

ЛЕСНОЙ ВЕСТНИК / FORESTRY BULLETIN

Научно-информационный журнал

№ 6 ' 2018 Том 22

Главный редактор

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

Редакционный совет журнала

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

Федотов Фёдорович Николайевич, 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. Забродина, Е.Д. Нефедова
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 10.12.2018.

Тираж 600 экз.

Заказ №

Объем 16,5 п. л.

Цена свободная

LESNOY VESTNIK / FORESTRY BULLETIN

Scientific Information Journal
№ 6 ' 2018 Vol. 22

Editor-in-chief

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

Editorial council of the journal

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

Titov Anatoliy Matveevich, Ph. D. (Tech.), Deputy Chief of Department, Scientific Secretary of the Board of MCC TSNIMASH, Korolev

Trichkov Neno Ivanov, professor, Dr., Vice-Rector for Research, Forestry University, Sofia, Bulgaria

Fedotov Gennadiy Nikolaevich, Dr. Sci. (Biol.), Lomonosov Moscow State University, Moscow

Assistant Editor Raseva Elena Aleksandrovna

Editor L.V. Zabrodina, E.D. Nefyodova
Translation by M.A. Karpukhina
Electronic version Yu.A. Ryazhskaya

Founder BMSTU

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

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

It is sent for the press 10.12.2018.
Circulation 600 copies
Order №
Volume 16,5 p. p.
Price free

СОДЕРЖАНИЕ

БИОЛОГИЧЕСКИЕ И ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЕ АСПЕКТЫ ЛЕСНОГО ХОЗЯЙСТВА

Изместьев А.А. Непрерывно-производительный лес как эталонная модель системной организации воспроизводства в лесном хозяйстве	5
Стороженко В.Г., Чеботарев П.А., Чеботарева В.В. Естественное возобновление в нагорных дубравах различного происхождения в зоне лесостепи (на примере лесов Теллермановского опытного лесничества Института лесоведения РАН)	14
Сурхаев И.Г., Сурхаев Г.А. Особенности формирования вегетативных древостоев <i>Robinia pseudoacacia</i> на Терско-Кумских песках	23
Дебков Н.М., Ильинцев А.С. Структура и динамика возобновления лесов на гарях средней тайги Западной Сибири	31
Колганихина Г.Б. Патогенные и сапротрофные грибы на ясене в насаждениях Теллермановского опытного лесничества	40

ЛАНДШАФТНАЯ АРХИТЕКТУРА

Лимонад М.Ю., Харебина М.А. Новые типы ландшафтных комплексов — пленэр-центры	49
Рудая О.А. Влияние экологических факторов на рост и развитие некоторых видов рода <i>Raemonia L.</i> , используемых для озеленения городов	56
Лаврова О.П. Перспективы создания фиторемедиационных газонов на почвах с низким и средним уровнем загрязнения тяжелыми металлами	65

ЛЕСОИНЖЕНЕРНОЕ ДЕЛО

Макаренко А.В. Моделирование и оценка эффективности прокладки трелевочных волоков на лесосеке	70
Сафонова Ю.А., Чирков Е.В., Самцов В.В., Абасов М.А., Скрыпников А.В., Бурмистров Д.В., Никитин В.В. Исследование вероятностных зависимостей, обуславливающих планирование ритмичного строительства лесовозных автомобильных дорог	79
Войтко П.Ф., Царев Е.М., Гайсин И.Г., Рощина М.М. Обоснование конструкции плоской сплотовой единицы для первоначального лесосплава	88

ДЕРЕВООБРАБОТКА И ХИМИЧЕСКАЯ ПЕРЕРАБОТКА ДРЕВЕСИНЫ

Федотов Г.Н., Шалаев В.С., Батырев Ю.П., Горепекин И.В. Методика для оценки эффективности действия стимуляторов прорастания семян	95
Медведев И.Н. Разработка технологии и оборудования для получения заготовок шпал и опор линий электропередач из модифицированной древесины	102
Кононов Г.Н., Вережкин А.Н., Сердюкова Ю.В., Николенко Н.А. Миколиз древесины, как метод ее делигнификации	110

МАТЕМАТИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ

Полещук О.М., Поярков Н.Г., Яшин Н.А. Обработка и анализ данных электрофизиологической инструментальной диагностики в кардиологии на основе вейвлет-преобразования	116
Мышенков В.И., Малашин А.А., Галахов Г.Д., Орехов А.Д., Пименов А.С., Пронин К.Н. Исследование пригодности ППП «NUMESA» для численного решения задач внешнего обтекания	123

CONTENTS

BIOLOGICAL AND TECHNOLOGICAL ASPECTS OF FORESTRY

- Izmest'ev A.A.**
Sustained-yield forest as reference model of forestry reproduction system organization 5
- Storozhenko V.G., Chebotarev P.A., Chebotareva V.V.**
Natural regeneration in the upland oak forests of various origins in forest-steppe zone
(example of forests of the Tellerman experimental forestry of Forest Institute of Science RAS) 14
- Surkhayev I.G., Surkhayev G.A.**
Formation peculiarities of vegetative forest stands of *Robinia pseudoacacia* on Terek-Kuma sands 23
- Debkov N.M., Il'intsev A.S.**
Burnt area in middle taiga of Western Siberia as an element of imitation of natural forest dynamics 31
- Kolganikhina G.B.**
Pathogenic and saprotroph fungi on ash in plantings of the Tellerman experimental forest area 40

