта. Однако это характерно только для повышения прочности при сжатии, так как прочность цементогрунта с высоким содержанием цемента в смеси практически не влияет на растяжение.

Для повышения морозостойкости цементогрунтовой смеси и интенсификации образования новых кристаллических связей в нее в качестве ПАВ был добавлен глицериновый гудрон, который, при этом, является отходом химической промышленности.

При введении в цементогрунт 0,1 % ПАВ, вследствие их адсорбции в его втором слое, прочность цементогрунта уменьшается. При адсорбции ПАВ в третьем слое прочность цементогрунта вновь увеличивается. Таким образом, при введении ПАВ прочность цементогрунта

увеличивается волнообразно. Цементогрунт при растяжении достигает максимальной прочности при введении 0,17 % ПАВ, при сжатии необходимо введение всего лишь 0,08 % ПАВ относительно объема цементогрунта.

## Выводы и рекомендации

Лучшим грунтом для укрепления цементом является супесь.

Эффект активации грунтового компонента уменьшается с первых минут выдержки молотого компонента на воздухе, поэтому сразу после активации его следует вводить в смесь. Временной резерв составляет не более 3 ч.

Дальнейшее увеличение доли молотого грунтового компонента не должно превышать 30–35 %, так как ее дальнейшее увеличение не обеспечивает ощутимый рост прочности.

Наибольший рост прочности цементогрунтов в зависимости от доли введенных механоактивированных компонентов обеспечивается введением в смесь до 12 % цемента. Дальнейшее увеличение доли цемента нецелесообразно, поскольку он не увеличивает прочность цементогрунта.

Добавка ПАВ эффективна только в объеме 0,08 % относительно массы смеси.

## Список литературы / References

- [1] Sakai T., Nakano M. Interpretation of the mechanical behavior of embankments having various compaction properties based on the soil skeleton structure. *Soils and Foundations*, 2015, no. 55, pp. 1069–1085.
- [2] Kumor L.A., Kumor M.K. Changes in mechanical parameters of soil, considering the effect of additional compaction of embankment. *Transportation Research Procedia*, 2016, no. 14, pp. 787–796.
- [3] Seregin N. An integrated way to improve the properties of soil-cement pile foundations. *J. E3S Web of Conferences*, 2020, no. 157, p. 06006.
- [4] Ang J.B., Fredriksson P.G. Trade, Global Policy, and the Environment: New Evidence and Issues. *J. of Comparative Economics*, 2018, no. 46, pp. 616–633.
- [5] Garmanov G., Urazaeva N. The paper presents design and calculation of cost effectiveness of various types of foundations on the example of the city of Vologda. *Procedia Engineering*, 2015, no. 117, pp. 465–475.
- [6] Aguiar dos Santos R., Rogério Esquivel E. Saturated anisotropic hydraulic conductivity of a compacted lateritic soil. *J. of Rock Mechanics and Geotechnical Engineering*, 2018, no. 10, pp. 986–991.
- [7] Lu Z., Xian S., Yao H., Fang R., She J. Influence of freeze-thaw cycles in the presence of a supplementary water supply on mechanical properties of compacted soil. *Cold Regions Science and Technology*, 2019, no. 157, pp. 4252.
- [8] Kante N., Kryshchuk M., Lavendels J. Charged Particle Location Modeling Based Experiment Plan Acquisition Method. *Procedia Computer Science*, 2017, v. 104, pp. 592–597.

- [9] Baraffe H.D., Cosson M., Bect J., Delille G., Francois B. A novel non-intrusive method using design of experiments and smooth approximation to speed up multi-period load-flows in distribution network planning. *Electric Power Systems Research*, 2018, v. 154, pp. 444–451.
- [10] Hong Y., Wang Y., Wu J., Jiao L., Chang X. Developing a mathematical modeling method for determining the potential rates of microbial ammonia oxidation and nitrite oxidation in environmental samples. *International Biodeterioration & Biodegradation*, 2018, v. 133, pp 116–123.
- [11] Jayanudin J., Fahrurrozi M., Wirawan S.K., Rochmadi R. Mathematical modeling of the red ginger oleoresin release from chitosan-based microcapsules using emulsion crosslinking method. *Engineering Science and Technology*, 2019, v. 22, iss. 2, pp. 458–467.
- [12] Stephenson C.L., Harris C.A. An assessment of dietary exposure to glyphosate using refined deterministic and probabilistic methods. *Food and Chemical Toxicology*, 2016, v. 95, pp 28–41.

## Сведения об авторах

**Серегин Николай Григорьевич** — канд. техн. наук, доцент ФГБОУ ВО «Московский государственный строительный университет» (НИУ МГСУ), SereginNG@mgsu.ru

**Запруднов Вячеслав Ильич** — д-р техн. наук, профессор МГТУ им. Н.Э. Баумана (Мытищинский филиал), zaprudnov@mgu.ac.ru

Поступила в редакцию 28.03.2020.

Принята к публикации 15.06.2020.

## RESEARCH OF PROPERTIES OF CEMENT-SOIL PILES OF FOUNDATIONS OF BUILDINGS AND STRUCTURES

N.G. Seregin<sup>1</sup>, V.I. Zaprudnov<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Moscow State Building University (NIU MGSU), 26, Yaroslavl highway, 129337, Moscow, Russia

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

SereginNG@mgsu.ru

The review of soil types prevailing in Western Siberia of the Russian Federation is presented. The compositions and physical and mechanical properties of soils are analyzed. Special attention is paid to loess subsidence soils. The problem of obtaining a homogeneous cement-ground mixture is formulated and set. The technological scheme of production of cement-ground piles of foundations of buildings and structures by drilling-mixing method with mechanical activation is considered. Considers methods of strengthening the loess subsidence of soils. Methods for studying the properties of cement-based piles of foundations of buildings and structures are formulated. A multi-factor experiment was conducted to evaluate the parameters that affect the properties of cement-based piles. Based on the research results, conclusions and recommendations are formulated.

**Keywords:** coherent soils, loams, clays, sandy loam, non-coherent sandy soils, stony soils, indigenous massive rocks, loess soils, pile Foundation, cement-based soils, cement-based mixture, subsidence of soils, cement-based piles, drilling and mixing method, mechanical activation of soils, complex method

**Suggested citation:** Seregin N.G., Zaprudnov V.I. *Issledovaniya povysheniya nesushchey sposobnosti gruntov osnovaniy metodom tsementatsii* [Research of properties of cement-soil piles of foundations of buildings and structures]. *Lesnoy vestnik / Forestry Bulletin*, 2020, vol. 24, no. 5, pp. 104–108.

DOI: 10.18698/2542-1468-2020-5-104-108

## Authors' information

**Seregin Nikolay Grigorievich** — Cand. Sci. (Tech.), Associate Professor of BMSTU (Mytishchi branch), SereginNG@mgsu.ru

**Zaprudnov Vyacheslav Il'ich** — Dr. Sci. (Tech.), Professor of the BMSTU (Mytishchi branch), zaprudnov@mgu.ac.ru

Received 28.03.2020.

Accepted for publication 15.06.2020.

## ПЛАНИРОВАНИЕ СЕАНСОВ НАБЛЮДЕНИЙ ИЗУЧАЕМЫХ ОБЪЕКТОВ НА ПОВЕРХНОСТИ ЗЕМЛИ С БОРТА РОССИЙСКОГО СЕГМЕНТА МКС

**А.М. Есаков**

ПАО РКК «Энергия», 141070, Московская обл., г. Королев, ул. Ленина, д. 4а

alexesakov@gmail.com

Приведен краткий обзор существующих (ручные фотокамеры и спектрометры) и разрабатываемых (гиперспектральная и инфракрасная аппаратура) средств российского сегмента МКС для дистанционного зондирования Земли. Рассмотрена задача планирования сеансов наблюдений Земли с борта МКС в рамках космических экспериментов «Ураган», «Дубрава», «Сценарий» при использовании ручной и стационарной аппаратуры.

**Ключевые слова:** Международная космическая станция, космические эксперименты, научная аппаратура

**Ссылка для цитирования:** Есаков А.М. Планирование сеансов наблюдений изучаемых объектов на поверхности Земли с борта российского сегмента МКС // Лесной вестник / Forestry Bulletin, 2020. Т. 24. № 5. С. 109–115. DOI: 10.18698/2542-1468-2020-5-109-115

В настоящее время Международная космическая станция (МКС) является единственной функционирующей пилотируемой космической платформой на околоземной орбите и в то же время самым дорогим космическим проектом в истории человечества, поэтому эффективное целевое использование этого уникального орбитального космического комплекса является актуальной для стран-эксплуатантов задачей.

Одно из направлений такого использования — дистанционное зондирование Земли (ДЗЗ), отработка на борту новой аппаратуры ДЗЗ и методов ее наиболее эффективного применения в полете в целях последующего использования на автоматических космических аппаратах [1]–[5].

С самого начала полета МКС на российском сегменте был организован космический эксперимент «Ураган», выполняемый совместно ПАО «РКК «Энергия» им. С.П. Королева и некоторыми научными организациями. Главной задачей эксперимента была отработка новой аппаратуры, методов и технологий изучения нашей планеты, а также потенциально опасных процессов и явлений природного и техногенного характера, приводящих к катастрофам и экологическим проблемам как на земной поверхности, так и в атмосфере.

При проведении научных исследований на борту орбитального комплекса постановщики эксперимента «Ураган» столкнулись с определенными трудностями, вызванными, в частности, спецификой управления ориентацией станции [6–9].

Вследствие того, что МКС имеет большие размеры и массу, а гиродины американского сегмента, отвечающие за ориентацию станции, имеют малое значение располагаемого кинетического момента, стало невозможно разворачивать стан-

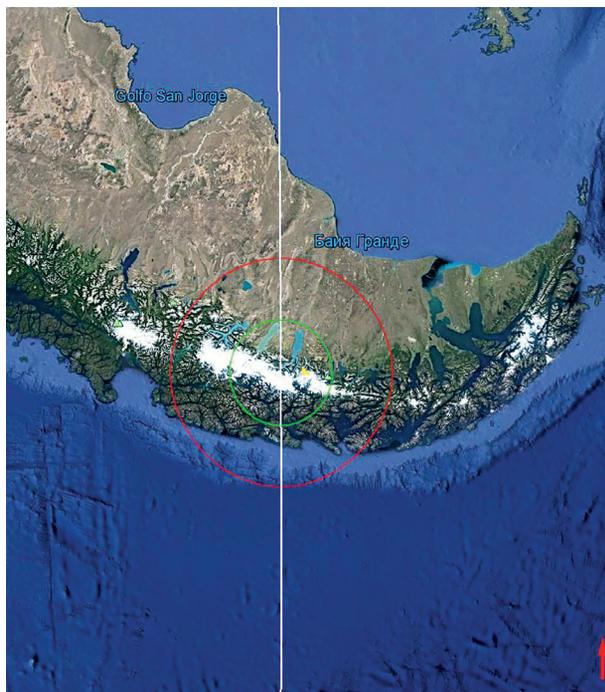
цию каждый раз, когда появляется необходимость отснять какой-либо объект, как это осуществлялось ранее на отечественных орбитальных комплексах «Салют» и «Мир», где использовалась жестко зафиксированная стационарная аппаратура [9].

Трудности, связанные с ориентацией МКС, привели к тому, что в эксперименте «Ураган» вместо стационарных стали использовать переносные камеры, при этом ориентацию аппаратуры для съемки обеспечивал сам космонавт [2–4, 10–13].

Использование таких образцов переносной аппаратуры, как фотокамеры, фотоспектральная система (ФСС), видеоспектральная система (ВСС), позволило преодолеть проблему наведения на исследуемые объекты — вместо разворота станции космонавт разворачивал камеру и снимал интересующий его объект.

Тем не менее, ручное наведение аппаратуры на исследуемый объект имеет свои недостатки. При выполнении экипажем съемки земной поверхности космический эксперимент существенно ограничивает невозможность круглосуточного проведения наблюдений. Причина этого заключается в выполнении требования по соблюдению установленного режима труда и отдыха космонавтов, занятости экипажа другими видами деятельности на борту российского сегмента МКС.

Логичным решением данной проблемы может быть применение автоматической аппаратуры ДЗЗ, функционирующей без участия экипажа. Работа в данном направлении уже ведется. Перспективными разрабатываемыми образцами научной аппаратуры такого типа являются следующие: «Система ориентирования видеоспектральной аппаратуры» («СОВА»), «Радиометр инфракрасный высокого разрешения» («РИВР») и др.



**Рис. 1.** Ледник Перито-Морено, Аргентина: белой линией указана трасса МКС; зеленой окружностью — поле зрения через иллюминатор с расстояния 750 мм; красной окружностью — поле зрения при отклонении оси визирования на 30°; желтой окружностью — объект наблюдения; красная стрелка показывает направление полета МКС

**Fig. 1.** Perito Moreno Glacier, Argentina: the white line indicates the ISS track; green circle - field of view through the window from a distance of 750 mm; red circle - field of view with deviation of the sighting axis by 30°; the yellow circle is the object of observation; red arrow shows the direction of the ISS flight

### Цель работы

Цель работы — рассмотрение задачи планирования наблюдений изучаемых объектов на поверхности Земли с борта российского сегмента МКС с использованием как переносной аппаратуры с ручным наведением, так и стационарной жестко закрепленной.

### Особенности планирования сеансов космического эксперимента при использовании переносной аппаратуры

На данный момент на российском сегменте МКС основными средствами ДЗЗ являются переносные фотокамеры высокого разрешения с длиннофокусными объективами и спектрометры (ФСС и ВСС) [14].

Проведение сеансов съемок осуществляется в рабочее и личное время экипажа (время, когда экипаж не занят плановыми работами по станции).

В случае реализации сеансов космического эксперимента в рабочее время осуществляется

планирование наиболее приоритетных объектов согласно программе эксперимента. При этом исходные данные для планирования недельного интервала съемок готовятся не позднее, чем за две недели до проведения сеанса.

При проведении сеансов космического эксперимента в личное время съемки планируются на более короткий интервал времени (3–4 дня) и исходные данные для планирования выдаются не менее чем за сутки до проведения съемок.

### Моделирование условий проведения сеансов космического эксперимента

При планировании съемок осуществляется моделирование, включающее в себя расчет баллистических условий наблюдений, погодных условий в районе исследуемого объекта и т. д. Результатом является радиограмма, содержащая в себе всю необходимую информацию для успешного проведения сеанса экипажем. Помимо расчетного времени зоны видимости, координат изучаемого объекта и инструкций по работе с аппаратурой в радиограмме содержатся смоделированные изображения подстилающей поверхности на запланированное время съемки. Как правило, для облегчения идентификации объекта исследования моделируется несколько вспомогательных изображений с различным масштабом. В качестве примера на рис. 1, 2 приведены смоделированные изображения в различном масштабе для осуществления съемки ледника Перито-Морено в Аргентине. Результат успешно выполненной съемки ледника приведен на рис. 3.

### Научная аппаратура «РИВР»

Разрабатываемая полностью автоматическая научная аппаратура «РИВР» лишена ограничений связанных с расписанием дня экипажа и призвана получить качественно новую информацию, отвечающую современным и перспективным требованиям потребителей данных космического мониторинга [14].

Базовые характеристики аппаратуры «РИВР»:

- число информационных каналов — 2;
- границы спектральных диапазонов информационных каналов по уровню 0,5:
  - 3,5...4,1 мкм;
  - 8,0...10,0 мкм;
- пространственное разрешение с номинальной орбиты МКС (400 км) — 30 м;
- полоса обзора — 70 км при высоте орбиты 400 км;
- эквивалентная шуму разность измеряемых температур на уровне 300 К:
  - в диапазоне 3,5...4,1 мкм —  $\leq 0,5$  К;
  - в диапазоне 8,0...10,0 мкм —  $\leq 0,2$  К;

– разрядность выходной информации — не менее 10 бит;

– режим работы — сеансный.

В аппаратуре «РИВР» использован принцип многострочного механического сканирования, который даже при сравнительно небольшом числе чувствительных элементов приемника излучения позволяет реализовать пространственное разрешение 30 м и полосу обзора 70 км (угол обзора 10°) при эквивалентной шуму разности измеряемых температур не менее 0,2 К на фоновом уровне температуры в 300 К.

Сканирование осуществляется плоским зеркалом, совершающим колебательные движения с периодом 1,144 с с помощью низкооборотного прецизионного привода. В качестве приемников излучения используются отечественные многоэлементные (матричные) инфракрасные фотоприемники форматом 4×288 элементов, охлаждаемые микрокриогенной системой до криогенных температур (80 К) и имеющие наработку на отказ не менее 6000 ч. Ось колебания сканирующего зеркала и линейки приемников излучения ориентированы вдоль направления полета космического аппарата, что позволяет за один цикл строчной развертки (скан) радиометра сформировать микрокадр форматом 288×2350 элементов. Микрокадры имеют перекрытие 10–40 элементов. При наземной обработке микрокадры подвергаются геометрической коррекции и «сшиваются» в единое трассовое изображение.

Для обеспечения радиометрической точности измерений и указанной коррекции в состав радиометра введены бортовые эталонные источники излучения — имитаторы абсолютно черного тела: «горячее» и «холодное». Калибровка по эталонным источникам осуществляется в начале и конце сеанса съемки. Выход аппаратуры на рабочий режим (съемка) — 7 мин [15].

### Планирование сеансов космического эксперимента при использовании научной аппаратуры «РИВР»

Для эффективного использования научной аппаратуры «РИВР» при планировании сеансов требуется учитывать приведенные выше характеристики прибора, в том числе дополнительные ограничения:

1) сравнительно небольшое поле зрения прибора (70 км при высоте орбиты 400 км) при отсутствии возможности изменять ориентацию прибора и станции для наведения на исследуемый объект;

2) ограниченный ресурс микрокриогенной системы (6000 ч);



Рис. 2. Ледник Перито-Морено, Аргентина: белой линией указана трасса МКС; желтой окружностью — объект наблюдения; красная стрелка показывает направление полета МКС

Fig. 2. Perito Moreno Glacier, Argentina: white line indicates ISS trail; the yellow circle is the object of observation; red arrow shows the direction of the ISS flight



Рис. 3. Ледник Перито-Морено, Аргентина. Съемка от 08.11.2018

Fig. 3. Perito Moreno Glacier, Argentina. Shooting from 08.11.2018

3) ограниченное количество включений.

Для наглядной иллюстрации зоны покрытия и частоты наблюдений, обеспечиваемых аппаратурой, на рис. 4, 5 приводится смоделированная трасса МКС соответственно за сутки и за неделю.

В зависимости от широты, на которой расположен изучаемый объект, можно рассчитывать на различную частоту наблюдений. В качестве примера были выбраны несколько вулканов. Для каждого объекта рассчитывалось количество обеспечиваемых аппаратурой наблюдений с учетом поля зрения 70 км (рис. 6).



Рис. 4. Трасса МКС за сутки  
Fig. 4. ISS route per day

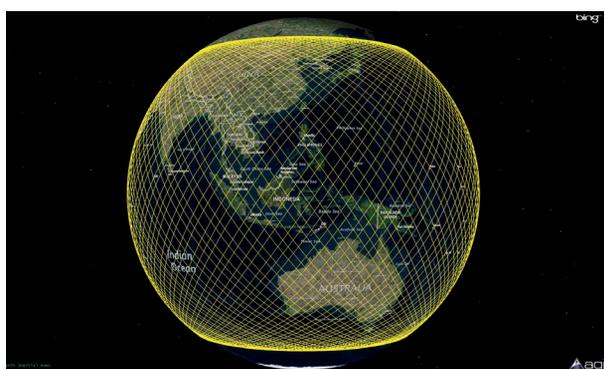


Рис. 5. Трасса МКС за неделю  
Fig. 5. ISS route for a week

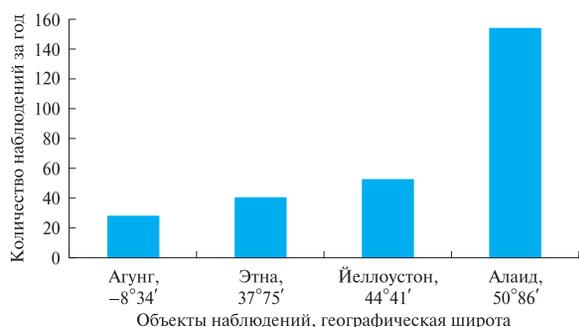


Рис. 6. Зависимость количества наблюдений от широты  
Fig. 6. Number of observations on latitude dependence

Гарантированный полетный ресурс научной аппаратуры «РИВР» составляет не менее 5400 ч, который определяется временем гарантированной работы микрокриогенной системы (не менее 6000 ч) и временем наработки при проведении регулировочных работ — ≈600 ч. Гарантированный полетный ресурс включает в себя предсеансную подготовку аппаратуры «РИВР» к работе (выход микрокриогенной системы на режим «Съемка»).

Таким образом, при эксплуатации на протяжении 6,5 лет (5 лет эксплуатации + 1,5 года остаточного ресурса) научная аппаратура «РИВР» будет обеспечивать три сеанса съемок в сутки (при продолжительности сеанса 30 мин).

При планировании наблюдений требуется выбрать оптимальный набор зон из общего числа возможных зон наблюдений. При этом сформированная программа наблюдений должна удовлетворять предъявляемому (выбранному) критерию. Критерий выбора зон может формироваться на основе различных требований — от максимизации эффективности наблюдений по выбранному критерию оценки эффективности (информативности) наблюдений до минимизации расхода выбранного вида ресурса, причем должны выполняться задаваемые условия/требования/ограничения по другим сформулированным критериям эффективности и видам ресурсов. Множество одиночных критериев можно свести к единому объединенному критерию путем их свертки в единый критерий оптимальности при различных весовых коэффициентах [16].

Для формализации задачи вводятся бинарные переменные  $x_j, j = 1, \dots, N$ , соответствующие всем возможным зонам наблюдений:

$$x_j = \begin{cases} 1; \\ 0, \end{cases}$$

где 1 —  $j$ -я зона наблюдений выполняется (планируется к проведению);

0 — не выполняется.

Задача планирования наблюдений формулируется следующим образом [8], [16]: требуется определить вектор  $X = \{x_j, j = 1, \dots, N\}$ , доставляющий максимум целевой функции

$$P(X) = \sum_{j=1}^N c_j x_j$$

при условиях

$$\sum_{j=1}^N a_{ij} x_j \geq b_i, \quad i = 1, \dots, m,$$

$$\sum_{j=1}^N a_{ij} x_j \leq b_i, \quad i = m + 1, \dots, M,$$

$$x_j + \sum_{q=1}^{m_j} \frac{x_{jq}}{m_j} \leq 1, \quad j = 1, \dots, N,$$

$$0 \leq x_j, \quad j = 1, \dots, N,$$

$$x_j \text{ — целое, } j = 1, \dots, N,$$

где элементы строки  $c_j$  и матрицы  $a_{ij}$  — информативность и потребные ресурсы зон; элементы столбца  $b_i$  — ограничения на информативность и расход ресурсов;  $\{x_{jq}, q = 1, \dots, m_j\}$  — перечень зон, не совместимых с зоной  $x_j$ .

Сформулированная задача является частичнo-целочисленной задачей линейного программирования и решается методами линейного и целочисленного программирования [16].

## Выводы

Установлено, что при планировании проведения наблюдений с помощью научной аппаратуры «РИВР» приоритетно решение задачи оптимизации программы наблюдений в целях нахождения оптимального количества включений аппаратуры для съемки объектов, входящих в программу исследований. Эта задача решается с помощью методов, изложенных в работах [8], [16], доработанных нами с учетом указанной специфики аппаратуры.

Получаемая в ходе проведения сеансов съемки информация позволит решать различные задачи по контролю опасных объектов, в том числе контролировать развитие лесных пожаров [17], [18].

## Список литературы

- [1] Belyaev M.Yu., Desinov L.V. Study of the Environment from the ISS in the URAGAN Program // 23<sup>rd</sup> International symposium on Space Technology and science. May 26–June 2, 2002. Matsuc, Japan, Abstracts, 2002, p. 74.
- [2] Belyaev M.Yu., Karavaev D.Yu., Dessinov L.V. Specifics of conducting and using imagery of the earth's surface performed by the Russian iss crew // «64<sup>th</sup> International Astronautical Congress, IAC–2013», Beijing, China, 23–27 September 2013, pp. 3744–3751.
- [3] Belyaev M.Yu., Desinov L.V., Karavaev D.Yu., Legostaev V.P., Ryazantsev V.V., Yurina O.A. Features of imaging the Earth surface and using the results of the imaging made by the ISS Russian segment crews // Space Engineering and technology, 2015, no. 1 (8), pp. 17–30.
- [4] Беляев М.Ю., Виноградов П.В., Десинов Л.В., Кумакшев С.К., Секерж-Зенькович С.Я. Идентификация источника океанских кольцевых волн около острова Дарвин по фотоснимкам из космоса // Известия РАН. Теория и системы управления, 2011, № 1. С. 70–81.
- [5] Belyaev M.Yu., Wikelski M., Lampen M., Legostaev V.P., Müller U., Naumann W., Tertitsky G.M., Yurina O.A. Technology for studying movements of animals and birds on Earth using ICARUS equipment on the Russian segment of the ISS // Space Engineering and Technology, 2015, no. 3 (10), pp. 38–51.
- [6] Belyaev M.Yu. Experiments planning and control aboard the International Space Station // Fifth International Symposium on space mission operations and ground data systems. June 1–5, 1998, Tokyo, Japan.
- [7] Микрин Е.А., Беляев М.Ю. Управление при наведении исследовательской аппаратуры орбитальной станции на изучаемые объекты // X Всерос. мультиконф. по проблемам управления (МКПУ–2017). В 3-х т. / под ред. И.А. Калеева. Ростов-на-Дону: Южный федеральный университет, 2017. С. 172–174.
- [8] Belyaev M.Yu., Borovikhin P.A., Karavaev D.Y., Rulev D.N. Controlling steerable platforms to point scientific instruments at survey targets in the URAGAN experiment onboard the international space station // 24th Saint Petersburg International Conference on Integrated Navigation Systems, ICINS 2017-Proceedings 24, Saint Petersburg, 29–31 May 2017 г. Saint Petersburg: Concern Central Scientific and Research Institute Elektropribor, 2017, p. 7995573.
- [9] Ryumin V.V., Belyaev M.Yu. Problems of control arised during the implementation of scientific research program onboard the multipurpose orbital station // Acta Astronautica, 1987, vol. 15, pp. 739–746.
- [10] Belyaev B.I., Belyaev M.Yu., Desinov L.V., Rogovets A.V., Ryazantsev V.V., Sarmin E.E., Sosenko V.A. Flight testing of research equipment «Photospectral system» onboard ISS RS // The Space Engineering and Technology magazine, 2014, no. 1, pp. 22–28.
- [11] Belyaev B.I., Belyaev M.Yu., Sarmin E.E., Gusev V.F., Desinov L.V., Ivanov V.A., Krot Yu.A., Martinov A.O., Ryazantsev V.V., Sosenko V.A. Design and flight tests of science hardware video-spectral system on board the russian segment of the ISS // The Space Engineering and Technology magazine, 2016, no. 2 (13), pp. 12–20.
- [12] Belyaev M.Yu., Desinov L.V., Karavaev D.Yu., Sarmin E.E., Yurina O.A. Providing hardware and Mathematical Software for the Study of the Earth' Surface Onboard the Russian Segment of the International Space Station under the program «Hurricane» // Cosmonautics and Rocket Engineering, 2015, no. 1 (80), pp. 63–70.
- [13] Беляев М.Ю., Десинов Л.В. Караваев Д.Ю. Сармин Э.Э. Юрина О.А. Изучение с борта российского сегмента Международной космической станции в рамках программы «Ураган» катастрофических явлений, вызывающих экологические проблемы // Космонавтика и ракетостроение, 2015, № 1. С. 71–79.
- [14] Belyaev M.Y., Cheremisin M.V., Esakov A.M. Integrated monitoring of earth surface from onboard ISS Russian segment // 69th Int. Astronautical Congr. (IAC), Bremen, Germany, 1–5 October 2018. Bremen: International Astronautical Federation (IAF), IAC-18-F1.2.3, pp. 1–9.
- [15] Акимов Н.П., Беляев М.Ю., Гектин Ю.М., Есаков А.М., Зайцев А.А., Серебряков Д.С., Черемисин М.В. Коган С.Д. Использование инфракрасного радиометра высокого разрешения для исследования потенциально опасных и катастрофических явлений и объектов на земной поверхности в эксперименте «Ураган» на МКС // Труды ЛП Чтений К.Э. Циолковского, секция «Проблемы ракетной и космической техники». Казань: Изд-во Казанского ун-та, 2018. С. 22–30.
- [16] Беляев М.Ю., Рулев Д.Н. Оптимизация программы экспериментов при оперативном планировании исследований, выполняемых с КА // Космические исследования, 1987. Т. 25. Вып. 1. С. 30–36.
- [17] Беляев М.Ю., Есаков А.М., Рулев Д.Н., Рулев Н.Д. Способ контроля лесного пожара с космического аппарата. Патент на изобретение RU 2683142 C1, 26.03.2019.
- [18] Беляев М.Ю., Есаков А.М., Рулев Д.Н., Рулев Н.Д. Способ контроля лесного пожара с космического аппарата. Патент на изобретение RU 2683143 C1, 26.03.2019.

## Сведения об авторе

**Есаков Алексей Михайлович** — инженер ПАО РКК «Энергия», alexesakov@gmail.com

Поступила в редакцию 20.03.2020.

Принята к публикации 14.06.2020.

## PLANNING OF OBSERVATION SESSIONS OF THE STUDIED OBJECTS ON THE SURFACE OF THE EARTH FROM THE RUSSIAN SEGMENT OF THE ISS

**A.M. Esakov**

RSC Energia, 4a, Lenin st., 141070, Korolev, Moscow reg., Russia

alexesakov@gmail.com

A brief review of existing (handheld cameras and spectrometers) and developed (hyperspectral and infrared equipment) means of the Russian segment of the ISS for remote sensing of the Earth is given. The problem of planning Earth observation sessions from the ISS in the framework of space experiments «Uragan», «Dubrava», «Scenario» using manual and stationary equipment is considered.

**Keywords:** International Space Station, space experiments, scientific equipment

**Suggested citation:** Esakov A.M. *Planirovanie seansov nablyudeniy izuchaemykh ob'ektov na poverkhnosti Zemli s borta rossiyskogo segmenta MKS* [Planning of observation sessions of the studied objects on the surface of the Earth from the Russian segment of the ISS]. *Lesnoy vestnik / Forestry Bulletin*, 2020, vol. 24, no. 5, pp. 109–115. DOI: 10.18698/2542-1468-2020-5-109-115

### References

- [1] Belyaev M.Yu., Desinov L.V. Study of the Environment from the ISS in the URAGAN Program. 23<sup>rd</sup> International symposium on Space Technology and science. May 26–June 2, 2002. Matsuc, Japan, Abstracts, 2002, p. 74.
- [2] Belyaev M.Yu., Karavaev D.Yu., Desinov L.V. Specifics of conducting and using imagery of the Earth's surface performed by the Russian ISS crew. «64<sup>th</sup> International Astronautical Congress, IAC-2013», Beijing, China, 23–27 September 2013, pp. 3744–3751.
- [3] Belyaev M.Yu., Desinov L.V., Karavaev D.Yu., Legostaev V.P., Ryazantsev V.V., Yurina O.A. Features of imaging the Earth surface and using the results of the imaging made by the ISS Russian segment crews. *Space Engineering and technology*, 2015, no. 1 (8), pp. 17–30.
- [4] Belyaev M.Yu., Vinogradov P.V., Desinov L.V., Kumakshv S.K., Sakerzh-Zen'kovich S.Ya. *Identifikatsiya istochnika okeanskikh kol'tsevykh voln okolo ostrova Darwin po fotosnimkam iz kosmosa* [Identification of the source of ocean ring waves near the island of Darwin from photographs from space]. *Bulletin of the Russian Academy of Sciences Theory and Control Systems*, 2011, no. 1, pp. 70–81.
- [5] Belyaev M.Yu., Wikelski M., Lampen M., Legostaev V.P., Müller U., Naumann W., Tertitsky G.M., Yurina O.A. Technology for studying movements of animals and birds on Earth using ICARUS equipment on the Russian segment of the ISS. *Space Engineering and Technology*, 2015, no. 3 (10), pp. 38–51.
- [6] Belyaev M.Yu. Experiments planning and control aboard the International Space Station. Fifth International Symposium on space mission operations and ground data systems. June 1–5, 1998, Tokyo, Japan.
- [7] Mikrin E.A., Belyaev M.Yu. *Upravlenie pri navedenii issledovatel'skoy apparatury orbital'noy stantsii na izuchaemye ob'ekty* [Management when pointing the research equipment of the orbital station to the objects under study]. X Vserossiyskaya mul'tikonferentsiya po problemam upravleniya (MKPU-2017). V 3-kh tomakh [X All-Russian Multi-Conference on Control Problems (MKPU-2017). In 3 volumes] Ed. I.A. Kalyaev. Rostov-on-Don: Southern Federal University, 2017, pp. 172–174.
- [8] Belyaev M.Yu., Borovikhin P.A., Karavaev D.Y., Rulev D.N. Controlling steerable platforms to point scientific instruments at survey targets in the URAGAN experiment onboard the international space station. 24th Saint Petersburg International Conference on Integrated Navigation Systems, ICINS 2017-Proceedings 24, Saint Petersburg, 29–31 May 2017 г. Saint Petersburg: Concern Central Scientific and Research Institute Elektropribor, 2017, p. 7995573.
- [9] Ryumin V.V., Belyaev M.Yu. Problems of control arised during the implementation of scientific research program onboard the multipurpose orbital station. *Acta Astronautica*, 1987, vol. 15, pp. 739–746.
- [10] Belyaev B.I., Belyaev M.Yu., Desinov L.V., Rogovets A.V., Ryazantsev V.V., Sarmin E.E., Sosenko V.A. Flight testing of research equipment «Photospectral system» onboard ISS RS. *The Space Engineering and Technology magazine*, 2014, no. 1, pp. 22–28.
- [11] Belyaev B.I., Belyaev M.Yu., Sarmin E.E., Gusev V.F., Desinov L.V., Ivanov V.A., Krot Yu.A., Martinov A.O., Ryazantsev V.V., Sosenko V.A. Design and flight tests of science hardware video-spectral system on board the Russian segment of the ISS. *The Space Engineering and Technology magazine*, 2016, no. 2 (13), pp. 12–20.
- [12] Belyaev M.Yu., Desinov L.V., Karavaev D.Yu., Sarmin E.E., Yurina O.A. Providing hardware and Mathematical Software for the Study of the Earth's Surface Onboard the Russian Segment of the International Space Station under the program «Hurricane». *Cosmonautics and Rocket Engineering*, 2015, no. 1(80), pp. 63–70.
- [13] Belyaev M.Yu., Desinov L.V., Karavaev D.Yu., Sarmin E.E., Yurina O.A. *Izuchenie s borta rossiyskogo segmenta Mezhdunarodnoy kosmicheskoy stantsii v ramkakh programmy «Uragan» katastroficheskikh yavleniy, vyzvyayushchikh ekologicheskie problemy* [Studying onboard the Russian segment of the International Space Station in the framework of the Hurricane program of catastrophic phenomena causing environmental problems]. *Kosmonavtika i raketostroenie* [Cosmonautics and Rocket Engineering], 2015, no. 1, pp. 71–79.
- [14] Belyaev M.Y., Cheremisin M.V., Esakov A.M. Integrated monitoring of earth surface from onboard ISS Russian segment. 69th International Astronautical Congress (IAC), Bremen, Germany, 1–5 October 2018. Bremen: International Astronautical Federation (IAF), IAC-18-F1.2.3, pp. 1–9.