LANDSCAPE ARCHITECTURE

- Limonad M.Yu., Kharebina M.A.**
New types of landscape complexes — plein air centres 49
- Rudaya O.A.**
Influence of environmental factors on growth and development of some species of genus *Paeonia* L. in urban gardening 56
- Lavrova O.P.**
Prospects for creation of phytoremediative lawns in soils with low and medium level pollution by heavy metals 65

FOREST ENGINEERING

- Makarenko A.V.**
Modeling and evaluation of laying skidding trails efficiency in cutting area 70
- Safonova Yu.A., Chirkov E.V., Samtsov V.V., Abasov M.A.,
Skrypnikov A.V., Burmistrov D.V., Nikitin V.V.**
Investigation of probabilistic dependencies, adjusting planning of rhythmic logging roads construction 79
- Voitko P.F., Tsarev E.M., Gaisin I.G., Roshchina M.M.**
Feasibility of construction flat raft section for initial wood floating 88

CHEMICAL PROCESSING OF WOOD

- Fedotov G.N., Shalaev V.S., Batyrev Yu.P., Gorepekin I.V.**
Methodology for assessing seeds germination stimulants effectiveness 95
- Medvedev I.N.**
Development of technology and equipment for the production of blanks of railway sleepers
and electric power pylons from modified wood 102
- Kononov G.N., Verevkin A.N., Serdyukova Ju.V., Nikolenko N.A.**
Wood mycolysis as a method of its delignification 110

MATH MODELING

- Poleshchuk O.M., Poyarkov N.G., Yashin N.A.**
Usage of wavelet transform for ecg data processing and analysis in instrumental cardiology 116
- Myshenkov V.I., Malashin A.A., Galakhov G.D.,
Orekhov A.D., Pimenov A.S., Pronin K.N.**
Research of the suitability of the NUMECA APP to the numerous solution of external objection 123

НЕПРЕРЫВНО-ПРОИЗВОДИТЕЛЬНЫЙ ЛЕС КАК ЭТАЛОННАЯ МОДЕЛЬ СИСТЕМНОЙ ОРГАНИЗАЦИИ ВОСПРОИЗВОДСТВА В ЛЕСНОМ ХОЗЯЙСТВЕ

А.А. Измestьев

ФГБОУ ВО «Байкальский государственный университет», 664003, Россия, г. Иркутск, ул. Ленина, д. 11

izmestevaa@bgu.ru

Существует ряд общепризнанных требований к организации лесного хозяйства (ЛХ), сформулированных лесозащитной наукой и следующих из общей современной экономико-управленческой парадигмы. В их числе — непрерывное, неистощительное пользование лесом (ННПЛ), экономическая организация и интенсификация деятельности. В статье раскрыты взаимосвязи данных требований применительно к проблеме обоснования модели системной организации воспроизводства в ЛХ. Показано, что данные требования не являются равнозначными по причине соподчиненности их целей. Уровню задачи системной организации воспроизводства в ЛХ соответствует требование его экономической организации. Экономическая организация любой хозяйственной деятельности направлена на обеспечение воспроизводства этой деятельности путем управления затратами и доходами и их баланса в рамках производственного цикла. Полная и органическая реализация модели экономической организации возможна только при ведении ЛХ на базе непрерывно-производительного леса (НПЛ). При ведении сплошнолесосечного хозяйства (НПЛ) представляет собой преемственный пространственно-возрастной ряд насаждений. Только НПЛ выступает объектом ЛХ, обеспечивающим возможность сквозного планирования в рамках производственного цикла, равного обороту рубки. Ведение целевого ЛХ возможно только на базе НПЛ и реализуется путем осуществления системы мероприятий. Система мероприятий, охватывающих насаждения всех возрастов, позволяет рассматривать ЛХ как деятельность с непрерывным технологическим процессом и придает объекту хозяйства качество целостности. Ведение ЛХ на базе НПЛ в наибольшей степени отвечает принципам системного подхода: имеет место структурированный пространственно-временной объект управления с установленными целями ведения хозяйства и функциональными зависимостями технико-экономических параметров деятельности в пределах производственного цикла. Данные выводы подтверждают известные в российской лесозащитной науке концепции системной организации ЛХ. Требование ННПЛ гарантированно реализуется только на базе НПЛ и имеет в системе координат экономической организации ЛХ адаптационный характер — позволяет учесть специфику леса как объекта воспроизводства. Экономические цели и принципы, заложенные в модель интенсивного ЛХ, также соответствуют положениям методологии экономической организации: полноценная реализация интенсивной модели возможна только на базе НПЛ. Современная территориальная организация ЛХ России на базе лесничеств не гарантирует выполнения требования ННПЛ — в лучшем случае оно будет выполняться по обезличенному объему, но не по качеству заготавливаемой древесины. В условиях, когда арендуемый для заготовки древесины лесной участок не является НПЛ, имеет место институциональное, технологическое и экономическое разделение ЛХ и лесозаготовок. Создание НПЛ в качестве объектов ведения ЛХ важно не только как условие выполнения общепризнанных требований к его организации. Формируемый НПЛ является опытной площадкой, позволяющей накапливать данные о долгосрочном влиянии мероприятий на характеристики древостоев. Эксплуатация завершенного НПЛ даст эталонную информацию о себестоимости воспроизводимой древесины на корню. На транспортно-доступных территориях лесного фонда, где лесорастительные условия позволяют выращивать высококачественные насаждения ценных пород, могли бы создаваться эксплуатационные массивы будущего — совокупность НПЛ разной производственной мощности. В качестве экономического механизма формирования НПЛ могут использоваться концессионные соглашения.

Ключевые слова: лесное хозяйство, непрерывно-производительный лес, системная организация лесного хозяйства, экономическая организация лесного хозяйства, непрерывное, неистощительное пользование лесом, интенсификация лесного хозяйства, модель воспроизводства леса

Ссылка для цитирования: Измestьев А.А. Непрерывно-производительный лес как эталонная модель системной организации воспроизводства в лесном хозяйстве // Лесной вестник / Forestry Bulletin, 2018. Т. 22. № 6. С. 5–13. DOI: 10.18698/2542-1468-2018-6-5-13

Существует ряд общепризнанных требований к организации лесного хозяйства (ЛХ), как сформулированных лесозащитной наукой (и ранее — лесоустройством), так и следующих из общей современной экономико-управленческой парадигмы. В их числе:

– непрерывное, неистощительное пользование лесом;

– экономическая организация деятельности, в основе которой лежит категория продукции (услуг) этой деятельности;

– интенсификация деятельности.

Задача практической реализации данных требований сводится к обоснованию модели системной организации воспроизводства в ЛХ, учитывающей главную особенность этой сферы

хозяйственной деятельности — длительность лесовыращивания. Только применительно к конкретной модели организации воспроизводства, представляющей собой территориально локализованный объект ведения ЛХ, можно предметно раскрыть сущность и соподчиненность указанных требований для условий отраслевой специфики.

Цель работы

Настоящая статья продолжает исследование системных связей и закономерностей воспроизводственного процесса в лесном хозяйстве, начатое автором в статье «О продукции лесного хозяйства в контексте его экономической организации» [1]. Цель проводимого исследования — раскрыть взаимосвязи известных требований к организации лесного хозяйства применительно к проблеме обоснования модели системной организации воспроизводства в этой сфере хозяйственной деятельности. Объект исследования ограничивается воспроизводством древесного ресурса при сплошнолесосечном хозяйстве.

Материалы и методы

Основной вывод, сделанный в [1], состоит в том, что логика общего методологического подхода к экономической организации хозяйственной деятельности, будучи приложенной к лесному хозяйству, формирует однозначное представление о должной форме объекта ведения лесного хозяйства — непрерывно-производительном лесе (НПЛ). Последний, напомним, представляет собой преемственный пространственно-возрастной ряд насаждений для сплошнолесосечного хозяйства или преемственно-возрастные поколения для выборочного хозяйства — воспроизводственную модель, учитывающую длительность производственного цикла выращивания спелого леса.

Полноценность экономической организации лесного хозяйства, ведущегося на базе НПЛ, обусловлена несколькими обстоятельствами.

Во-первых, организация хозяйственной деятельности не может быть «экономической», если воспроизводственная модель не ориентирована на конечного потребителя продукции этой деятельности. Принципиальным для дальнейшего исследования является тезис о том, что только на базе НПЛ возможно ведение целевого лесного хозяйства — хозяйства, ориентированного на воспроизводство определенных, востребованных рынком, сортиментов древесины конкретных пород. Только при такой модели ведения лесного хозяйства образуется замкнутый (не опосредованный бюджетной системой) финансовый оборот, обслуживающий производственный цикл лесного хозяйства. Лесное хозяйство получает свой доход, позволяющий осуществлять долговременное,

органически присущее данной деятельности, планирование. Целевое лесное хозяйство противостоит всем другим моделям, ориентированным на промежуточные результаты деятельности, например, молодняки в возрасте перевода в покрытую лесом площадь [2, 3].

Во-вторых, только при сквозном планировании лесохозяйственных мероприятий обеспечивается технологически обусловленная полнота учета затрат на производство конечных продуктов лесохозяйственного производства. Сквозное планирование означает связь структуры мероприятий и ежегодного объема затрат с воспроизводственной моделью — НПЛ. Только при полном, сквозном учете затрат ежегодный доход и чистая прибыль по НПЛ функционально связаны с лесохозяйственными мероприятиями определенной структуры и интенсивности. Соответственно, реальное, технологически обусловленное, аналитическое и управленческое значение обретает показатель себестоимости воспроизводимых сортиментов древесины: себестоимостью ежегодно получаемого объема спелой древесины является сумма затрат на ежегодно повторяющуюся по НПЛ систему мероприятий, поддерживающих объект хозяйства в состоянии динамического равновесия. Тем самым обеспечивается замкнутый контур экономического управления деятельностью, работает экономический (финансовый) механизм стимулирования снижения затрат и повышения качества выполнения мероприятий. Примером институциональной модели организации лесохозяйственного производства, в которой планируется доход от реализации конечных для лесного хозяйства ресурсов и полезностей леса, но отсутствует сквозное планирование затрат, выступает модель функционирования европейских государственных коммерческих лесохозяйственных организаций. Данную модель можно квалифицировать как модель псевдоэкономической организации [1].