- [15] Akimov N.P., Belyaev M.Yu., Gektin Yu.M., Esakov A.M., Zaytsev A.A., Serebryakov D.S., Cheremisin M.V. Kogan S.D. *Is-pol'zovanie infrakrasnogo radiometra vysokogo razresheniya dlya issledovaniya potentsial'no opasnykh i katastroficheskikh yavleniy i ob'ektov na zemnoy poverkhnosti v eksperimente «Uragan» na MKS* [Using a high-resolution infrared radiometer to study potentially dangerous and catastrophic phenomena and objects on the Earth's surface in the Hurricane experiment on the ISS]. Trudy LII Chteniy K.E. Tsiolkovskogo, sektiya «Problemy raketnoy i kosmicheskoy tekhniki» [Proceedings of LII Readings by KE Tsiolkovsky, section «Problems of rocket and space technology»]. Kazan: Kazan University Publishing House, 2018, pp. 22–30.
- [16] Belyaev M.Yu., Rulev D.N. *Optimizatsiya programmy eksperimentov pri operativnom planirovanii issledovaniy, vypolny-aemykh s KA* [Optimization of the experimental program in the operational planning of studies performed with spacecraft]. Kosmicheskie issledovaniya [Space Research], 1987, v. 25, iss. 1, pp. 30–36.
- [17] Belyaev M.Yu., Esakov A.M., Rulev D.N., Rulev N.D. *Sposob kontrolya lesnogo pozhara s kosmicheskogo apparata* [A method of controlling a forest fire from a spacecraft]. Invention RU 2683142 C1.
- [18] Belyaev M.Yu., Esakov A.M., Rulev D.N., Rulev N.D. *Sposob kontrolya lesnogo pozhara s kosmicheskogo apparata* [A method of controlling a forest fire from a spacecraft]. Invention RU 2683143 C1.

## Author's information

**Esakov Aleksey Mikhailovich** — Engineer of RSC Energia, alexesakov@gmail.com

Received 20.03.2020.

Accepted for publication 14.06.2020.

## ПРИМЕНЕНИЕ НЕЧЕТКИХ МНОЖЕСТВ ВТОРОГО ТИПА И Z-ЧИСЕЛ ДЛЯ ФОРМАЛИЗАЦИИ ГРУППОВОЙ ЭКСПЕРТНОЙ ИНФОРМАЦИИ

О.М. Полещук

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

poleshchuk@mgul.ac.ru

Разработаны две модели формализации групповой экспертной информации на основе нечетких множеств второго типа и Z-чисел. Построение нечетких множеств второго типа и компонент Z-чисел осуществляется с помощью полных ортогональных семантических пространств. Построение семантических пространств осуществляется с использованием статистической информации или информации, полученной в результате прямого опроса экспертов. Входной информацией для модели на основе нечетких множеств второго типа являются лингвистические оценки объектов. Входной информацией для модели на основе Z-чисел являются лингвистические оценки объектов и достоверность этих оценок. Разработанные модели расширяют возможности обработки экспертной информации, позволяют сохранять заложенные в данных индивидуальные особенности экспертных критериев и при этом корректно обрабатывать присущие этим данным разные типы неопределенности.

**Ключевые слова:** нечеткие множества второго типа, Z-число, Z-информация, экспертная оценка, формализация

**Ссылка для цитирования:** Полещук О.М. Применение нечетких множеств второго типа и Z-чисел для формализации групповой экспертной информации // Лесной вестник / Forestry Bulletin, 2020. Т. 24. № 5. С. 116–121. DOI: 10.18698/2542-1468-2020-5-116-121

Обработка экспертной информации традиционно является нетривиальной проблемой, поскольку учитываются субъективная составляющая этой информации, особенности мыслительной деятельности человека, его опыт и заложенные в информации разные типы неопределенности, такие, как нечеткость и случайность [1].

Развитие теории нечетких множеств дало новые возможности для обработки экспертной информации и принятия решений в проблемных областях [2–7].

Согласно работе [2] лингвистической переменной называется пятерка

$$\{X, T(X), U, V, S\},$$

где  $X$  — название переменной;

$T(X) = \{X_i, i = \overline{1, m}\}$  — терм-множество переменной  $X$ ;

$V$  — синтаксическое правило, порождающее названия значений лингвистической переменной  $X$ ;

$S$  — семантическое правило, которое ставит в соответствие каждой нечеткой переменной с названием из  $T(X)$  нечеткое подмножество универсального множества  $U$ .

Семантическим пространством называется лингвистическая переменная с фиксированным терм-множеством [2].

Лингвистические переменные, функции принадлежности  $\mu_l(x), l = \overline{1, m}$  которых, удовлетворяют сформулированным ниже требованиям (1–4), получили название полных ортогональных семантических пространств [5]:

1. Для каждого понятия  $X_l, l = \overline{1, m}$  существует  $\hat{U}_l \neq \emptyset$ , где  $\hat{U}_l = \{x \in U : \mu_l(x) = 1\}$  есть точка или отрезок.

2. Пусть  $\hat{U}_l = \{x \in U : \mu_l(x) = 1\}$ , тогда

$\mu_l(x), l = \overline{1, m}$  не убывает слева от  $\hat{U}_l$  и не возрастает справа от  $\hat{U}_l$ .

3.  $\mu_l(x), l = \overline{1, m}$  имеют не более двух точек разрыва первого рода.

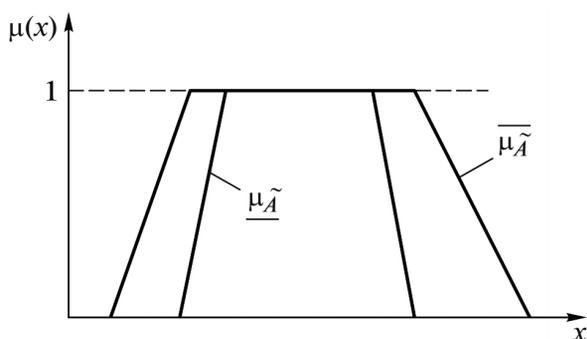
4. Для каждого  $x \in U$   $\sum_{l=1}^m \mu_l(x) = 1$ .

На данный момент разработано достаточно методов, формализующих экспертную информацию, поступающую от единичного эксперта, на основе полных ортогональных семантических пространств [8, 9]. Формализуя групповую экспертную информацию, важно сохранить ценную составляющую критерия каждого эксперта, построить не усредненный критерий, а собрать разброс экспертных мнений.

Помочь в этом могут нечеткие множества второго типа [10]. Отличие этих множеств от обычных нечетких множеств (которые называют нечеткими множествами первого типа) состоит в том, что значениями их функций принадлежности являются не числа из отрезка  $[0, 1]$ , а нечеткие множества из этого отрезка. Оперировать с нечеткими множествами второго типа достаточно сложно, поэтому для решения практических задач используют их частный случай — интервальные нечеткие множества второго типа, значениями

функций принадлежности которых являются отрезки.

Интервальные нечеткие множества второго типа традиционно определяются верхней  $\mu_{\tilde{A}}$  (UMF) и нижней  $\mu_{\tilde{A}}$  функциями принадлежности (LMF) (рисунок).



Интервальное нечеткое множество второго типа  $\tilde{A}$  с LMF  $\mu_{\tilde{A}}$  и UMF  $\overline{\mu_{\tilde{A}}}$   
Interval fuzzy set of the second type  $\tilde{A}$  with LMF  $\mu_{\tilde{A}}$  and UMF  $\overline{\mu_{\tilde{A}}}$

Однако модели формализации групповой экспертной информации на основе интервальных нечетких множеств второго типа отсутствуют, возможно, по причине сложного оперирования.

Существенной проблемой задач обработки экспертной информации долгие годы являлось отсутствие методов оценки надежности (достоверности) данных, поступающих от экспертов. С появлением понятия Z-числа, определенным профессором Лотфи Заде в 2011 г., этот пробел был ликвидирован [11].

Z-числом называется упорядоченная пара нечетких чисел  $Z = (A, R)$ , где  $A$  — нечеткое число с функцией принадлежности  $\mu_A(x) : X \rightarrow [0, 1]$ , которое является нечетким расширением значений действительной переменной  $X$ , а  $R$  — нечеткое число с функцией принадлежности  $\mu_R(x) : [0, 1] \rightarrow [0, 1]$ , которое является нечетким расширением значений меры надежности первой компоненты  $A$ , такой, как достоверность, уровень доверия, вероятность, возможность [11].

С 2011 г. авторы работ [12–23] внесли значительный вклад в развитие теоретических основ Z-чисел и их применения для решения актуальных практических задач.

В работе [12] было предложено оперировать Z-числами на основе их уровневых множеств, в работе [13] было предложено использовать Z-числа для формализации приближенных рассуждений. В работе [14] рассматривалась проблема принятия решений с помощью конвертации Z-чисел в обычные числа с целью их дальнейшего ранжирования. Исследователей не устроил

подобный подход по причине потери части исходной информации, поэтому был предложен новый подход к ранжированию Z-чисел с использованием расширения ожидаемой функции полезности [19]. Этот подход основан на прямом оперировании Z-числами, что является достаточно сложной процедурой, которая к тому же не обеспечивает получение аналитического вида функции принадлежности результата операции. Подход к оперированию Z-числами при условии, что вторая компонента является нечетким расширением значений вероятности предложен в работах [17, 22]. В работе [18] при том же условии разработана модель формализации информации группы экспертов на основе t-нормы and t-конормы [1]. Работы [15, 16, 20] посвящены поддержке принятия решений в условиях Z-информации (информации, содержащей Z-числа). В работе [21] для решения задачи по выбору наилучшей альтернативы использована мера Жаккара.

Учитывая актуальность формализации групповой экспертной информации, но практическое отсутствие моделей на основе интервальных нечетких множеств второго типа и Z-чисел, в настоящей работе разработано две модели, частично ликвидирующие этот пробел.

### Модель формализации групповой экспертной информации на основе интервальных нечетких множеств второго типа

Предположим, что для оценивания некоторой характеристики эксперты используют вербальную шкалу с уровнями  $X_l, l = 1, m$ . Каждому уровню поставим в соответствие нечеткие числа с функциями принадлежности  $\mu_l(x), l = 1, m$ , которые на универсальном множестве  $[0, 1]$  являются T-числами или нормальными треугольными числами [1]. Эти числа в совокупности образуют полное ортогональное семантическое пространство, которое назовем экспертным критерием. Опишем построение функций принадлежности в соответствии с методом, представленным в работе [8].

Обозначим относительные числа объектов, отнесенные экспертом к уровню  $X_l, l = 1, m$ , со-

ответственно через  $a_l, l = 1, m, \sum_{l=1}^m a_l = 1$ . Постро-

ение функции принадлежности  $\mu_l(x), l = 1, m$  осуществляется таким образом, что площадь фигуры, ограниченной графиком функции  $\mu_l(x), l = 1, m$  и осью абсцисс, была равна  $a_l, l = 1, m$ . Например, если  $a_1 = 0,1; a_2 = 0,5; a_3 = 0,4$ , то  $\mu_1(x) = (0, 0,05, 0, 0,1), \mu_2(x) = (0,15, 0,4, 0,1, 0,4), \mu_3(x) = (0,8, 1, 0,4, 0)$ .

Первые два параметра функций принадлежности — абсциссы соответственно крайней левой и крайней правой точек интервала толерантности (на котором значения функций принадлежности равно единице), вторые два параметра — соответственно левый и правый коэффициенты нечеткости (на которых значения функции принадлежности изменяются от нуля до единицы).

Рассмотрим построенные  $k$  экспертных критериев (полных ортогональных семантических пространств) с функциями принадлежности  $\mu_{il}(x) = (a_1^{il}, a_2^{il}, a_L^{il}, a_R^{il})$ ,  $i = \overline{1, k}$ ,  $l = \overline{1, m}$ . В работе [7] на основе этих критериев определяем обобщенный групповой критерий в виде полного ортогонального семантического пространства с функциями принадлежности  $\mu_l(x) = (a_1^l, a_2^l, a_L^l, a_R^l)$ ,  $l = \overline{1, m}$  из условия:

$$F = \sum_{l=1}^m \sum_{i=1}^k \omega_i \left[ (a_1^{il} - a_1^l)^2 + (a_2^{il} - a_2^l)^2 \right] + \sum_{l=1}^m \sum_{i=1}^k \omega_i \left[ (a_L^{il} - a_L^l)^2 + (a_R^{il} - a_R^l)^2 \right] \rightarrow \min.$$

Решение оптимизационной задачи позволяет получить следующие результаты:

$$a_1^l = \sum_{i=1}^k \omega_i a_1^{il}, \quad a_2^l = \sum_{i=1}^k \omega_i a_2^{il}, \quad a_L^l = \sum_{i=1}^k \omega_i a_L^{il},$$

$$a_R^l = \sum_{i=1}^k \omega_i a_R^{il}, \quad l = \overline{1, m}.$$

Рассмотрим параметры функций принадлежности  $a_1^{il}, a_2^{il}, i = \overline{1, k}, l = \overline{1, m}$ .

Вычислим  $s_{1l}^2 = \frac{1}{k-1} \sum_{i=1}^k (a_1^{il} - a_1^l)^2$  и

$$s_{2l}^2 = \frac{1}{k-1} \sum_{i=1}^k (a_2^{il} - a_2^l)^2, \quad l = \overline{1, m}.$$

Для параметров обобщенного экспертного критерия  $\hat{a}_1^l, \hat{a}_2^l, l = \overline{1, m}$  построим доверительные интервалы, используя распределение Стьюдента:

$$\sum_{i=1}^k \omega_i a_1^{il} - \frac{s_{1l} \Delta_{k-1, \alpha}}{\sqrt{k}} \leq \hat{a}_1^l \leq \sum_{i=1}^k \omega_i a_1^{il} + \frac{s_{1l} \Delta_{k-1, \alpha}}{\sqrt{k}},$$

$$\sum_{i=1}^k \omega_i a_2^{il} - \frac{s_{2l} \Delta_{k-1, \alpha}}{\sqrt{k}} \leq \hat{a}_2^l \leq \sum_{i=1}^k \omega_i a_2^{il} + \frac{s_{2l} \Delta_{k-1, \alpha}}{\sqrt{k}},$$

$l = \overline{1, m}$ , где  $\Delta_{k-1, \alpha}$  находится из таблицы для вероятностей  $P(|t_{k-1}| > \Delta_{k-1, \alpha}) = \alpha$  распределения Стьюдента  $t_{k-1}$ .

В результате такого построения формализованная групповая экспертная информация представляется в виде лингвистической переменной, значениями которой являются интервальные нечеткие множества второго типа, верхние  $f_l(x)$  и нижние  $\overline{f_l(x)}$  функции принадлежности которых, соответственно задаются параметрами:

$$\overline{f_l(x)} = \left( \sum_{i=1}^k \omega_i a_1^{il} - \frac{s_{1l} \Delta_{k-1, \alpha}}{\sqrt{k}}, \sum_{i=1}^k \omega_i a_2^{il} + \frac{s_{2l} \Delta_{k-1, \alpha}}{\sqrt{k}}, \sum_{i=1}^k \omega_i a_L^{il}, \sum_{i=1}^k \omega_i a_R^{il} \right), \quad l = \overline{1, m},$$

$$f_l(x) = \left( \sum_{i=1}^k \omega_i a_1^{il} + \frac{s_{1l} \Delta_{k-1, \alpha}}{\sqrt{k}}, \sum_{i=1}^k \omega_i a_2^{il} - \frac{s_{2l} \Delta_{k-1, \alpha}}{\sqrt{k}}, \sum_{i=1}^k \omega_i a_L^{il}, \sum_{i=1}^k \omega_i a_R^{il} \right), \quad l = \overline{1, m}.$$

Если  $\sum_{i=1}^k \omega_i a_1^{il} + \frac{s_{1l} \Delta_{k-1, \alpha}}{\sqrt{k}} > \sum_{i=1}^k \omega_i a_2^{il}$ , то

$$\overline{f_l(x)} = \left( \sum_{i=1}^k \omega_i a_1^{il} - \frac{s_{1l} \Delta_{k-1, \alpha}}{\sqrt{k}}, \sum_{i=1}^k \omega_i a_2^{il} + \frac{s_{2l} \Delta_{k-1, \alpha}}{\sqrt{k}}, \sum_{i=1}^k \omega_i a_L^{il}, \sum_{i=1}^k \omega_i a_R^{il} \right), \quad l = \overline{1, m},$$

$$f_l(x) = \left( \sum_{i=1}^k \omega_i a_1^{il}, \sum_{i=1}^k \omega_i a_2^{il} - \frac{s_{2l} \Delta_{k-1, \alpha}}{\sqrt{k}}, \sum_{i=1}^k \omega_i a_L^{il}, \sum_{i=1}^k \omega_i a_R^{il} \right), \quad l = \overline{1, m}.$$

Если  $\sum_{i=1}^k \omega_i a_2^{il} - \frac{s_{2l} \Delta_{k-1, \alpha}}{\sqrt{k}} < \sum_{i=1}^k \omega_i a_1^{il}$ , то

$$\overline{f_l(x)} = \left( \sum_{i=1}^k \omega_i a_1^{il} - \frac{s_{1l} \Delta_{k-1, \alpha}}{\sqrt{k}}, \sum_{i=1}^k \omega_i a_2^{il} + \frac{s_{2l} \Delta_{k-1, \alpha}}{\sqrt{k}}, \sum_{i=1}^k \omega_i a_L^{il}, \sum_{i=1}^k \omega_i a_R^{il} \right), \quad l = \overline{1, m},$$

$$f_l(x) = \left( \sum_{i=1}^k \omega_i a_1^{il} + \frac{s_{1l} \Delta_{k-1, \alpha}}{\sqrt{k}}, \sum_{i=1}^k \omega_i a_2^{il}, \sum_{i=1}^k \omega_i a_L^{il}, \sum_{i=1}^k \omega_i a_R^{il} \right), \quad l = \overline{1, m}.$$

Если  $\sum_{i=1}^k \omega_i a_1^{il} + \frac{s_{1l} \Delta_{k-1, \alpha}}{\sqrt{k}} > \sum_{i=1}^k \omega_i a_2^{il}$ ,

а  $\sum_{i=1}^k \omega_i a_2^{il} - \frac{s_{2l} \Delta_{k-1, \alpha}}{\sqrt{k}} < \sum_{i=1}^k \omega_i a_1^{il}$ , то

$$\overline{f_l(x)} = \left( \sum_{i=1}^k \omega_i a_1^{il} - \frac{s_{1l} \Delta_{k-1, \alpha}}{\sqrt{k}}, \sum_{i=1}^k \omega_i a_2^{il} + \frac{s_{2l} \Delta_{k-1, \alpha}}{\sqrt{k}}, \sum_{i=1}^k \omega_i a_L^{il}, \sum_{i=1}^k \omega_i a_R^{il} \right), \quad l = \overline{1, m},$$

$$f_l(x) = \left( \sum_{i=1}^k \omega_i a_1^{il}, \sum_{i=1}^k \omega_i a_2^{il} - \frac{s_{2l} \Delta_{k-1, \alpha}}{\sqrt{k}}, \sum_{i=1}^k \omega_i a_L^{il}, \sum_{i=1}^k \omega_i a_R^{il} \right), \quad l = \overline{1, m}.$$

Для верхней функции принадлежности первого термина первый параметр полагается равным нулю, а для верхней функции принадлежности последнего термина второй параметр полагается равным единице.

Формализованная групповая экспертная информация, представленная лингвистической переменной со значениями в виде интервальных нечетких множеств второго типа, позволяет сохранить индивидуальные экспертные критерии, учесть их отличия и получить интервальную оценку уверенности в принятом решении.

### Модель формализации групповой экспертной информации на основе Z-чисел

Рассмотрим модель прямого опроса экспертов для построения их критериев оценки некоторой характеристики [8, 9]. При опросе эксперта предлагается определить типичные для термов  $X_l, l = \overline{1, m}$  интервалы  $(x_l^1, x_l^2), l = \overline{1, m}$ , т. е. интервалы, для всех точек которых функции принадлежности соответствующих термов равны единице. Для некоторых термов типичными могут быть точки (по одной для каждого термина), а не интервалы. Универсальным множеством для построения функций принадлежности выбирается отрезок  $[0, 1]$ . Если характеристика количественная, то область ее значений путем несложных арифметических операций отображается в отрезок  $[0, 1]$ .

$$\text{Тогда } \mu_1(x) = \left( 0, x_1^2, 0, \frac{x_1^1 - x_1^2}{2} \right),$$

$$\mu_l(x) = \left( x_l^1, x_l^2, \frac{x_l^1 - x_{l-1}^2}{2}, \frac{x_{l+1}^1 - x_l^2}{2} \right),$$

$$\mu_m(x) = \left( x_m^1, 1, \frac{x_m^1 - x_{m-1}^2}{2}, 0 \right), l = \overline{2, m-1}.$$

В результате опроса построим  $k$  экспертных критериев с функциями принадлежности  $\mu_{il}(x) = (a_1^{il}, a_2^{il}, a_L^{il}, a_R^{il}), i = \overline{1, k}, l = \overline{1, m}$ , которым

соответствуют нечеткие числа  $\tilde{A}_{il}, i = \overline{1, k}, l = \overline{1, m}$ .

В дополнение к проведенному опросу относительно типичных для термов интервалов экспертам предлагается оценить достоверность предоставляемой ими информации, используя шкалу «Малодостоверно», «Не очень достоверно», «Достоверно», «Очень достоверно», «Полностью достоверно».

После этого строится полное ортогональное семантическое пространство с названием «Достоверность информации» и терминами: «Малодосто-

верно», «Не очень достоверно», «Достоверно», «Очень достоверно», «Полностью достоверно» с функциями принадлежности соответственно  $\mu_p, p = \overline{1, 5}$ :

$$\mu_1 = (0, 0, 0, 25), \mu_2 = (0, 25, 0, 25, 0, 25), \mu_3 = (0, 5, 0, 25, 0, 25), \mu_4 = (0, 75, 0, 25, 0, 25), \mu_5 = (1, 0, 25, 0).$$

Нечеткие числа, соответствующие этим функциям принадлежности, обозначаем через  $\tilde{R}_j, j = \overline{1, 5}$ .

Таким образом, исходя из полученных при опросе экспертов данных, имеем Z-информацию для каждого эксперта в виде:  $Z_{il} = (\tilde{A}_{il}, \tilde{R}_{il}), i = \overline{1, k},$

$l = \overline{1, m}$ , где  $\tilde{R}_{il}, i = \overline{1, k}, l = \overline{1, m}$  — нечеткое число с функцией принадлежности  $\eta_{il}(x) = (r_1^{il}, r_2^{il}, r_L^{il}, r_R^{il}), i = \overline{1, k}, l = \overline{1, m}$ , которое

равно одному из чисел  $\tilde{R}_j, j = \overline{1, 5}$ .

Групповой экспертный критерий представляем в виде совокупности Z-чисел  $Z_l = (\tilde{A}_l, \tilde{R}_l), l = \overline{1, m}$ ,

где нечеткие числа  $\tilde{A}_l, l = \overline{1, m}$  имеют функции принадлежности соответственно

$$\mu_l(x) = \left( \sum_{i=1}^k \omega_i a_1^{il}, \sum_{i=1}^k \omega_i a_2^{il}, \sum_{i=1}^k \omega_i a_L^{il}, \sum_{i=1}^k \omega_i a_R^{il} \right),$$

$l = \overline{1, m}$ , а нечеткие числа  $\tilde{R}_l, l = \overline{1, m}$  имеют функции принадлежности соответственно

$$\eta_l(x) = (r_1^l, r_2^l, r_L^l, r_R^l),$$

где  $r_1^l = \max_i(r_1^{il}), r_2^l = \max_i(r_2^{il}), r_L^l = \max_i(r_L^{il}),$

$$r_R^l = \max_i(r_R^{il}), l = \overline{1, m} \text{ [24].}$$

### Выводы

Для обработки нечеткости высокого порядка были разработаны нечеткие множества второго типа и Z-числа, использованные в настоящей работе для построения моделей формализации групповой экспертной информации. Компоненты Z-чисел и интервальные нечеткие множества второго типа строятся с использованием семантических пространств, обладающих свойствами полноты и ортогональности.

Нечеткие множества второго типа позволили найти не усредненный групповой критерий, а собрать отличия, особенности каждого экспертного подхода. Для каждой точечной оценки выявлена возможность построения аналога доверительного интервала, формализующего степень уверенности группы экспертов в ее правильности.

С помощью Z-чисел расширены возможности нечетких множеств второго типа при условии наличия дополнительной экспертной информации относительно достоверности предоставляемых данных.

В совокупности обе разработанные модели — модель формализации групповой экспертной информации на основе интервальных нечетких множеств второго типа и модель формализации групповой экспертной информации на основе  $Z$ -чисел значительно дополняют аппарат обработки экспертной информации и позволяют не только корректно оперировать данными, но и оценить меру ответственности экспертов относительно решений, которые принимаются на основе предоставляемой ими информации.

## Список литературы / Reference

- [1] Poleshchuk O., Komarov E. Expert Fuzzy Information Processing. *Studies in Fuzziness and Soft Computing*, 2011, no. 268, pp. 1–239.
- [2] Zadeh L.A. Fuzzy logic and approximate reasoning. *Synthese*, 1975, no. 80, pp. 407–428.
- [3] Hwang C.L., Lin N.J. Group decision making under multiple criteria. Berlin: Springer, 1987, 400 p.
- [4] Borisov A.N., Krumberg O.A., Fedorov I.P. Decision making on the basis of fuzzy models: Examples of use. Riga: Zinatne, 1990, 184 p.
- [5] Ryjov A.P. The Concept of a Full Orthogonal Semantic Scope and the Measuring of Semantic Uncertainty. Fifth International Conference Information Processing and Management of Uncertainty in Knowledge-Based Systems, Paris, France, 1994, pp. 33–34.
- [6] Ryjov A.P. Fuzzy Linguistic Scales: Definition, Properties and Applications. *Studies in Fuzziness and Soft Computing*, 2003, no. 127, pp. 12–17.
- [7] Poleshchuk O.M. Creation of linguistic scales for expert evaluation of parameters of complex objects based on semantic scopes. International Russian Automation Conference (RusAutoCon–2018), Sochi, Russia, 2018, pp. 1–6.
- [8] Poleshchuk O., Komarov E. The determination of rating points of objects with qualitative characteristics and their usage in decision making problems. *International J. Computational and Mathematical Sciences*, 2009, no. 3(7), pp. 360–364.
- [9] Poleshchuk O., Komarov E. The determination of rating points of objects and groups of objects with qualitative characteristics. Annual Conference of the North American Fuzzy Information Processing Society – NAFIPS'2009, Cincinnati, USA, 2009, p. 5156416.
- [10] Liu F., Mendel J.M. Encoding words into interval Type-2 fuzzy sets using an interval approach. *IEEE Trans. Fuzzy Systems*, 2008, no. 16(6), pp. 187–201.
- [11] Zadeh L.A. A note on  $Z$ -numbers. *Inf. Sci.*, 2011, no. 181, pp. 2923–2932.
- [12] Dutta P., Boruah H., Ali T. Fuzzy arithmetic with and without  $\alpha$ -cut method: A comparative study. *International J. latest trends in computing*, 2011, no. 2(1), pp. 99–107.
- [13] Yager R.R. On  $Z$ -valuations using Zadeh's  $Z$ -numbers. *International J. Intelligent Systems*, 2012, no. 27(3), pp. 259–278.
- [14] Kang B., Wei D., Li Y., Deng Y. Decision making using  $Z$ -numbers under uncertain environment. *J. Information and Computational Science*, 2012, no. 8(7), pp. 2807–2814.
- [15] Aliev R.A., Zeinalova L.M. Decision-making under  $Z$ -information. Human-centric decision-making models for social sciences, Berlin, Springer-Verlag, 2013, pp. 233–252.
- [16] Gardashova L.A. Application of Operational Approaches to Solving Decision Making Problem Using  $Z$ -Numbers. *Applied Mathematics*, 2014, no. 5(9), pp. 1323–1334.
- [17] Aliev R.A., Alizadeh A.V., Huseynov O.H. The arithmetic of discrete  $Z$ -numbers. *Inform. Sciences*, 2015, no. 290(1), pp. 134–155.
- [18] Aliev R.K., Huseynov O.H., Aliyeva K.R. Aggregation of an expert group opinion under  $Z$ -information. Proceedings of the Eighth International Conference on Soft Computing, Computing with Words and Perceptions in System Analysis, Decision and Control, Antalya, Turkey, 2015, pp. 115–124.
- [19] Aliyev R.R., Talal Mraizid D.A., Huseynov O.H. Expected utility based decision making under  $Z$ -information and its application. *Computational Intelligence and Neuroscience*, 2015, no. 3, p. 364512.
- [20] Sharghi P., Jabbarova K. Hierarchical decision making on port selection in  $Z$ -environment. Proceedings of the Eighth International Conference on Soft Computing, Computing with Words and Perceptions in System Analysis, Decision and Control, Antalya, Turkey, 2015, pp. 93–104.
- [21] Aliyev R.R. Similarity based multi-attribute decision making under  $Z$ -information. Proceedings of the Eighth International Conference on Soft Computing, Computing with Words and Perceptions in System Analysis, Decision and Control, Antalya, Turkey, 2015, pp. 33–39.
- [22] Aliev R.A., Huseynov O.H., Zeinalova L.M. The arithmetic of continuous  $Z$ -numbers. *Inform. Sciences*, 2016, no. 373, pp. 441–460.
- [23] Poleshchuk O.M. Novel approach to multicriteria decision making under  $Z$ -information. International Russian Automation Conference, RusAutoCon–2019, Sochi, Russia, 2019, pp. 8867607–8867612.
- [24] Wang, F., Mao, J. Approach to multicriteria group decision making with  $Z$ -numbers based on Topsis and Power Aggregation Operators. *Mathematical problems in Engineering*, 2019, no. 2, pp. 1–18.

## Сведения об авторе

**Полешук Ольга Митрофановна** — д-р техн. наук, профессор, зав. кафедрой «Высшая математика и физика» МГТУ им. Н.Э. Баумана (Мытищинский филиал), poleshchuk@mgul.ac.ru

Поступила в редакцию 23.05.2020.

Принята к публикации 15.06.2020.

## USING OF TYPE-II FUZZY SETS AND Z-NUMBERS FOR EXPERT GROUP INFORMATION FORMALIZATION

**O.M. Poleshchuk**

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

poleshchuk@mgul.ac.ru

Two models of formalizing group expert information based on fuzzy sets of the second type and Z-numbers have been developed. The construction of fuzzy sets of the second type and components of Z-numbers is carried out using full orthogonal semantic spaces. The construction of semantic spaces is carried out using statistical information or information obtained as a result of a direct survey of experts. The input information for the model based on fuzzy sets of the second type are linguistic estimates of objects. The input information for the model based on Z-numbers are linguistic estimates of objects and the reliability of these estimates. The developed models expand the possibilities of processing expert information, allow preserving the individual characteristics of expert criteria embedded in the data, and at the same time correctly process different types of uncertainty inherent in this data.

**Keywords:** type-II fuzzy sets, Z-number, Z-information, expert estimate, formalization

**Suggested citation:** Poleshchuk O.M. *Primenenie nechetkikh mnozhestv vtorogo tipa i Z-chisel dlya formalizatsii gruppovoy ekspertnoy informatsii* [Using of type-ii fuzzy sets and Z-numbers for expert group information formalization]. *Lesnoy vestnik / Forestry Bulletin*, 2020, vol. 24, no. 5, pp. 116–121.  
DOI: 10.18698/2542-1468-2020-5-116-121

### Author's information

**Poleshchuk Ol'ga Mitrofanovna** — Dr. Sci. (Tech.), Professor, Head of Higher Mathematics and Physics Department of BMSTU (Mytishchi branch), poleshchuk@mgul.ac.ru

Received 23.05.2020.

Accepted for publication 15.06.2020.

## СТРОГО КОСЫЕ ПРОЕКТОРЫ И ИХ СВОЙСТВА

А.М. Ветошкин<sup>1</sup>, А.А. Шум<sup>2</sup>

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

<sup>2</sup>Тверской государственный технический университет, 170026, г. Тверь, наб. Афанасия Никитина, д. 22

vetkin@mgul.ac.ru

Определены строго косые проекторы как проекторы, которые нельзя представить в виде суммы двух проекторов, один из которых является ненулевым ортопроектором. Доказана теорема о единственном способе представления каждого проектора в виде суммы строго косого проектора и ортопроектора. Приведены свойства таких проекторов, в частности, если проектор строго косой, то и сопряженный ему также строго косой; ранг строго косого проектора не больше  $n/2$ , где  $n$  — порядок матрицы проектора; свойство проектора быть строго косым сохраняется при унитарном подобии. Работа является продолжением предыдущей работы авторов, основным результатом которой было составление матричного выражения для произвольного проектора:  $P(A, B) = A(A^*BA)^{-1}A^*B$ , где  $A$  и  $B$  две матрицы полного ранга, столбцы которых задают образ и ядро этого проектора. На основе этого результата установлено, что строго косую часть всякого проектора  $P$  описывает выражение  $P(P - P^+P)^+P$ . Показано, что равенство  $P = P(P - P^+P)^+P$  подтверждает то, что проектор  $P$  есть строго косой проектор. Рекомендуется разложение проектора, полученное в работе, применять к практической задаче косоугольного проектирования на плоскость.

**Ключевые слова:** проектор, ортопроектор, косой проектор, строго косой проектор, псевдообратная матрица

**Ссылка для цитирования:** Ветошкин А.М., Шум А.А. Строго косые проекторы и их свойства // Лесной вестник / Forestry Bulletin, 2020. Т. 24. № 5. С. 122–127. DOI: 10.18698/2542-1468-2020-5-122-127

Проекторы подразделяют на два больших класса: 1) ортопроекторы, задаваемые эрмитовой матрицей; 2) косые проекторы. Косой проектор во многих случаях можно представить в виде суммы ортопроектора и другого проектора, в котором нет эрмитовой составляющей. Последние проекторы названы строго косыми.

### Цель работы

Цель работы — исследование свойств строго косых проекторов с помощью средств, представленных в работе [1].

### Постановка задачи

Пусть  $P$  — квадратная матрица с комплексными элементами, называемая проектором при  $P = P^2$ . Если  $P$  — эрмитова матрица, то  $P$  называют ортопроектором, иначе — косым проектором. Назовем проектор строго косым, если его нельзя представить в виде суммы двух проекторов, один из которых является ненулевым ортопроектором. Строго косые проекторы упоминаются в работе [2].

### Материалы и методы

Воспользуемся некоторыми обозначениями из работы [1]. Пусть  $L$  и  $M$  — дополнительные подпространства. Матрица, проектирующая на  $L$  вдоль  $M$ , обозначается через  $P(L, M)$ . Для подпространства, натянутого на столбцы матрицы  $A$  (образа  $A$ ), используется обозначение  $\{A\}$ . Если подпространства, определяющие проектор, задаются матрицами  $L = \{A\}$  и  $M = \{B\}$ , то вместо

$P(L, M)$  или  $P(\{A\}, \{B\})$  используется запись  $P(A, B)$ .  $M^+$  обозначает псевдообратную матрицу к матрице  $M$ . Для ортопроектора  $P(A) = P(\{A\}, \{A\}^\perp)$ , задаваемого матрицей  $A$ , используется обозначение  $\hat{A} = AA^+$ . «Дополнительный» проектор  $\tilde{A} = I_n - \hat{A}$ .

Приведем известные факты [3–21], на которые будем ссылаться.

Если  $A$  имеет полный ранг по столбцам, то

$$A^+ = (A^*A)^{-1}A^*, \quad A^+A = I. \quad (1)$$

Если  $A$  имеет полный ранг по строкам, то

$$A^+ = A^*(AA^*)^{-1}, \quad AA^+ = I. \quad (2)$$

Пусть матрица  $A$  имеет скелетное разложение  $A = XY$ , где  $X$  — столбцовая матрица полного ранга, а  $Y$  — строчная матрица полного ранга, тогда

$$A^+ = (XY)^+ = Y^+X^+. \quad (3)$$

Пусть подпространства  $A, B, C$  попарно пересекаются только по нулю и их сумма есть все пространство, тогда

$$P(A + B, C) = P(A, B + C) + P(B, A + C). \quad (4)$$

Для обоснования выражения (4) возьмем произвольный вектор  $x$ . Его можно представить в виде  $x = a + b + c$ ,  $a \in A$ ,  $b \in B$ ,  $c \in C$ . Поддействуем правой и левой частью выражения (4) на этот вектор, получаем тождество  $a + b = a + b$ , что и доказывает формулу (4). Еще отметим, что проекторы в правой части выражения (4) перестановочные и в произведении дают ноль.

Из выражения (4) следует, что для ортогональных подпространств  $U$  и  $V$  можно записать:

$$P(U \oplus V) = P(U) + P(V). \quad (5)$$

(Или, если для матриц  $X$  и  $Y$  выполняется  $X^*Y = 0$ , то  $[X : Y] = \hat{X} + \hat{Y}$ . Для двух матриц  $X$  и  $Y$  с одинаковым числом строк матрица  $[X:Y]$  — это блочная матрица).