Экономическая организация любой хозяйственной деятельности направлена на обеспечение воспроизводства этой деятельности путем управления затратами и доходами и их баланса в рамках производственного цикла. Однако общеметодологическая установка на баланс доходов и затрат отражает лишь финансовый аспект экономической организации и не учитывает специфику воспроизводства в лесном хозяйстве. Специфика эта обусловлена двумя обстоятельствами: ролью леса как основного средства производства в лесном хозяйстве и длительностью выращивания насаждений. Роль леса как основного средства производства окончательно получила научное обоснование в рамках учения о биогеоценозе, основоположниками которого

считаются Г.Ф. Морозов, автор фундаментального труда «Учение о лесе», и В.Н. Сукачев, создатель биогеоценологии, который считал «Учение о лесе» Морозова краеугольным камнем этой науки [4]. Чрезвычайная длительность выращивания насаждений до состояния спелости, т. е. длительность производственного цикла лесохозяйственного производства, является главной особенностью лесного хозяйства, выделяющей его среди всех видов экономической деятельности.

Учет указанных обстоятельств, необходимый для организации гарантированного воспроизводства в лесном хозяйстве, обеспечивает требование непрерывного, неистощительного пользования лесом (ННПЛ). Это требование, установленное в России в качестве одного из основных принципов лесного законодательства [5], обязывает соразмерять объемы изъятия ресурсов леса с темпами и масштабами их воспроизводства [6]. При управлении НПЛ, который представляет собой ряд разновозрастных насаждений в количестве, равном возрасту спелости, требование ННПЛ выполняется естественным образом — как следствие оборота рубки. Непрерывность пользования реализуется в результате ежегодного назначения в рубку спелого насаждения, а неистощительность — за счет поддержания объема и структуры производящего запаса на корню. Этот факт выступает еще одним, третьим, подтверждением тезиса о наиболее полной, органической реализации модели экономической организации при ведении лесного хозяйства именно на базе НПЛ.

Стоит отметить, что следствием выполнения требования ННПЛ является значительное превышение площади объекта хозяйства над площадью ежегодного пользования. В отношении НПЛ можно сказать, что его строение как преемственного пространственно-возрастного ряда насаждений трансформирует временное измерение модели воспроизводства в пространственное. Благодаря этому, в частности, при расчете лесной ренты не используются операции дисконтирования/наращения стоимостных показателей.

Таким образом, требование ННПЛ позволяет учесть специфику лесного хозяйства в рамках достижения главной цели его экономической организации — формирования механизма воспроизводства этой деятельности в рамках производственного цикла. Это означает, что в системе координат экономической организации лесного хозяйства требование ННПЛ является подчиненным, имеет адаптационный характер. При этом можно однозначно утверждать, что строение НПЛ есть следствие требования ННПЛ, способ обеспечения его выполнения.

Результаты и обсуждение

Ключевым результирующим положением проведенного исследования проблемы экономической организации лесного хозяйства, включая вопрос идентификации его продукции, является необходимость планирования и организации воспроизводства этой деятельности в рамках ее производственного цикла, количественно равного возрасту спелости насаждения. Данная принципиальная установка следует из понимания лесного хозяйства как деятельности с непрерывным технологическим процессом. Технологический процесс здесь представлен системой мероприятий, цель которой — выращивание насаждений с целевой породной и товарной структурой при сохранении биоразнообразия и соблюдении других природоохранных требований. Система мероприятий охватывает все стадии производственного цикла, представленные насаждениями разных возрастов, непрерывно и долговременно влияя на трансформацию растущего леса. При прерывании мероприятий лес продолжит расти, но вне целевого замысла. Исходя именно из данных представлений был выдвинут тезис о том, что только на базе НПЛ возможно ведение целевого лесного хозяйства. Продукцией деятельности с непрерывным технологическим процессом может являться только тот результат труда, который получен по окончании производственного цикла. Данные представления также принципиальны для понимания проблемы институциональной организации лесного хозяйства в части выделения объекта управления и целесообразности единоначалия в управлении. Сформулированное ключевое положение имеет большое значение для дальнейшего анализа, касающегося требования интенсификации лесного хозяйства.

Исследуя взаимосвязи требований к организации лесного хозяйства, рассмотрим принципы и установки, заложенные в «Концепции интенсивного использования и воспроизводства лесов», разработанной в Санкт-Петербургском научно-исследовательском институте лесного хозяйства и опубликованной в 2015 г. [7].

Авторы «Концепции...» отмечают, что в управлении лесным хозяйством России в течение последних ста лет не развивалась экономическая составляющая — учет экономической эффективности отдельных мероприятий и «всего лесного цикла». Система управления лесным хозяйством не использует индикаторы, напрямую связанные со стоимостной оценкой лесов, система планирования и большая часть лесохозяйственных нормативов на всех уровнях не имеют экономического обоснования. Практика экстенсивного лесопользования при отсутствии качественного

лесовосстановления и ухода за лесами привела к падению эффективности лесного сектора и ухудшению качества лесного фонда. Так, величина продукции лесного сектора на единицу эксплуатационной площади в год в России значительно ниже, чем, например, в скандинавских странах. Указывается на наличие дефицита сырья для лесопереработки, в частности, высококачественных сортиментов — пиловочника и фанерного кряжа. Наиболее очевидным проявлением ухудшения качества лесного фонда, усугубляющим проблему дефицита сырья для лесоперерабатывающей промышленности, является смена хвойных пород на лиственные.