Следующие выражения являются проекторами:

$$I - P(A, B) = P(B, A); \quad (6)$$

$$P^*(A, B) = P(\{B\}^\perp, \{A\}^\perp). \quad (7)$$

Приведем важную лемму из работы [1]:

**Лемма.** Пусть  $A$  — столбцовая матрица полного ранга; у матрицы  $B$  такое же число строк, как и у матрицы  $A$ . Матрица  $BA$  — столбцовая полного ранга тогда и только тогда, когда  $\{A\} \cap \{B\}^\perp = 0$ . Матрица  $\bar{B}A$  — столбцовая полного ранга тогда и только тогда, когда  $\{A\} \cap \{B\} = 0$ .

### Строго косые проекторы

При рассмотрении проектора  $P(A, B)$  часто возникают подпространства

$$A \cap B^\perp \text{ и } A^\perp \cap B.$$

Назовем их соответственно *первым* и *вторым подпространствами*, связанными с проектором  $P(A, B)$ .

У ортопроектора первое подпространство совпадает с образом, второе — с ядром. У произвольного проектора  $P$  и у сопряженного ему проектора  $P^*$  как первые, так и вторые подпространства совпадают, что следует из равенства (7).

Пусть  $A$  и  $B$  — произвольные дополнительные подпространства, так что  $P(A, B)$  является проектором. Рассмотрим следующие подпространства:  $C = A \cap B^\perp$  и  $D = C^\perp \cap A$  так, что  $A = C \oplus D$ . Подпространство  $C$  в силу построения ортогонально подпространствам  $B$  и  $D$ , а также их сумме  $B + D$ . Используя формулу (4), проектор  $P(A, B)$  можно представить в виде суммы проекторов на подпространства  $C$  и  $D$ :

$$\begin{aligned} P &= P(A, B) = P(C + D, B) = \\ &= P(C, B + D) + P(D, B + C). \end{aligned}$$

Для произвольного проектора получили

$$P = P(C) + P(D, B + C). \quad (8)$$

У второго проектора  $P(D, B + C)$  первое подпространство нулевое. Действительно:

$$\begin{aligned} (B + C)^\perp \cap D &= (B^\perp \cap C^\perp) \cap D = \\ &= B^\perp \cap (C^\perp \cap D) = B^\perp \cap D = 0. \end{aligned}$$

Мы видим, что первое подпространство проектора  $P$  определяется ортопроектором в представлении (8).

**Определение.** Будем называть проектор строго косым проектором, если пересечение его образа с ортогональным дополнением к его ядру состоит только из нулевого вектора.

У строго косоуго проектора первое подпространство нулевое.

Таким образом, в уравнении (8) получено представление произвольного проектора в виде суммы ортопроектора и строго косоуго. Отметим, что нулевой проектор является как строго косым, так и ортопроектором. Это позволяет сформулировать следующую теорему.

**Теорема 1.** Произвольный проектор единственным способом представляется в виде суммы ортопроектора и строго косоуго проектора.

Представление произвольного проектора в виде такой суммы получено в уравнении (8). Чтобы доказать единственность, предположим, что существует пара непересекающихся подпространств  $C_1$  и  $D_1$ , отличных от пары  $C$  и  $D$ , таких, что  $A = C_1 + D_1$  и в сумме  $P(C_1 + D_1, B) = P(C_1, B + D_1) + P(D_1, B + C_1)$ , первый проектор — ортопроектор, второй — строго косоуго. Из того, что  $P(C_1, B + D_1)$  — ортопроектор, следует, что подпространство  $C_1$  ортогонально как подпространству  $D_1$ , так и подпространству  $B$ . Из последнего следует, что  $C_1 \subset C$ . Поскольку  $C_1$  и  $C$  не совпадают, то в  $C$  найдется ненулевой вектор  $c$  ортогональный подпространству  $C_1$  и следовательно принадлежащий подпространству  $D_1$ . Отметим, что вектор  $c$  принадлежит подпространству  $(B + C_1)^\perp \cap D_1$ , поэтому проектор  $P(D_1, B + C_1)$  не является строго косым. Получено противоречие. Единственность доказана.

В работе [4] Д.З. Дьёковичем предложена теорема о канонической форме проектора относительно унитарного подобия. Для каждого проектора  $P$  существует унитарное подобие, приводящее его к блочно-диагональной форме:

$$WPW^* = \text{diag} \left\{ \begin{bmatrix} 1 & x_1 \\ 0 & 0 \end{bmatrix}, \dots, \begin{bmatrix} 1 & x_k \\ 0 & 0 \end{bmatrix}, I_m, 0_s \right\}.$$

Откуда следует, что

$$\begin{aligned} P &= W^* \text{diag} \{0_{2k}, I_m, 0_s\} W + \\ &+ W^* \text{diag} \left\{ \begin{bmatrix} 1 & x_1 \\ 0 & 0 \end{bmatrix}, \dots, \begin{bmatrix} 1 & x_k \\ 0 & 0 \end{bmatrix}, 0_{m+s} \right\} W — \end{aligned}$$

сумма ортопроектора  $\alpha$  и косоуго проектора  $\beta$ . Используя пункт f) теоремы 2, можно легко доказать, что  $\beta$  является строго косым проектором. Таким образом, теорема Дьёковича позволяет дать простое представление строго косоуго проектора. И из нее также следует разложение (8).

В теореме 2 исследуются свойства строго косоуго проекторов.

**Теорема 2.** *Свойства косого проектора.*

Пусть  $S = P(A, B)$  строго косой проектор. Тогда выполняются свойства а)–д):

- а)  $\text{rank } S \leq n/2$ , где  $n$  порядок матрицы  $S$ ;
- б) если  $A$  столбцовая матрица полного ранга, определяющая образ нашего проектора  $S = P(A, B)$ , то  $BA$  также столбцовая матрица полного ранга;
- в) проектор  $S^*$  является строго косым;
- д) проектор  $FSF^*$  является строго косым, если  $F$  унитарная матрица;

Кроме того, выполняются следующие свойства:

- е) для любого проектора  $S$  выражение  $S(S - S^+S)^+S$  есть его строго косая часть в разложении (8);
- ф) проектор  $S$  является строго косым тогда и только тогда, когда  $S(S - S^+S)^+S = S$ ;
- г) пусть  $A$  и  $B$  матрицы с одинаковым числом строк, причем подпространства  $\{A\}$  и  $\{B\}$  дополнительны. Тогда проектор  $T = (BA)^+$  строго косой.

**Доказательство:**

а) так как  $\dim\{A\} = \dim\{B\}^\perp$ , то в случае, если  $\text{rank } P > n/2$ , будет  $\dim\{A\} + \dim\{B\}^\perp > n$ , но в случае выполнения последнего неравенства  $\{A\} \cap \{B\}^\perp \neq 0$ ;

б) в силу леммы матрица  $\hat{B}A$  является столбцовой матрицей полного ранга тогда и только тогда, когда  $\{A\} \cap \{B\}^\perp = 0$ , но это условие и определяет, что проектор  $P(A, B)$  строго косой;

в) по свойству (7)

$$\{S^*\} \cap (\ker S^*)^\perp = \{B\}^\perp \cap (\{A\}^\perp)^\perp = \{A\} \cap \{B\}^\perp = 0;$$

д) для произвольной матрицы  $m$ , воспользовавшись скелетным разложением этой матрицы и формулами (1) — (3), можно показать, что  $(fmg)^+ = g^*m^+f^*$  для произвольных унитарных матриц  $f$  и  $g$ .

Если  $S$  строго косой проектор, то выполняется свойство ф) данной теоремы:  $S(S - S^+S)^+S = S$ . Если выполнить подобие с унитарной матрицей  $F$  обеих частей последнего равенства, то получаем, используя вышеупомянутое свойство псевдообратной матрицы, что выполняется  $T(T - T^+T)^+T = T$ , где  $T = FSF^*$ , т. е. по свойству ф) проектор  $T$  строго косой;

е) рассмотрим для произвольного ненулевого проектора  $S = P(A, B)$  его разложение (8) на сумму ортопроектора  $s = P(C)$  и строго косого проектора  $t = P(D, B + C)$ ; выбираем в подпространствах  $C, D$  ортонормированные базисы, обозначаем матрицы, составленные из векторов этих базисов  $Y, X$ , соответственно; аналогично выбираем в подпространстве  $(B + C)^\perp$  матрицу, составленную из векторов ортонормированного базиса —  $Z$ ; проекторы  $s$  и  $t$  будут иметь вид (см. [1])

$$s = P(Y) = YY^*, t = P(X, \{Z\}^\perp) = X(Z^*X)^{-1}Z^*.$$

По свойству (4)  $st = ts$ , поэтому

$$Y^*X = 0, Y^*Z = 0, \tag{9}$$

и

$$S = YY^* + X(Z^*X)^{-1}Z^*. \tag{10}$$

Столбцы матриц  $X, Y, Z$  ортонормированы, так что выполняются равенства

$$X^*X = I, Y^*Y = I, Z^*Z = I, X^+ = X^*, Y^+ = Y^*, Z^+ = Z^*. \tag{11}$$

Выражение  $S^+S$  есть ортопроектор на образ матрицы  $S^*$ . В силу свойства (7) выполняется равенство  $S^* = P(B^\perp, A^\perp)$ . Из того, что  $B \perp C$  и  $\{Z\} \perp B + C$ , следует, что  $B^\perp = \{Z\} \oplus C$ . Таким образом, из свойства (5) получаем равенство:

$$S^+S = Y^*Y + Z^*Z.$$

Подставим разложение (10) в выражение  $S(S - S^+S)^+S = S$ . Для этого обозначаем  $U = Z^*X$  и последовательно получаем:

$$\begin{aligned} S - S^+S &= (YY^* + XU^{-1}Z^*) - (YY^* + ZZ^*) = \\ &= XU^{-1}Z^* - ZUU^{-1}Z^* = \\ &= (X - ZZ^*X)U^{-1}Z^* = \tilde{Z}X \cdot U^{-1}Z^*. \end{aligned}$$

Поскольку  $t$  — строго косой проектор, то в силу леммы матрица  $\tilde{Z}X$  — столбцовая полного ранга. Матрица  $U^{-1}$  — невырожденная, поэтому  $U^{-1}Z^*$  — строчная матрица полного ранга. Применив свойства (3), (1), (2), (11), получаем:

$$\begin{aligned} (S - S^+S)^+ &= (U^{-1}Z^*)^+ \cdot (\tilde{Z}X)^+ = \\ &= ZU \cdot (X^*\tilde{Z}X)^{-1}X^*\tilde{Z} = \hat{Z}X(X^*\tilde{Z}X)^{-1}X^*\tilde{Z}. \end{aligned}$$

Учитывая свойство (9), получаем:

$$\begin{aligned} S(S - S^+S)^+S &= \\ &= (\hat{Y} + XU^{-1}Z^*)\hat{Z}X(X^*\tilde{Z}X)^{-1}X^*\tilde{Z}(\hat{Y} + XU^{-1}Z^*) = \\ &= XU^{-1}Z^* \cdot \hat{Z}X(X^*\tilde{Z}X)^{-1}X^*\tilde{Z} \cdot XU^{-1}Z^* = \\ &= XU^{-1}Z^* = t. \end{aligned}$$

Таким образом, строго косая часть  $t$  любого проектора  $S$  определяется выражением  $t = S(S - S^+S)^+S$ , поэтому  $s = S - S(S - S^+S)^+S$ . Удивительным образом последнее «несимметричное» выражение задает эрмитову матрицу.

ф) В работе [1] получен критерий того, что подпространства  $\{A\}$  и  $\{B\}$  имеют только нулевое пересечение: выполнение равенства  $B(\hat{A}B)^+B = B$ .

Проектор  $S$  будет строго косым, если подпространства  $\{S\}$  и  $(\ker S)^\perp$  пересекаются по нулю. В качестве матриц  $A$  и  $B$  здесь можно брать любые, имеющие в качестве образов эти подпространства. Например, подстановка в равенство  $B(\hat{A}B)^+B = B$  пары матриц  $A = S^*$  и  $B = S$  дает такой критерий того, что проектор  $S$  является строго косым:  $S(S - S^+S)^+S = S$ . При получении

последней формулы учитывается, что  $P(\{S^*\}) = S^+S$ :  
 $\tilde{A}B = (I - P(\{S^*\}))S = (I - S^+S)S = S - S^+S$ .

Выбор пар  $(A, B): (S, S^*), (SS^+, S^+S), (S^+S, SS^+)$  дает, соответственно, следующие равенства для этого критерия:

$$S(S - S^+S)^+S = S, S(S^+S - S^+)^+S = SS^+, \quad (12)$$

$$S^+(SS^+ - S^+)^+S = S^+S.$$

Выполняя вычисления матричных выражений (12) аналогично тому, как это сделано для  $S(S - S^+S)^+S = S$  в доказательстве пункта е), получаем выражения для проекторов из этого пункта:

$$t = S(S - S^+S)^+S = S(S - SS^+)^+S,$$

$$\hat{X} = S(S^+S - S^+)^+S^+, \hat{Z} = S^+(SS^+ - S^+)^+S.$$

При этом учитываем, что  $S^+ = \tilde{B}\hat{A}$ ,  $\hat{A} = \hat{X} + \hat{Y}$  и  $\tilde{B} = \hat{Z} + \hat{Y}$ .

(О том, что выполнено  $S = (\tilde{B}\hat{A})^+$ , см. в [1].);  
 г) пусть  $T = (\hat{B}\hat{A})^+$  — некоторый проектор.

Сделаем замену:  $\tilde{D} = \hat{B}$ . Обозначим  $C = (\{A\}^\perp + \{B\}) \cap \{A\}$ . Тогда, так как  $\{D\} = \{B\}^\perp$  по теореме 4 из работы [1] (формула (42)), имеем

$$T = (\hat{B}\hat{A})^+ = (\tilde{D}\hat{A})^+ = P(C, \{D\} + (\{A\} + \{D\})^\perp) =$$

$$= P(C, \{B\}^\perp + (\{A\}^\perp \cap \{B\})),$$

Получаем

$$\{T\} \cap (\ker T)^\perp = C \cap (\{B\}^\perp + (\{A\}^\perp \cap \{B\}))^\perp =$$

$$= C \cap (\{B\} \cap (\{A\}^\perp \cap \{B\})^\perp) =$$

$$= (C \cap \{B\}) \cap (\{A\}^\perp \cap \{B\})^\perp = 0,$$

поскольку  $C \subset \{A\}$  и  $\{A\} \cap \{B\} = 0$ .

Таким образом, для любого проектора  $P(A, B) = (\tilde{B}\hat{A})^+$  проектор  $(\tilde{B}\hat{A})^+$  — строго косой.

### Обсуждение результатов

Разложение проектора на сумму ортопроектора и строго косого проектора естественно возникает при многих появлениях проектора, например, в канонической форме Дьековича.

Применим разложение (8) к проектированию на плоскость в трехмерном пространстве. Пусть нормированные векторы  $n$  и  $b$  задают, соответственно, нормаль к плоскости, на которую выполняется проектирование и направление вдоль которого проводится проектирование. Тогда для проектора  $P(\{n\}^\perp, \{b\})$  можно получить разложение (8) в виде

$$P(\{n\}^\perp, \{b\}) = cc^T + (n \times c)(b \times c)^T / \cos \alpha, \quad (13)$$

где  $c = (n \times b) / \sin \alpha$ ,  $\cos \alpha = n \times b$ ,  $|n| = |b| = |c| = 1$ .

Слагаемое  $cc^T$  в (13) это ортопроектор, а второе слагаемое — строго косой проектор. Пользуясь (13) для получения проекции вектора, необходимо вычислить два скалярных произведения и

линейную комбинацию векторов  $c$  и  $n \times c$ . Формулу (13) можно использовать в системах машинной графики для вычисления косоугольных проекций на плоскость [22].

### Выводы

Показано, что каждый проектор есть сумма двух проекторов: ортопроектора и строго косого проектора. Это разложение применяется к практической задаче косоугольного проектирования на плоскость.

Изучены свойства строго косых проекторов. Установлено, что строго косую часть каждого проектора  $S$  можно вычислить по формуле  $S(S - S^+S)^+S$ .

В настоящей работе систематически используется формула (4):

$$P(A + B, C) = P(A, B + C) + P(B, A + C),$$

которая, хоть и не является новым фактом линейной алгебры, но представляет другой угол зрения и часто находит применение.

### Список литературы

- [1] Ветошкин А.М., Шум А.А. Матричные выражения, задающие косой проектор // Лесной вестник / Forestry Bulletin, 2019. Т. 23. № 3. С. 107–113.
- [2] Ветошкин А.М. Произведение проекторов. Случай вложенных подпространств // Обозрение прикладной и промышленной математики, 2018. Т. 25. № 3. С. 235–236.
- [3] Воеводин В.В. Энциклопедия линейной алгебры. Электронная система ЛИНЕАЛ. СПб.: БХВ-Петербург, 2006. 544 с.
- [4] Dokovic D.Z. Unitary similarity of projectors // Aequationes Math., 1991, v. 42, pp. 220–224.
- [5] Ben-Israel A., Greville T.N.E. Generalized inverses. Theory and Applications. Springer, 2003, 420 p.
- [6] Малышев А.Н. Введение в вычислительную линейную алгебру. Новосибирск: Наука, 1991. 400 с.
- [7] Meyer C.D. Matrix analysis and applied linear algebra // The Mathematical Gazette, SIAM, 2000, v. 85, iss. 502, 718 p.
- [8] Penrose R. A generalized inverse for matrices // Proc. Cambridge Philos. Soc., 1955, v. 51, pp. 406–413.
- [9] Cline R. E. Representation for the generalized inverse of a partitioned matrix // J. Soc. Industr. Appl. Math., 1964, v. 12, no. 3, pp. 588–600.
- [10] Ветошкин А.М. Компактная форма формулы Клайна // Обозрение прикладной и промышленной математики, 2014. Т. 21. Вып. 4. С. 337–338.
- [11] Ветошкин А.М. Следствия из формулы Клайна // Обозрение прикладной и промышленной математики, 2015. Т. 22. Вып. 4. С. 446–447.
- [12] Lütkepohl H. Handbook of matrices. N.Y.: Wiley, 1996, 304 p.
- [13] Bernstein D.S. Matrix Mathematics. Theory, Facts, and Formulas. Princeton: Princeton University Press, 2009, 1101 p.
- [14] Campbell S.L., Meyer C.D. Generalized inverses of linear transformations. London: Pitman Pub., 1979, 272 p.
- [15] Cvetković Ilić D. S., Yimin Wei. Algebraic Properties of Generalized Inverses. Singapore: Springer, 2017, 194 p.
- [16] Yanai H., Takeuchi K., Takane Y. Projection Matrices, Generalized Inverse Matrices, and Singular Value Decomposition. N.Y.: Springer, 2011, 234 p.