Указанные проблемы призвано решить следование модели интенсивного использования и воспроизводства лесов, т. е. модели интенсивного лесного хозяйства. Данная модель, по мысли ее разработчиков, основана на систематическом уходе за растущим лесом, что позволяет поддерживать древостой на максимуме прироста, кардинально улучшать качество и товарную структуру лесов, выращивать древостои с заданными целевыми характеристиками в более короткие сроки.

Необходимые для реализации интенсивной модели новые лесохозяйственные нормативы должны быть экономически обоснованы путем учета долгосрочного влияния мероприятий на характеристики древостоев. В качестве интервала планирования указывается «цикл лесного хозяйства»: «Должна быть разработана система лесного планирования, реализующая экономическое обоснование, как отдельных мероприятий, так и расчет общей эффективности цикла ведения лесного хозяйства с учетом неистощительности лесопользования... Данный подход позволит рассматривать затраты на лесное хозяйство как инвестиции с прогнозируемым эффектом... Таким образом, интенсивную модель можно определить как систему лесного хозяйства и лесопользования, в которой мероприятия в лесу обоснованы так, чтобы получить максимальную экономическую эффективность лесного цикла в целом (от лесовосстановления до вырубки спелого древостоя) при соблюдении требований неистощительности лесопользования и сохранения биологического разнообразия» [7].

Таким образом, можно констатировать соответствие экономических целей и принципов модели интенсивного лесного хозяйства основным положениям методологии экономической организации этой хозяйственной деятельности:

– выращивание насаждений с целевой породной и товарной структурой — целевое лесное хозяйство;

– необходимость планирования и организации лесохозяйственных мероприятий в рамках произ-

водственного цикла, равного возрасту спелости насаждения — учет главной особенности лесного хозяйства;

– экономическая эффективность как обязательный критерий управления лесохозяйственной деятельностью — вариантное сопоставление планируемых доходов с затратами для выбора системы мероприятий;

– обеспечение непрерывного, неистощительного пользования лесом.

Соответственно, полноценная реализация интенсивной модели также возможна только на базе территориально локализованного объекта ведения хозяйства — НПЛ. Ведение лесного хозяйства на базе НПЛ в наибольшей степени отвечает принципам системного подхода: имеет место структурированный пространственно-временной объект управления с установленными целями ведения хозяйства и функциональными зависимостями технико-экономических параметров деятельности в пределах производственного цикла.

Автор приходит к этим выводам, систематизируя представления о сущности и взаимосвязях требований к организации лесного хозяйства, применяя для анализа механизма воспроизводства в лесном хозяйстве базовые экономические категории. Данные выводы подтверждают известные в отечественной лесоэкономической науке концепции системной организации лесного хозяйства. Одним из наиболее известных и последовательных советских и российских представителей системного подхода к организации лесного хозяйства является Н.А. Моисеев, который в числе своих научных предшественников называет профессоров В.И. Перехода и Д. Товстолеса [6].

В работах Моисеева раскрывается территориальный аспект системной организации лесного хозяйства, в том числе место НПЛ. Ключевым здесь является понятие хозяйственной секции (хозсекции). Хозсекция служит инструментом одного из применяемых в лесоустройстве методов — метода классов возраста — и представляет собой «совокупность хозяйственно однородных насаждений, территориально разобобщенных, но объединенных общей целью ведения лесного хозяйства» [8]. Она образуется на базе хозяйственно однородных групп типов леса, что означает требование однородности условий местопроизрастания.

Соотношение хозсекции и НПЛ как территориальных объектов ведения лесного хозяйства конструктивно и четко раскрыто в работе Моисеева с соавт. [8]. В данной работе в качестве примера рассматривается структура хозсекции, образованной на базе распространенного в таежной зоне типа леса — ельника-черничника. В составе таежных ельников этого типа леса мож-

но выделить несколько категорий насаждений, требующих различных подходов к ведению хозяйства:

1) типично разновозрастные ельники, наиболее эффективное использование которых требует применения соответствующих способов выборочных рубок; после рубок вновь формируются разновозрастные насаждения;

2) одновозрастные насаждения, в которых успешное возобновление можно обеспечить за счет сохранения при сплошных рубках жизнеспособного молодняка (подроста);

3) насаждения, не обеспеченные подростом, возобновление которых после сплошных рубок возможно двумя способами: созданием лесных культур и содействием последующему естественному возобновлению.

Итак, в пределах одной хозсекции выделены категории насаждений, требующие своих, особых систем мероприятий. Именно в рамках этих категорий насаждений и должны образовываться НПЛ, каждый из которых представляет собой «такой преемственный по возрасту в пределах оборота рубки ряд насаждений, в такой мере однородный по характеру развития и условиям местопроизрастания, что может быть объединен одной системой мероприятий для воспроизводства определенного ресурса, получение которого является целью данного лесного хозяйства» [8], т. е. система мероприятий вырабатывается применительно к НПЛ, что и делает его «хозяйственным целым». Это соответствует всей предшествующей логике рассуждений автора настоящей статьи.

Дробность деления лесной площади на хозсекции зависит от уровня интенсивности ведения лесного хозяйства. Наивысшая интенсивность предполагает разукрупнение хозсекции до уровня НПЛ.

В работе Н.А. Моисеева [6] система мероприятий выступает не как атрибут НПЛ, а соотносится с хозсекцией. НПЛ представлен только как упорядоченная, т. е. с равномерной («нормальной») возрастной структурой, часть постоянной хозсекции.