- [17] Albert A. Regression and the Moor-Penrose pseudoinverse. N.Y.&London: Academic Press, 1972, v. 94, 224 p.
- [18] Barnet S. Matrices: methods and applications. Oxford: Clarendon Press, 1996, 466 p.
- [19] Магнус Я.Р., Нейдеккер Х. Матричное дифференциальное исчисление с приложениями к статистике и эконометрике. М.: Физматлит, 2002. 496 с.
- [20] Постников М.М. Лекции по геометрии. Семестр II. Линейная алгебра. М.: Наука, 1986. 229 с.
- [21] Беклемишев Д.В. Дополнительные главы линейной алгебры. СПб.: Лань, 2008. 496 с.
- [22] Foley J.D., Van Dam A. Fundamentals of interactive computer graphics. Boston: Addison-Wesley, 1982, 664 p.

## Сведения об авторах

**Ветошкин Александр Михайлович** — канд. техн. наук, доцент МГТУ им. Н.Э. Баумана (Мытищинский филиал), vetkin@mgul.ac.ru

**Шум Александр Анатольевич** — канд. физ.-мат. наук, доцент кафедры высшей математики Тверского государственного технического университета, shum@tstu.tver.ru

Поступила в редакцию 16.05.2020.

Принята к публикации 14.06.2020.

## STRICTLY OBLIQUE PROJECTORS AND THEIR PROPERTIES

A.M. Vetoshkin<sup>1</sup>, A.A. Shum<sup>2</sup>

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

<sup>2</sup>Tver' State Technical University named after Afanasiy Nikitin, 22, 170026, Tver', Russia

vetkin@mgul.ac.ru

In this paper, strictly oblique projectors are defined as projectors that cannot be represented as the sum of two projectors, one of which is a nonzero orthoprojector. A theorem is proved that each projector can be represented in a unique way as the sum of a strictly oblique projector and an orthoprojector. The properties of such projectors are given. For example: if the projector is strictly oblique, then its Hermitian adjoint is also strictly oblique; the rank of a strictly oblique projector is at most  $n/2$ , where  $n$  is the order of the projector matrix; the property of the projector to be strictly oblique is preserved with a unitary similarity. The work is a continuation of the previous work of the authors, the main result of which is such a matrix expression for an arbitrary projector:  $P(A, B) = A(A^*BA)^{-1}A^*B$  where  $A$  and  $B$  are two matrices of full rank whose columns define range and the null space of this projector. Based on this result, the article shows that the strictly oblique part of any projector  $P$  is given by the expression:  $P(P - P^*P)^+P$ . And equality  $P = P(P - P^*P)^+P$  is a criterion that the projector  $P$  is a strictly oblique projector. The decomposition of the projector obtained in the work is applied to the practical problem of oblique projection onto the plane

**Keywords:** projector, orthoprojector, oblique projector, strictly oblique projector, generalized inverse matrix

**Suggested citation:** Vetoshkin A.M., Shum A.A. *Strogo kosye proektory i ikh svoystva* [Strictly oblique projectors and their properties]. Lesnoy vestnik / Forestry Bulletin, 2020, vol. 24, no. 5, pp. 122–127.

DOI: 10.18698/2542-1468-2020-5-122-127

## References

- [1] Vetoshkin A.M., Shum A.A. *Matrichnye vyrazheniya, zadayushchie kosoy proektor* [Matrix expressions defining the oblique projector]. Lesnoy vestnik / Forestry Bulletin, 2019, vol. 23, no. 3, pp. 107–113.
- [2] Vetoshkin A.M. *Frobeniusovy jendomorfizmy mnozhestva proektorov* [Frobenius endomorphisms of set of projectors]. Lesnoy vestnik / Forestry Bulletin, 2012, no. 6(89), pp. 116–122.
- [3] Voevodin V.V. *Entsiklopediya lineynoy algebrы. Elektronnaya sistema LINEAL* [Encyclopedia of linear algebra. Electronic system LINEAL]. Saint Petersburg: BHV-Peterburg, 2006, 544 p.
- [4] Dokovic D.Z. Unitary similarity of projectors. *Aequationes Math.*, 1991, v. 42, pp. 220–224.
- [5] Ben-Israel A., Greville T.N.E. *Generalized inverses. Theory and Applications*. Springer, 2003, 420 p.
- [6] Malyshev A.N. *Vvedenie v vychislitel'nyu lineynuyu algebru* [Introduction to Computational Linear Algebra]. Novosibirsk: Nauka, 1991, 400 p.
- [7] Meyer C.D. Matrix analysis and applied linear algebra. *The Mathematical Gazette*, SIAM, 2000, v. 85, iss. 502, 718 p.
- [8] Penrose R. A generalized inverse for matrices. *Proc. Cambridge Philos. Soc.*, 1955, v. 51, pp. 406–413.
- [9] Cline R. E. Representation for the generalized inverse of a partitioned matrix. *J. Soc. Industr. Appl. Math.*, 1964, v. 12, no. 3, pp. 588–600.
- [10] Vetoshkin A.M. *Kompaktnaya forma formuly Klayna* [Compact form of the Cline formula]. *Obozrenie prikl. i promyshl. matem.* [Review App. and Industrial Math.], 2014, t. 21, v. 4, pp. 337–338.
- [11] Vetoshkin A.M. *Sledstviya iz formuly Klayna* [Consequences from Clin's formula] *Obozrenie prikl. i promyshl. matem.* [Review app. and industrial Math.], 2015, t. 22, v. 4, pp. 446–447.
- [12] Lütkepohl H. *Handbook of matrices*. N.Y.: Wiley, 1996, 304 p.

- [13] Bernstein D.S. Matrix Mathematics. Theory, Facts, and Formulas. Princeton: Princeton University Press, 2009, 1101 p.
- [14] Campbell S.L., Meyer C.D. Generalized inverses of linear transformations. London: Pitman Publ., 1979, 272 p.
- [15] Cvetković Ilić D. S., Yimin Wei. Algebraic Properties of Generalized Inverses. Singapore: Springer, 2017, 194 p.
- [16] Yanai H., Takeuchi K., Takane Y. Projection Matrices, Generalized Inverse Matrices, and Singular Value Decomposition. N.Y.: Springer, 2011, 234 p.
- [17] Albert A. Regression and the Moor-Penrose pseudoinverse. N.Y.&London: Academic Press, 1972, v. 94, 224 p.
- [18] Barnett S. Matrices: methods and applications. Oxford: Clarendon Press, 1996, 466 p.
- [19] Magnus J.R., Neudecker H. *Matrichnoe differentsial'noe ischislenie s prilozheniyami k statistike i ekonometrike* [Matrix differential calculus. With applications in statistics and econometrics]. Moscow: Fizmatlit, 2002, 496 p.
- [20] Postnikov M.M. *Leksii po geometrii. Semestr II. Lineynaya algebra* [Lectures on geometry. Semester II. Linear algebra]. Moscow: Nauka, 1986, 229 p.
- [21] Beklemishev D.V. *Dopolnitel'nye glavy lineynoy algebrы* [Additional chapters of linear algebra]. Saint Petersburg: Lan', 2008, 496 p.
- [22] Foley J.D., Van Dam A. Fundamentals of interactive computer graphics. Boston: Addison-Wesley, 1982, 664 p.

## Authors' information

**Vetoshkin Aleksandr Mikhaylovich** — Cand. Sci. (Tech), Associate Professor of BMSTU (Mytishchi branch), vetkin@mgul.ac.ru

**Shum Aleksandr Anatol'evich** — Cand. Sci. (Phys.-Math.), Associate Professor of TvSTU, shum@tstu.tver.ru

Received 16.05.2020.

Accepted for publication 14.06.2020.

## МЕТОДЫ ПРОЕКТИРОВАНИЯ ЛЕСОВОЗНЫХ АВТОМОБИЛЬНЫХ ДОРОГ, ОСНОВАННЫЕ НА РАСЧЕТЕ ОДНОЗНАЧНО ОПРЕДЕЛЕННОЙ ТРАССЫ

Е.В. Чирков<sup>1</sup>, А.В. Скрыпников<sup>1</sup>, В.Г. Козлов<sup>2</sup>, С.Ю. Саблин<sup>1</sup>, А.О. Боровлев<sup>1</sup>

<sup>1</sup>ФГБОУ ВО «Воронежский государственный университет инженерных технологий», 394036, Россия, г. Воронеж, пр-т Революции, д. 19

<sup>2</sup>ФГБОУ ВО «Воронежский государственный аграрный университет имени императора Петра I», 394087, г. Воронеж, ул. Мичурина, д. 1

skrypnikovvsafe@mail.ru

Предложено несколько методов проектирования трасс лесовозных автомобильных дорог с применением информационных технологий, отличающихся постановкой задачи, способами их решения, характером геометрического представления трассы и другими особенностями. Рассмотрены основные методы проектирования лесовозных автомобильных дорог, построенные на расчете однозначно определенной трассы. Сделан вывод о том, что трассирование является наиболее важным этапом проектно-изыскательских работ. Показано, что именно положение трассы определяет основные технико-экономические показатели проектируемой дороги, обуславливая необходимость и целесообразность проведения исследований и совершенствования технологии и методов автоматизированного проектирования трассы лесовозных автомобильных дорог с применением современных информационных технологий по материалам полученных с беспилотных летательных аппаратов или крупномасштабным топографическим планам в координатах. Рекомендуется увязывать методы трассирования с принятой технологией проектирования. Подчеркнуто, что выбор метода и технология могут зависеть от конкретных особенностей проектируемого объекта: природных условий, стадии проектирования, обеспеченности топографическими материалами и т. д.

**Ключевые слова:** метод проектирования, трасса, дорога, клотоида, криволинейный участок

**Ссылка для цитирования:** Чирков Е.В., Скрыпников А.В., Козлов В.Г., Саблин С.Ю., Боровлев А.О. Методы проектирования лесовозных автомобильных дорог, основанные на расчете однозначно определенной трассы // Лесной вестник / Forestry Bulletin, 2020. Т. 24. № 5. С. 128–137. DOI: 10.18698/2542-1468-2020-5-128-137

Исследованию методов проектирования в плане посвящены работы некоторых авторов, как в России, так и за рубежом. Предложено несколько методов проектирования трассы лесовозных автомобильных дорог с применением информационных технологий, отличающихся постановкой задачи, способами их решения, характером геометрического представления трассы и другими особенностями.

### Методика исследования

В геометрическом смысле трасса лесовозных автомобильных дорог в плане обычно принимается в виде совокупности элементов постоянной кривизны (прямых и круговых кривых), которые соединены между собой элементами с переменной кривизной (переходными кривыми). В качестве переходных кривых в различных странах используются клотоиды, степенные полиномы, логарифмические спирали, различные тормозные кривые и др.

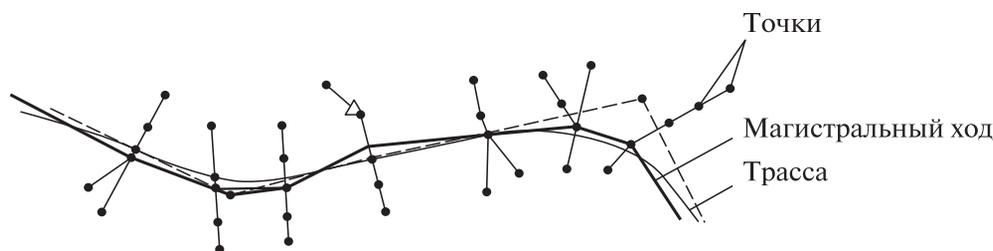
Поскольку в подавляющем большинстве стран, в том числе и в России, в качестве переходных кривых приняты клотоиды, в настоящей работе рассматриваются методы проектирования клотоидной трассы.

В отечественной практике проектирования широко распространен и принят метод расчета

трассы, основанный на расчете закруглений вида клотоида — круговая кривая — клотоида или клотоида — клотоида, вписываемых в углы тангентального полигона, обычно прокладываемого на местности. Необходимые для расчета геометрические характеристики закругления (радиус круговой кривой и длины переходных кривых) определяют либо из условия размещения тангенсов, либо исходя из принятой биссектрисы угла поворота трассы. В случае проработки трассы по крупномасштабным топографическим планам или материалам аэрофотосъемки тангентальный ход и необходимые геометрические характеристики намечаются на соответствующей топооснове камерально, путем детальной графической проработки трассы с применением шаблонов круговых и клотоидных кривых [1–3].

Первые отечественные работы по автоматизации проектирования трасс лесовозных автомобильных дорог в плане были основаны на традиционном методе расчета трассы. В частности, на базе такого метода была разработана компьютерная программа. В качестве топоосновы для проектирования с применением этой программы был использован магистральный геодезический ход с поперечниками в характерных местах (рис. 1).

Исходными данными для расчета служили координаты вершин углов тангентального по-



**Рис. 1.** Трассирование с использованием магистрального геодезического хода с поперечниками в характерных местах

**Fig. 1.** Location survey using a main geodetic line with cross-sections in particular places

лигона трассы, для каждого закругления — радиус круговой кривой и параметры клотоидных кривых. С помощью расчета были получены все геометрические характеристики трассы, данные для разбивки ее от магистрального хода, отметки земли и пикетажное положение в местах пересечения расчетной трассы с поперечниками и линиями магистрального хода.

Разработанная программа применялась на некоторых объектах республики Коми. При этом были выявлены ее недостатки заложенного в нее метода расчета трассы.

В традиционном методе как при графической проработке трассы (или при непосредственном трассировании на местности), так и при аналитическом расчете ее определяющими элементами являются прямые (направления тангенсов). Структура расчетных схем данного метода обусловлена принципами жесткого трассирования, когда основными элементами трассы были прямые, а закругления служили для соединения прямых участков.

Сама постановка задачи в этом случае не соответствует принципам клотоидного трассирования, при котором прямолинейные участки между закруглениями зачастую либо отсутствуют, либо малы и не могут служить в качестве определяющих элементов. В связи с этим при графической проработке трассы приходилось искусственно определять направление касательных в точках сопряжения клотоидных кривых (при  $R = \infty$ ), продолжать их до пересечения со смежными касательными и таким образом искусственно создавать мнимый тангентальный полигон трассы. Такой подход, во-первых, позволяет сохранить необходимость производства трудоемкой графической проработки трассы с применением шаблонов клотоидных и круговых кривых. Во-вторых, вследствие неточности сопряжения касательных смежных элементов (что неизбежно имеет место при графической проработке с использованием шаблонов клотоидных кривых) при аналитическом расчете может возникнуть ситуация, когда, например, вместо планируемого *S*-образного за-

кругления происходит либо налезание смежных клотоид (недопустимая ситуация), либо между двумя обратными клотоидами появляется не предусмотренная прямая вставка (нежелательная ситуация). В-третьих, из-за неточности графической проработки трассы и особенно из-за угловых невязок, которые возникают при сопряжении шаблонов, аналитически рассчитанная трасса неизбежно смещается относительно намеченной графически и иногда весьма значительно.

Все это вызывает необходимость проводить неоднократные расчеты и путем подбора добиваться желательного результата. Кроме того, предусмотренный в традиционном методе ограниченный набор расчетных схем не позволяет использовать все возможности клотоидного трассирования.

Анализ традиционного метода выявил существенные недостатки метода, принятого в настоящее время в отечественной практике проектирования, что определило необходимость поиска иных, более совершенных методов. Вместе с тем следует отметить, что в целом работы В.К. Курьянова, Е.В. Кондрашовой, М.Б. Афанасьева и В.И. Ксенодохова имели важное значение в деле внедрения клотоидного трассирования в отечественную практику проектирования лесовозных автомобильных дорог.

Впервые в нашей стране отойти от традиционного метода расчета трассы и использовать при проектировании информацию о положении оси дороги в плане на криволинейных участках предложил Э.Ф. Алешников. В работах В.К. Курьянова, Е.В. Кондрашовой, Е.В. Чернышовой, Ю.И. Трофимова рассматриваются вопросы укладки трассы по стереомодели местности. Положение оси дороги выбирается по шаблонам клотоидных кривых, и в процессе фотограмметрической обработки фиксируются координаты главных точек трассы. На основании этих данных рассчитывают все плановые характеристики намеченного варианта.

В работах В.К. Курьянова рассмотрены четыре расчетных случая.

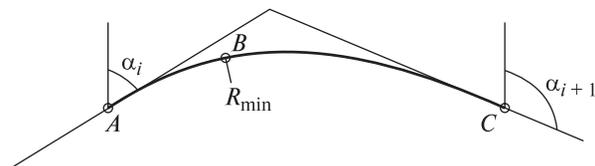


Рис. 2. Схема расчета трассы  
Fig. 2. Scheme for calculating the route

Случай 1-й.

Дано: координаты  $X, Y$  точек  $A, B, C$  и направление касательной к первой клотоиде  $\alpha_i$  (рис. 2).

Случай 2-й.

Дано: координаты  $X, Y$  точек  $A, B, C$  и направление касательной к первой клотоиде  $\alpha_i$ , конечный радиус  $R_{\min}$ .

Случай 3-й.

Дано: направление двух касательных к кривым  $\alpha_i$  и  $\alpha_{i+1}$ , координаты  $X, Y$  точек  $A, B, C$ .

Случай 4-й.

Дано: направление касательной к кривым  $\alpha_i$  и  $\alpha_{i+1}$ , а также координаты  $X, Y$  точек  $A$  и  $C$ .

Анализ этих расчетных случаев показывает следующее:

1. Из приведенных четырех случаев только случаи 1-й и 4-й всегда приводят к однозначному решению, в остальных — имеет место переопределенность, т. е. избыточность исходной информации и, как правило, решение отсутствует. Расчетная схема случая 4-го по существу такая же, как и в традиционном методе, поскольку задание направления двух касательных практически аналогично заданию тангенциального полигона.