Промежуточный итог исследований. Лесное хозяйство является деятельностью с непрерывным технологическим процессом, который представлен системой мероприятий. Система мероприятий нацелена на выращивание насаждений с определенной породной и товарной структурой и вырабатывается для НПЛ. НПЛ выступает объектом хозяйства, обеспечивающим возможность сквозного планирования в рамках производственного цикла, равного обороту рубки. Ведение целевого лесного хозяйства возможно только на базе НПЛ и реализуется путем осуществления определенной системы мероприятий. Ведение лесного

хозяйства на базе НПЛ есть необходимое условие его экономической организации. При этом уникальным признаком данного НПЛ в конкретном промежутке времени является не установленная для него цель хозяйства, которая, как было показано на примере с ельниками-черничниками, может быть одинаковой для насаждений разных категорий одного типа леса, а выработанная для данного НПЛ система мероприятий. Система мероприятий придает объекту хозяйства качество целостности.

Данные выводы ориентируют на единоначалие в управлении хозяйственным целым. Можно представить, что несколько НПЛ, завершенных и незавершенных, находятся под управлением одного субъекта. Но над одним НПЛ не должно быть нескольких управляющих.

Сформулированные в настоящей работе, а также в работе [1] выводы позволяют охарактеризовать существующую территориальную организацию лесного хозяйства в России. В соответствии с Лесным кодексом Российской Федерации основными территориальными единицами управления в области использования, охраны, защиты, воспроизводства лесов являются лесничества и лесопарки. В отношении лесничеств, лесопарков осуществляются установление расчетной лесосеки, проведение лесоустройства, разработка и утверждение лесохозяйственных регламентов, ведение государственного лесного реестра [5].

Очевидно, лесничество не представляет собой НПЛ. Современные лесничества на территориях субъектов Российской Федерации организовывались в 2008 г. на основании приказов Рослесхоза об определении количества лесничеств и установлении их границ. Экономические и лесоводственные критерии не лежали в основе этого процесса. Так, количество и границы лесничеств в Иркутской области в целом были привязаны к сетке административных районов. Территории некоторых лесничеств при этом оказались неоднородными даже в рамках установленного лесного районирования. Например, территория Нижнеудинского лесничества Иркутской области частями отнесена к трем разным лесным районам.

На территории крупного лесничества могут осуществлять заготовку древесины десятки арендаторов. Так, по данным лесохозяйственного регламента Чунского лесничества Иркутской области, на территории этого лесничества по состоянию на начало 2017 г. работали 56 арендаторов-лесозаготовителей, общая площадь закрепленных за ними лесных участков составляла 75 % площади лесничества.

Договоры аренды лесных участков для заготовки древесины заключаются на разные сроки от 10 до 49 лет. Деятельность арендаторов никак

не координируется. Единственным технико-экономическим нормативом по лесничеству, обязывающим учитывать суммарный объем заготовки древесины всеми лесопользователями, является расчетная лесосека.

В соответствии с действующим Порядком исчисления расчетной лесосеки [9] этот показатель является сугубо количественной характеристикой, учитывающей лишь площади насаждений и ориентирующей тем самым на экстенсивное освоение лесных территорий. Основным недостатком действующего Порядка является то, что он не учитывает экономическую доступность ресурсов древесины. Это приводит, в частности, к перерубам в транспортно-доступных частях лесничества и накоплению спелых и перестойных насаждений в недоступных частях. Другой аспект проблемы — неучет экономической доступности ресурсов древесины при определении расчетной лесосеки — включение в расчет заведомо экономически непривлекательных категорий насаждений вне зависимости от их транспортной доступности. К последним можно отнести, например, спелые и перестойные насаждения с низким запасом древесины на 1 га (50...150 м³) и низкотоварные насаждения с низким процентом выхода деловой древесины [10].

Выработка и реализация в пределах лесничеств какой-либо целенаправленной политики формирования и передачи лесных участков в аренду, предполагающей установление схем размещения и последовательности передачи участков арендаторам, законодательством не предусмотрены. Задача «внедрения рыночных отношений в лесопользование» с начала 90-х гг. XX в. реализуется путем территориально хаотичной передачи в аренду прежде всего транспортно-доступных лесных участков, занятых высокотоварными насаждениями хозяйственно ценных пород. Эти участки, формируемые зачастую с подачи будущих арендаторов, интересуют их лишь с точки зрения наличных ресурсов древесины. Арендный лесной участок также не является НПЛ уже потому, что даже максимально возможный срок аренды меньше возраста спелости хозяйственно ценных хвойных пород. Это и порождает ситуацию, которую профессор А.П. Петров характеризует как институциональное, технологическое и экономическое разделение лесного хозяйства и лесозаготовок вопреки классическому пониманию лесного хозяйства как единства рубок и мероприятий по восстановлению лесов и уходу за ними [11]. Выполнение лесохозяйственных мероприятий, возложенное на арендатора в соответствии с Лесным кодексом Российской Федерации, является для него лишь финансовым бременем, дополнением к основной лесозаготовительной деятельности.