2. В предложенных расчетных схемах трасса рассматривается как последовательность клотоид и прямых, т. е. предусмотрен всего один вид закругления — биклотоиды. Круговые кривые и отрезки клотоид в трассу не включаются. Это существенный недостаток в соответствии со следующими причинами:

– во-первых, ограничиваются возможности клотоидного трассирования в части наилучшего и гибкого вписания в рельеф и учета геоморфологических особенностей местности;

– во-вторых, как показали исследования, закругления вида биклотоид не всегда обеспечивают необходимые условия удобства и безопасности движения;

– в-третьих, на закруглениях клотоида — круговая кривая — клотоида лучше условия для осуществления виража и отгона уширения проезжей части.

По этим причинам в некоторых странах, например в Германии, устраивать биклотоиды вообще не рекомендуется, и нормируется минимально необходимая величина круговой вставки между клотоидами одного направления. Закругления

вида клотоида — круговая кривая — клотоида наилучшим образом отвечают фактической траектории движения автомобиля, поскольку водитель, двигаясь по круговой вставке имеет возможность сориентироваться, чтобы осуществить переход с режима движения по клотоиде с уменьшающимся радиусом на режим движения по клотоиде с увеличивающимся радиусом.

При расчете по схеме случая 4-го не контролируются величины радиуса на стыке двух клотоид, а также величины параметров (длин) клотоид. Тогда полученные в результате расчета геометрические характеристики трассы не будут удовлетворять предъявляемым к ним требованиям. Чтобы уменьшить вероятность такой ситуации, необходима тщательная графическая проработка трассы с использованием шаблонов клотоидных кривых.

Проведенный анализ показал, что поставленная ранее задача расчета трассы, проходящей через графически предварительно намеченные главные точки, в общем виде не решена. Однако сама идея использования данных о расположении трассы на криволинейном участке для расчета является несомненной заслугой Э.Ф. Алешникова [4, 5].

Согласно зарубежному опыту, в подавляющем большинстве программы проектирования трассы лесовозных автомобильных дорог в плане используют методы, в которых определяющими элементами являются как прямолинейные, так и криволинейные элементы.

В работах [6–8] освещены основные положения программ, реализующих указанный принцип. Наибольший интерес представляет работа К. Линквица и др., в которой приводятся результаты исследования программ фирм IBM, Nordisk, RIB и Zuse.

Необходимым условием для расчета трасс по всем этим программам является графическое проектирование на топооснове в определенной системе координат, в ходе которого проводится разбивка трассы на элементы (круговые кривые, клотоиды и прямые) и определяются необходимые данные для расчета: координаты определенных точек на прямых и круговых кривых, величины радиусов круговых кривых, длин переходных кривых и т. д.

По своим техническим возможностям программы RIB, IBM и Nordisk почти равноценны [7]. Различия между ними состоят преимущественно в формах представления исходных данных и выдаваемых результатов. Отмечается также, что с точки зрения проектировщика наиболее удобной признана программа Nordisk. В этой программе для каждого элемента трассы могут быть известны одна, две или



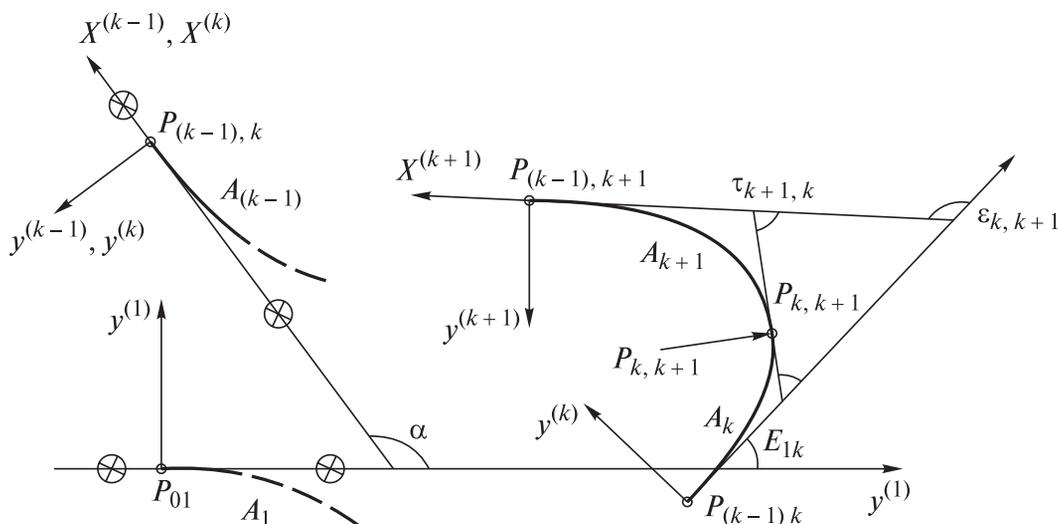


Рис. 4. Последовательность элементов между двумя фиксированными прямыми  
 Fig. 4. The sequence of elements between two fixed straight lines

В работе [7] приведены основные принципы решения задач для различных типов блоков. Рассмотрим сначала последовательность элементов между двумя фиксированными прямыми, заданными, например, двумя фиксированными точками (рис. 4).

Для четвертого случая приводим определяющее уравнение

$$\alpha = \varepsilon_{1,k} = \varepsilon_{12} + \varepsilon_{23} + \varepsilon_{34} + \dots + \varepsilon_{k-1,k}. \quad (9)$$

Если, например, между двумя фиксированными прямыми имеется последовательность клотоид, где неизвестен только параметр  $A_{\lambda v}$  при  $v = 1, 2, \dots, n$  и задано:

$$m_v = \frac{A_{\lambda 1}^2}{A_{\lambda v}^2}, \quad v = 1, 2, \dots, n,$$

то получается

$$\alpha = \tau_{12} - \tau_{21} + \tau_{22} - \tau_{31} + \dots + \tau_{k-2,2} - \tau_{k-1,1}.$$

$$A = \frac{2\alpha - \sum_{\mu \neq \lambda, v} A_{\mu}^2 \left( \frac{1}{R_{\mu, \mu+1}^2} - \frac{1}{R_{\mu-1, \mu}^2} \right)}{\sum_{\mu = \lambda, v} \frac{1}{m_{\mu}} \left( \frac{1}{R_{\mu, \mu+1}^2} - \frac{1}{R_{\mu-1, \mu}^2} \right)}. \quad (10)$$

Если неизвестной является длина круговой кривой ( $k$ -го элемента), то поскольку  $\tau_{k,1} = 0$ , имеем

$$\alpha = \varepsilon_{1,k} + \tau_{k,2} - \tau_{k+1,1} + \varepsilon_{k+1,k},$$

следовательно

$$L_{k,k+1}^{(k)} = R_{k-1,k} \cdot (\alpha - \varepsilon_{1,k} + \tau_{k+1,1} - \varepsilon_{k+1,k}). \quad (11)$$

Если в общей последовательности элементов между двумя фиксированными прямыми неизвестным является радиус на стыке двух клотоид  $k$  и  $k+1$ , то его можно найти следующим образом:

$$\tau_{k,2} = \frac{A_k^2}{2R_{k,k+1}^2}; \quad \tau_{k+1,1} = \frac{A_{k+1}^2}{2R_{k,k+1}^2}; \quad \varepsilon_{k+1,k} = \tau_{k,2} - \tau_{k+1,1};$$

$$\beta = \alpha - (\varepsilon_{12} + \varepsilon_{23} + \dots + \varepsilon_{k-1,k} + \varepsilon_{k+1,k+2} \dots + \varepsilon_{k-1,k}) = \alpha - \varepsilon_{1,k} - \varepsilon_{k+1,k};$$

$$R_{k,k+1}^2 = \frac{A_k^2 - A_{k+1}^2}{2\beta}.$$

Если  $i$ -й элемент круговой кривой известной длины с неизвестным радиусом, то его значение определяют по выражению:

$$R_{i-1,i} = \frac{L_{i,i+1}^{(i)}}{\alpha - (\varepsilon_{1,i} - \tau_{i+1,1} + \varepsilon_{i+1,k})},$$

где

$$L_{i,i+1}^{(i)} = \tau_{i,2} \cdot R_{i-1,i}. \quad (12)$$

Рассмотрим теперь последовательность элементов между фиксированной прямой и фиксированной круговой кривой (рис. 5).

Определяющее уравнение в этом случае имеет вид

$$D = y_{Mk-1,k}^{(1)} = y_{Pk-1,k}^{(1)} + R_{k-1,k} \cdot \cos \varepsilon_{1,k} = y_{P01}^{(1)} + \sum_{\mu=1}^{k-1} \left\{ X_{\rho\mu, \mu+1}^{(\mu)} - X_{\rho\mu-1, \mu}^{(\mu)} \cdot \sin \varepsilon_{1, \mu} + \left[ Y_{\rho\mu, \mu+1}^{(\mu)} - Y_{\rho\mu-1, \mu}^{(\mu)} \right] \cdot \cos \varepsilon_{1, \mu} \right\} + R_{k-1,k} \cdot \cos \varepsilon_{1,k}. \quad (13)$$

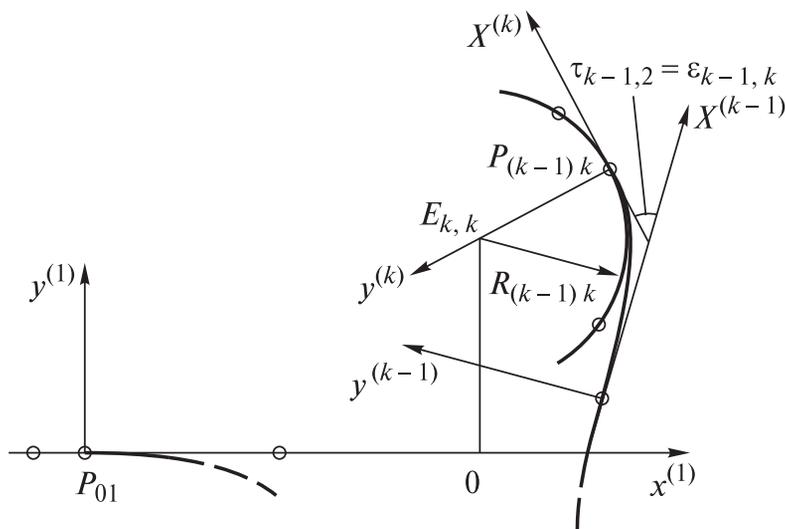


Рис. 5. Последовательность элементов между фиксированной прямой и фиксированной круговой кривой

Fig. 5. Sequence of elements between a fixed straight line and a fixed circular curve

Решение уравнения (13) осуществляется итеративным методом, в зависимости от составляющих элементов последовательности и неизвестных величин.

Для последовательности элементов между двумя фиксированными круговыми кривыми определяющее уравнение имеет вид

$$S = |Z_{Mk-1,k}^{(1)} - Z_{M01}^{(1)}|$$

или

$$S^2 = (Z_{Mk-1,k}^{(1)} - Z_{M01}^{(1)}) (\overline{Z_{Mk-1,k}^{(1)}} - \overline{Z_{M01}^{(1)}}). \quad (14)$$

Рассматриваемым методом предусмотрена возможность проложения рассматриваемой последовательности элементов трассы через фиксированные точки. Например, если между фиксированными элементами нужно включить общую последовательность элементов, *i*-й элемент которой является круговой кривой, и этот элемент нужно провести через фиксированную точку (рис. 6), то определяющие уравнения будут иметь вид

в случае, представленном на рис. 6, а:

$$\alpha = \varepsilon_{1,k}; \quad D_1 = y_p^{(1)}; \quad D_2 = y_p^{(k)}, \quad (15)$$

в случае, представленном на рис. 6, б:

$$D_1 = y_p^{(1)}; \quad D_2 = |Z_p^{(k)} - Z_{Mk-1,k}^{(k)}|; \quad S = Y_{Mk-1,k}^{(1)}; \quad (16)$$

в случае, представленном на рис. 6, в:

$$D_1 = |Z_p^{(k)} - Z_{M01}^{(1)}|; \quad D_2 = |Z_p^{(k)} - Z_{Mk-1,k}^{(k)}|; \quad S = D_2 = |Z_{M01}^{(1)} - Z_{Mk-1,k}^{(1)}|. \quad (17)$$

Данные уравнения решаются итеративными методами.

В работах [3, 6, 7, 9] представлена также возможность расчета последовательности элементов, из которой первый элемент фиксированный, а последний — должен проходить через одну фиксированную точку. В этом случае определяющие уравнения имеют вид

в случае круговой кривой (рис. 7, а):

$$S = |Z_p^{(1)} - Z_{M01}^{(1)}| = |Z_{Pk,k+1}^{(1)} - Z_{M01}^{(1)}|, \quad (18)$$

в случае прямой (рис. 7, б):

$$D = y_p^{(1)} = y_{pk,k+1}^{(1)}. \quad (19)$$

Уравнения (18) и (19) решаются методами итераций с учетом конкретной последовательности элементов.

В работах [4, 5, 10] предлагается также возможность решения ряда частных случаев проектирования осей: параллельное смещение трассы в определенных точках (например, при переходе на раздельное трассирование по направлениям движения на дорогах первой категории), переломы касательных в главных точках и др.

Метод, изложенный в работах [11–21], признан лучшим в группе методов расчета однозначного определенной трассы.

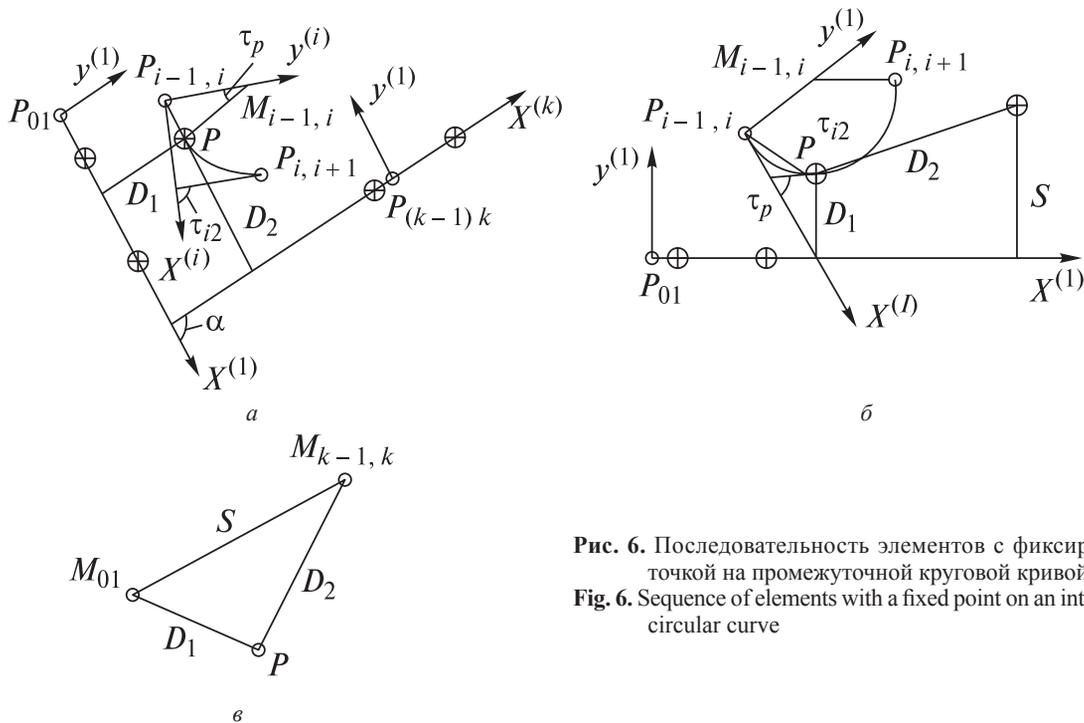


Рис. 6. Последовательность элементов с фиксированной точкой на промежуточной круговой кривой  
 Fig. 6. Sequence of elements with a fixed point on an intermediate circular curve

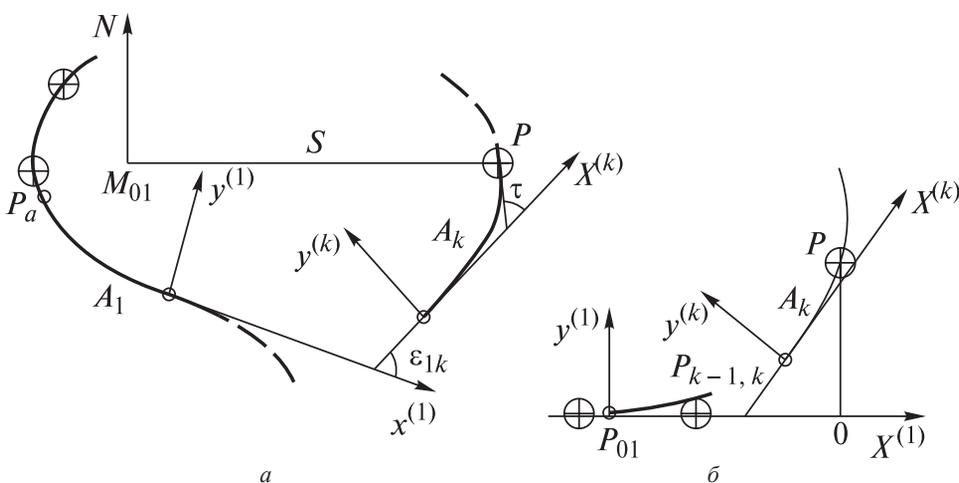


Рис. 7. Последовательность элементов с полуфиксированным последним элементом  
 Fig. 7. Sequence of elements with a semi-fixed last element

Вместе с тем в нем есть следующие недостатки:

- в частности поблочный подход к расчету трассы вызывает избыточное применение методов итерации, что снижает эффективность решения задачи в целом;
- отсутствует контроль выполнения нормативных требований к геометрическим характеристикам элементов трассы лесовозной автомобильной дороги, получаемых в результате расчета, что может приводить к неудовлетворительным решениям;
- не учитываются особенности отечественной практики проектирования;
- использование математического аппарата комплексных переменных ограничивает возмож-

ность применения некоторых алгоритмических языков, что создает трудности при программной реализации.