Таким образом, в условиях, когда единственным механизмом (косвенным) координации деятельности лесозаготовителей является ограничение общего объема заготовки на территории лесничества величиной расчетной лесосеки, существует лишь теоретическая возможность выполнять требование НПЛ. Для того чтобы эта возможность реализовалась, необходимо как минимум непрерывно расширять сеть лесных дорог и обеспечивать должную охрану лесов от незаконных рубок и пожаров (в условиях Сибири данные задачи в значительной мере взаимно противоречивы). Первоочередная вырубка наиболее хозяйственно ценных насаждений оставшихся массивов первичных лесов при отсутствии должного целенаправленного ухода за сменяющими их насаждениями уже приводит к дефициту высококачественного сырья для лесопереработки [7]. Это означает, что требование НПЛ в лучшем случае будет выполняться по обезличенному объему, но не по качеству заготавливаемой древесины.

Выводы и рекомендации

Все требования к организации лесного хозяйства полно и органически реализуются только на базе непрерывно-производительного леса как хозяйственного целого, что делает его эталонным территориальным объектом лесохозяйственной деятельности. Иные практикуемые или предлагаемые лесными экономистами модели организации лесного хозяйства либо имитируют экономическую организацию НПЛ, и в них только декларируется выполнение требования НПЛ, либо имеет место прямой отказ от планирования и организации воспроизводства данной деятельности в рамках ее производственного цикла. Такой плюрализм подходов, допускающий отступление от теоретически обоснованной эталонной модели территориальной организации хозяйства, возможен благодаря роли леса как основного средства производства в лесном хозяйстве, поскольку древостой будет так или иначе формироваться не независимо от применяемой технологии и организации лесохозяйственного производства, и даже при полном отсутствии вмешательства человека. Изменение породной структуры лесов, ухудшение их товарности и снижение экологического потенциала при этом не выглядят вопиющими по причине длительности роста леса и все еще сохраняющейся в Сибири и на Дальнем Востоке возможности пионерного освоения лесных массивов.

Создание НПЛ в качестве объектов ведения лесного хозяйства важно не только как условие его экономической организации и выполнения требований интенсификации и непрерывного неистощительного пользования. Формируемый

НПЛ является опытной площадкой, позволяющей накапливать данные о долгосрочном влиянии мероприятий на характеристики древостоев, что имеет огромное научное и практическое значение для интенсификации лесного хозяйства и лесопользования. Эксплуатация завершеного НПЛ даст эталонную информацию о себестоимости воспроизводимой древесины на корню.

Формировать НПЛ в качестве опытных площадок целесообразно в разных лесорастительных и лесохозяйственных условиях. На транспортно-доступных территориях лесного фонда, где лесорастительные условия позволяют выращивать высокоствольные насаждения ценных пород, могли бы создаваться эксплуатационные массивы будущего — совокупность НПЛ разной производственной мощности. Такие завершённые НПЛ предлагались бы для передачи в аренду лесозаготовителям в соответствии с их ежегодной потребностью в древесине. В качестве перспективных объектов для отработки технологий интенсивного лесного хозяйства рассматриваются, например, транспортно-освоенные земли в южной части Сибири с благоприятными лесорастительными условиями, часть из которых относится к заброшенным землям сельскохозяйственного назначения, часть — к землям лесного фонда, на которых в настоящее время сформированы вторичные мягколиственные леса [12].

Создание НПЛ — это длительный инвестиционный процесс, в связи с чем принципиальным является вопрос об экономическом механизме данного процесса. Формирование НПЛ с относительно небольшими оборотами рубки — прежде всего на основе лесных плантаций — возможно на принципах концессионных соглашений, где концессионером будет выступать заинтересованный в эксплуатации создаваемого объекта лесопромышленный бизнес. Концессионные схемы, ориентированные на привлечение долгосрочных инвестиций лесопромышленного бизнеса, могут быть перспективны и в других конкретных условиях формирования более сложных НПЛ. Для этого необходимо на законодательном уровне расширить установленный перечень объектов концессионных соглашений [13].

При аренде завершеного НПЛ организация лесного хозяйства не зависит от срока договора аренды — в обязанности арендатора должно быть

включено выполнение установленной для данного НПЛ ежегодно повторяющейся по структуре и объемам системы мероприятий на всей площади хозяйственного целого.