**Выводы**

На основании анализа существующих отечественных и зарубежных методов проектирования трасс лесовозных автомобильных дорог можно сделать ниже следующие выводы:

1. Трассирование — наиболее важный этап проектно-изыскательских работ, так как именно положение трассы определяет основные технико-экономические показатели проектируемой дороги. Принятые в отечественной практике технология и методы проектирования дорог не

позволяют обеспечивать высокое качество выбора трассы. Это обуславливает необходимость и целесообразность проведения исследований и совершенствования технологии и методов автоматизированного проектирования трасс лесовозных автомобильных дорог с применением современных информационных технологий по материалам, полученным с беспилотных летательных аппаратов, или крупномасштабным топографическим планам в координатах.

2. Методы трассирования должны быть увязаны с принятой технологией проектирования. В свою очередь, и выбор метода, и технология должны зависеть от конкретных особенностей проектируемого объекта: природных условий, стадии проектирования, обеспеченности топографическими материалами и т. д. Этим обусловлено создание некоторых методов автоматизированного проектирования трасс:

а) основанных на расчете однозначно определенной трассы;

б) базирующихся на оптимизации трассы по технико-экономическим критериям.

3. В большинстве стран в практике проектирования лесовозных автомобильных дорог применяются только методы однозначного расчета осей. Они достаточно эффективно используются при вариантном проектировании трасс. Иногда (например, в стесненных условиях) эти методы незаменимы, что обуславливает разработку применительно к отечественным условиям метода опорных элементов.

4. Развитие средств информационных технологий в части автоматической регистрации координат с топографических материалов и беспилотных летательных аппаратов обусловило разработку методов, основанных на идеях сглаживания намеченной проектировщиком эскизной линии. Перспективным направлением следует считать сглаживание клотоидами, отрезками клотоид, круговыми кривыми и прямыми в соответствии с требованиями клотоидного трассирования, выполняемое с применением методов нелинейного математического программирования.

## Список литературы

- [1] Бабков В.Ф. Дорожные условия и безопасность движения. М.: Транспорт, 1993. 271 с.
- [2] Гулевский В.А., Скрыпников А.В., Козлов В.Г., Ломакин Д.В., Микова Е.Ю. Экспериментальная оценка сцепных качеств и ровности покрытий при различных состояниях автомобильных дорог и погодных условиях // Вестник Воронежского государственного аграрного университета, 2018. Т. 11. № 1 (56). С. 112–118.
- [3] Иванов В.Н., Ерохов В.Н. Влияние параметров автомобильных дорог на расход топлива // Автомобильные дороги, 2014. № 8. С. 10–13.
- [4] Бируля А.К. Эксплуатация автомобильных дорог. М.: Транспорт, 1966. 326 с.
- [5] Козлов В.Г., Скрыпников А.В., Микова Е.Ю., Могутнов Р.В., Зеликова Ю.А. Комплексные экспериментальные исследования изменения параметров и характеристик дорожных условий, транспортных потоков и режимов движения под влиянием климата и погоды // Лесотехнический журнал, 2018. Т. 8. № 2 (30). С. 156–168. DOI: 10.12737/article\_5b240611858af4.37544962
- [6] Козлов В.Г. Методы, модели и алгоритмы проектирования лесовозных автомобильных дорог с учетом влияния климата и погоды на условия движения: дис. ... д-ра техн. наук. Архангельск: САФУ, 2017. 406 с.
- [7] Кондрашова Е.В., Скворцова Т.В. Совершенствование организации дорожного движения в транспортных системах лесного комплекса // Системы управления и информационные технологии, 2008. № 3.2(33). С. 272–275.
- [8] Сильянов В.В., Ситников Ю.М. Расчет скоростей движения при проектировании автомобильных дорог // Тр. МАДИ, 1974. Вып. 72. С. 47–66.
- [9] Козлов В.Г., Скрыпников А.В., Микова Е.Ю., Могутнов Р.В., Чирков Е.В. Формирование модели проектирования системы «дорожные условия – транспортные потоки» и пути ее реализации // Лесоинженерное дело, 2018. Т. 8. № 1 (29). С. 100–111. DOI:10.12737/article\_5ab0dfbebece23.91630316
- [10] Дрю Д. Теория транспортных потоков и управление ими. М.: Транспорт, 2012. 424 с.
- [11] Kozlov V.G. Mathematical modeling of damage function when attacking file server // J. Physics: Conference Series, 2018, v. 1015, pp. 032–069.
- [12] Kozlov V.G., Gulevsky V.A., Skrypnikov A.V., Logoyda V.S., Menzhulova A.S. Method of Individual Forecasting of Technical State of Logging Machines // IOP Conference Series: Materials Science and Engineering, 2018, v. 327(4), pp. 042–056. DOI: 10.1088/1757-899X/327/4/042056
- [13] Skrypnikov A.V., Dorokhin S.V., Kozlov V.G., Chernyshova E.V. Mathematical Model of Statistical Identification of Car Transport Informational Provision // J. Engineering and Applied Sciences, 2017, v. 12, no. 2, pp. 511–515.
- [14] Калужский Я.А., Бегма И.В., Кисляков В.М., Филиппов В.В. Применение теории массового обслуживания в проектировании автомобильных дорог. М.: Транспорт, 1969. 136 с.
- [15] Скрыпников А.В., Козлов В.Г., Ломакин Д.В., Микова Е.Ю. Оценка влияния на скорость движения постоянных параметров плана и профиля при различных состояниях поверхности дороги // Лесной вестник / Forestry Bulletin, 2017. Т. 21. № 6. С. 43–49. DOI: 10.18698/2542-1468-2017-6-43-49
- [16] Хомяк Я.В. Проектирование сетей автомобильных дорог. М.: Транспорт, 1983. 207 с.
- [17] Чернышова Е.В. Алгоритм решения задачи оптимального трассирования лесовозной автомобильной дороги на неоднородной местности // Вестник ВГУИТ, 2017. Т. 79. № 2 (72). С. 113–120.
- [18] Чернышова Е.В. Методы формирования цифровой модели местности при трассировании лесовозных автомобильных дорог // Системы. Методы. Технологии, 2017. № 3(35). С. 143–148.
- [19] Козлов В.Г., Скрыпников А.В., Чернышова Е.В., Чирков Е.В., Поставничий С.А., Могутнов Р.В. Теоретические основы и методы математического моделирования лесовозных автомобильных дорог // ИВУЗ Лесной журнал, 2018. № 6 (366). С. 117–127.
- [20] Zavrzhnov A.I., Belyaev A.N., Zelikov V.A., Tikhomirov P.V., Mikheev N.V. Designing mathematical models of geometric and technical parameters for modern road-build-

ing machines versus the main parameter of the system // Atlantis Highlights in Material Sciences and Technology Proceedings of the Int. Symp. «Engineering and Earth Sciences: Applied and Fundamental Research» dedicated to the 85-th anniversary of H.I. Ibragimov (ISEES 2019), 2019. С. 823–827.

[21] Berestnev O, Soliterman Y, Goman A Development of Scientific Bases of Forecasting and Reliability Increase of Mechanisms and Machines – One of the Key Problems of Engineering Science // Int. Symp. on History of Machines and Mechanisms Proceedings, 2000, pp. 325–332.

## Сведения об авторах

**Чирков Евгений Викторович** — соискатель кафедры информационной безопасности ФГБОУ ВО «Воронежский государственный университет инженерных технологий», skrypnikovvsafe@mail.ru

**Скрыпников Алексей Васильевич** — д-р техн. наук, декан факультета «Управление и информатика в технологических системах» ФГБОУ ВО «Воронежский государственный университет инженерных технологий», skrypnikovvsafe@mail.ru

**Козлов Вячеслав Геннадиевич** — д-р техн. наук, заместитель декана по научной работе агроинженерного факультета ФГБОУ ВО «Воронежский государственный аграрный университет имени Императора Петра I», vya-kozlov@yandex.ru

**Саблин Сергей Юрьевич** — соискатель кафедры информационной безопасности ФГБОУ ВО «Воронежский государственный университет инженерных технологий», skrypnikovvsafe@mail.ru

**Боровлев Антон Олегович** — соискатель кафедры информационной безопасности ФГБОУ ВО «Воронежский государственный университет инженерных технологий», skrypnikovvsafe@mail.ru

Поступила в редакцию 25.07.2020.

Принята к публикации 20.08.2020.

## METHODS FOR DESIGNING TRUCK HAULROADS BASED ON CALCULATION OF UNIQUELY DEFINED ROUTE

E.V. Chirkov<sup>1</sup>, A.V. Skrypnikov<sup>1</sup>, V.G. Kozlov<sup>2</sup>, S.Yu. Sablin<sup>1</sup>, A.O. Borovlev<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Voronezh State University of Engineering Technologies, 19, Revolution avenue, 394036, Voronezh, Russia

<sup>2</sup>Voronezh State Agrarian University named after Emperor Peter the Great, 1, Michurina st., 394087, Voronezh, Russia

skrypnikovvsafe@mail.ru

Currently, in Russia and abroad, many works are devoted to the study of design methods in the plan. Proposed several methods for alignment design of forest roads using information technologies, different objectives, ways of their solution, the nature of the geometric representation of the route and other features. The article discusses the main methods of designing logging roads based on the calculation of a uniquely defined route, which allows us to conclude that tracing is the most important stage of design and survey work, since it is the position of the route that determines the main technical and economic indicators of the projected road. This makes it necessary and expedient to conduct research and improve the technology and methods of computer-aided design of the route of logging roads using modern information technologies based on materials obtained from unmanned aerial vehicles or large-scale topographic plans in coordinates. Also, tracing methods should be linked to the accepted design technology. In turn, the choice of method and technology may depend on the specific features of the projected object: natural conditions, design stage, availability of topographic materials, etc.

**Keywords:** design method, route, road, clotoid, curved section

**Suggested citation:** Chirkov E.V., Skrypnikov A.V., Kozlov V.G., Sablin S.Yu., Borovlev A.O. *Metody proektirovaniya lesovoznykh avtomobil'nykh dorog, osnovannye na raschete odnoznachno opredelennoy trassy* [Methods for designing truck haulroads based on calculation of uniquely defined route]. *Lesnoy vestnik / Forestry Bulletin*, 2020, vol. 24, no. 5, pp. 128–137. DOI: 10.18698/2542-1468-2020-5-128-137

## References

- [1] Babkov V.F. *Dorozhnye usloviya i bezopasnost' dvizheniya* [Road conditions and traffic safety]. Moscow: Transport, 1993, 271 p.
- [2] Gulevskiy V.A., Skrypnikov A.V., Kozlov V.G., Lomakin D.V., Mikova E.Yu. *Ehksperimental'naya otsenka stsepykh kachestv i rovnosti pokrytiy pri razlichnykh sostoyaniyakh avtomobil'nykh dorog i pogodnykh usloviyakh* [Experimental evaluation of coupling properties and smoothness of coatings under various conditions of highways and weather conditions]. *Vestnik Voronezhskogo gosudarstvennogo agrarnogo universiteta* [Bulletin of Voronezh State Agrarian University], 2018, v. 11, no. 1 (56), pp. 112–118.
- [3] Ivanov V.N., Erokhov V.N. *Vliyaniye parametrov avtomobil'nykh dorog na rashod topliva* [Influence of road parameters on fuel consumption]. *Avtomobil'nye dorogi* [Automobile roads], 2014, no. 8, pp. 10–13.
- [4] Birulya A.K. *Ekspluatatsiya avtomobil'nykh dorog* [Operation of highways]. Moscow: Transport, 1966, 326 p.

- [5] Kozlov V.G., Skrypnikov A.V., Mikova E.Yu., Mogutnov R.V., Zelikova Yu.A. *Kompleksnyye eksperimental'nye issledovaniya izmeneniya parametrov i kharakteristik dorozhnykh usloviy, transportnykh potokov i rezhimov dvizheniya pod vliyaniem klimata i pogody* [Complex experimental studies of changes in the parameters and characteristics of road conditions, traffic flows and modes of movement under the influence of climate and weather]. *Lesnoy Zhurnal* (Russian Forestry Journal), 2018, v. 8, no. 2 (30), pp. 156–168. DOI: 10.12737 / article\_5b240611858af4.37544962
- [6] Kozlov V.G. *Metody, modeli i algoritmy proektirovaniya lesovoznykh avtomobil'nykh dorog s uchetom vliyaniya klimata i pogody na usloviya dvizheniya* [Methods, Models and Algorithms for Designing Timber Highways Taking into Account the Effect of Climate and Weather on Traffic Conditions]. Dis. ... Dr. Sci. (Tech.). Arkhangel'sk: NArFU, 2017, 406 p.
- [7] Kondrashova E.V., Skvortsova T.V. *Sovershenstvovanie organizatsii dorozhnogo dvizheniya v transportnykh sistemakh lesnogo kompleksa* [Improvement of the organization of road traffic in transport systems of the forestry complex]. *Sistemy upravleniya i informatsionnye tekhnologii* [Management systems and information technologies], 2008, no. 3.2 (33), pp. 272–275.
- [8] Sil'yanov V.V., Sitnikov Yu.M. *Raschet skorostey dvizheniya pri proektirovanii avtomobil'nykh dorog* [Calculation of movement speeds in the design of highways]. *Trudy MADI* [Proceedings of MADI], 1974, iss. 72, pp. 47–66.
- [9] Kozlov V.G., Skrypnikov A.V., Mikova E.Yu., Mogutnov R.V., Chirkov E.V. *Formirovanie modeli proektirovaniya sistemy «dorozhnye usloviya – transportnye potoki» i puti ee realizatsii* [Formation of a design model for the «road conditions – traffic flows» system and the ways of its implementation]. *Lesoinzhenernoe delo* [Forest engineering], 2018, v. 8, no. 1 (29), pp. 100–111. DOI: 10.12737 / article\_5ab0dfbe6e23.91630316
- [10] Dryu D. *Teoriya transportnykh potokov i upravlenie imi* [The theory of traffic flows and their management]. Moscow: Transport, 2012, 424 p.
- [11] Kozlov V.G. Mathematical modeling of damage function when attacking file server. *J. Physics: Conference Series*, 2018, v. 1015, pp. 032–069.
- [12] Kozlov V.G., Gulevsky V.A., Skrypnikov A.V., Logoyda V.S., Menzhulova A.S. Method of Individual Forecasting of Technical State of Logging Machines. *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*, 2018, v. 327(4), pp. 042–056. DOI: 10.1088/1757-899X/327/4/042056
- [13] Skrypnikov A.V., Dorokhin S.V., Kozlov V.G., Chernyshova E.V. Mathematical Model of Statistical Identification of Car Transport Informational Provision. *J. Engineering and Applied Sciences*, 2017, v. 12, no. 2, pp. 511–515.
- [14] Kaluzhskiy Ya.A., Begma I.V., Kislyakov V.M., Filippov V.V. *Primenenie teorii massovogo obsluzhivaniya v proektirovanii avtomobil'nykh dorog* [Application of queuing theory in the design of highways]. Moscow: Transport, 1969, 136 p.
- [15] Skrypnikov A.V., Kozlov V.G., Lomakin D.V., Mikova E.Yu. *Otsenka vliyaniya na skorost' dvizheniya postoyannykh parametrov plana i profilya pri razlichnykh sostoyaniyakh poverkhnosti dorogi* [Assessment of the impact on the speed of the constant parameters of the plan and profile in the various states of the road surface] *Lesnoy vestnik / Forestry Bulletin*, 2017, vol. 21, no. 6, pp. 43–49. DOI: 10.18698/2542-1468-2017-6-43-49
- [16] Khomyak Ya.V. *Proektirovanie setey avtomobil'nykh dorog* [Road network design]. Moscow: Transport, 1983, 207 p.
- [17] Chernyshova E.V. *Algoritim resheniya zadachi optimal'nogo rassirovaniya lesovoznoy avtomobil'noy dorogi na neodnorodnoy mestnosti* [Algorithm for solving the problem of optimal tracing of a timber road on a heterogeneous terrain]. *Vestnik VSUIT*, 2017, t. 79, no. 2 (72), pp. 113–120.
- [18] Chernyshova E.V. *Metody formirovaniya tsifrovoy modeli mestnosti pri rassirovanii lesovoznykh avtomobil'nykh dorog* [Methods of forming a digital terrain model for tracing timber highways]. *Sistemy. Metody. Tekhnologii* [Systems. Methods. Technologies], 2017, no. 3 (35), pp. 143–148.
- [19] Kozlov V.G., Skrypnikov A.V., Chernyshova E.V., Chirkov E.V., Postavnichiy S.A., Mogutnov R.V. *Teoreticheskie osnovy i metody matematicheskogo modelirovaniya lesovoznykh avtomobil'nykh dorog* [Theoretical foundations and methods of mathematical modeling of logging highways]. *Lesnoy Zhurnal* (Russian Forestry Journal), 2018, no. 6 (366), pp. 117–127.
- [20] Zavrazhnov A.I., Belyaev A.N., Zelikov V.A., Tikhomirov P.V., Mikheev N.V. Designing mathematical models of geometric and technical parameters for modern road-building machines versus the main parameter of the system. *Atlantis Highlights in Material Sciences and Technology Proceedings of the International Symposium «Engineering and Earth Sciences: Applied and Fundamental Research» dedicated to the 85-th anniversary of H.I. Ibragimov (ISEES 2019)*, 2019. C. 823–827.
- [21] Berestnev O, Soliterman Y, Goman A Development of Scientific Bases of Forecasting and Reliability Increase of Mechanisms and Machines – One of the Key Problems of Engineering Science. *International Symposium on History of Machines and Mechanisms Proceedings*, 2000, pp. 325–332.

## Authors' information

**Chirkov Evgeniy Viktorovich** — Candidate of the Department of information security of the Voronezh state University of engineering technologies, skrypnikovvsafe@mail.ru

**Skrypnikov Aleksey Vasil'evich** — Dr. Sci. (Tech.), Dean of the Faculty of «Management and Informatics in technological systems» of the Voronezh state University of engineering technologies, skrypnikovvsafe@mail.ru

**Kozlov Vyacheslav Gennadievich** — Dr. Sci. (Tech.), Deputy Dean on scientific work of Agricultural engineering faculty of the Voronezh state agricultural University named after Emperor Peter I, vya-kozlov@yandex.ru

**Sablin Sergey Yur'evich** — Candidate of the Department of Information security of the Voronezh state University of engineering technologies, skrypnikovvsafe@mail.ru

**Borovlev Anton Olegovich** — Candidate of the Department of Information security of the Voronezh state University of engineering technologies, skrypnikovvsafe@mail.ru

Received 25.07.2020.

Accepted for publication 20.08.2020.