Список литературы

- [1] Измestьев А.А. О продукции лесного хозяйства в контексте его экономической организации // Лесной вестник / Forestry Bulletin, 2017. Т. 21, № 1. С. 41–47. DOI: 10.18698/2542-1468-2017-1-41-47.
- [2] Петров А.П. Экономические отношения в лесном хозяйстве: из прошлого в будущее. Материалы к докладу на научных дебатах «Экономика лесных отношений». Москва, 25 февраля 2016 г. URL: <http://cepl.rssi.ru/forest-economy/> (дата обращения 05.05.2018).
- [3] Лобовиков Т.С. Концепция хозрасчетной организации лесохозяйственного производства // Лесное хозяйство, 1989. № 5. С. 8–12.
- [4] Тришин В.С., Петренко В.А., Злотницкий А.Б. Основы экономической оценки леса, как элемента природной среды // Тр. СПбНИИЛХ «Тажные леса на пороге XXI века». СПб.: СПбНИИЛХ, 1999. Вып. LXX. С. 233–239.
- [5] Лесной кодекс Российской Федерации. Закон от 4 декабря 2006 г. № 200-ФЗ. М.: ИНЭКО, 2006. 48 с.
- [6] Моисеев Н.А. Экономика лесного хозяйства. М.: МГУЛ, 2008. 384 с.
- [7] Концепция интенсивного использования и воспроизводства лесов. Одобрена на совещании у заместителя министра природных ресурсов и экологии Российской Федерации – руководителя Федерального агентства лесного хозяйства И.В. Валентика 29 мая 2015 г. URL: www.spb-niilh.ru/pdf/Rosleshoz_booklet.pdf (дата обращения 05.05.2018).
- [8] Иванюта В.М., Кожухов Н.И., Моисеев Н.А. Экономика лесного хозяйства. М.: Лесная пром-сть, 1983. 272 с.
- [9] Об утверждении Порядка исчисления расчетной лесосеки. Приказ Рослесхоза от 27 мая 2011 г. № 191 // Бюллетень нормативных актов федеральных органов исполнительной власти, 2011. № 31.
- [10] Суходолов А.П., Измestьев А.А. Экономическая доступность лесных ресурсов как рентообразующий фактор и основа оценки лесосырьевого потенциала // Известия Иркутской государственной экономической академии (Байкальский государственный университет экономики и права), 2012. № 6 (86). С. 31–35.
- [11] Петров А.П. Назад в будущее? // Российские лесные вести, 2014. 21 марта. URL: <http://zmdosie.ru/resursy/les/3769-gosudarstvennye-lesokhozyajstvennye> (дата обращения 08.05.2018).
- [12] Бондарев А.И., Онучин А.А., Читоркин В.В., Соколов В.А. О концептуальных положениях интенсификации использования и воспроизводства лесов в Сибири // Лесной журнал, 2015. № 6. С. 25–34.
- [13] О концессионных соглашениях. Федеральный закон. Принят Государственной Думой 6 июля 2005 г. // Российская газета, 2005. 26 июля. № 161.

Сведения об авторе

Измestьев Александр Анатольевич — канд. экон. наук, доцент, доцент кафедры экономики и управления бизнесом, ученый секретарь ученого совета ФГБОУ ВО «Байкальский государственный университет», izm77@rambler.ru

Поступила в редакцию 28.05.2018.

Принята к публикации 10.10.2018.

SUSTAINED-YIELD FOREST AS REFERENCE MODEL OF FORESTRY REPRODUCTION SYSTEM ORGANIZATION

A.A. Izmet'sev

Baikal State University, 11, Lenina st., 664003, Irkutsk, Russia

izmetsevaa@bgu.ru

A number of the conventional requirements to the organization of the forestry, formulated by forest economy and following from the general modern economical and administrative paradigm, are known. Among them are continuous sustainable forest use (CIFU), an economic working arrangement and intensification of activity. The article reveals the relationship of these requirements in relation to the problem of justifying the model of the forestry reproduction system organization. It is shown that the above requirements are not equivalent because of hierarchy of their purposes. The task level of the system organization of forestry reproduction corresponds to the requirement of its economic organization. The economic working arrangement of any economic activity is aimed at providing reproduction of this activity by management of expenses and income and their balancing within a production cycle. Full and ordered realization of model of the economic working arrangement is possible only at forest management on the basis of sustained-yield forest (SYF). The last, at clear forest management, represents a successive space-age number of stands. Only SYF acts as the object of forestry providing a possibility of through planning within a production cycle, which is equal to a rotation age. Conducting target forestry is possible only on the basis of SYF and by implementation of actions system. The system of actions covering stands of all age allows consider forestry as activity with continuous technological process and gives to an object of economy quality of integrity. Forest management on the basis of SYF most answers the principles of a system approach: the structured space-time object of management with the established purposes of economy and functional dependences of technical and economic parameters of activity within a production cycle takes place. These conclusions confirm concepts of the forestry system organization, which is known in the Russian forest economy. The requirement of CIFU with guarantee is implemented only on the basis of SYF and has adaptation character in the system of coordinates of the forestry economic working arrangement, it allows to consider specifics of the wood as object of reproduction. Economic targets and the principles underlain in model of intensive forestry also correspond to provisions of methodology of the economic working arrangement, i. e. full realization of intensive model is possible only on the basis of SYF. The modern territorial organization of forestry in Russia on the basis of forest districts does not guarantee implementation of the requirement of CIFU — at best it will be carried out on the undressed volume, but not on quality of the prepared wood. In conditions when the wood lot leased for forest harvesting is not SYF then an institutional, technological and economic division of forestry and logging takes place. Creation of SYF as objects of forest management is important not only as a condition of implementation of the conventional requirements to his organization. The formed SYF is the experimental ground allowing accumulate data on long-term influence of actions on characteristics of forest stands. Operation of the complete SYF will give reference information about a prime cost of the reproduced rooted wood. In transport-available territories of forest fund where growth conditions allow to grow high-merchantability stands of valuable species, operational massifs of the future — set of the SYF of different production capacity — could be created. Concession agreements can be used as the economic mechanism of SYF formation.

Keywords: forestry, sustained-yield forest, forestry system organization, economic working arrangement in forestry, continuous, inexhaustible forest use, intensification of forestry, the model of forest reclamation

Suggested citation: Izmet'sev A.A. *Nepreryvno-proizvoditel'nyy les kak etalonnaya model' sistemnoy organizatsii vosпроизводства v lesnom khozyaystve* [Sustained-yield forest as reference model of forestry reproduction system organization]. *Lesnoy vestnik / Forestry Bulletin*, 2018, vol. 22, no. 6, pp. 5–13. DOI: 10.18698/2542-1468-2018-6-5-13

References

- [1] Izmet'sev A.A. *O produktsii lesnogo khozyaystva v kontekste ego ekonomicheskoy organizatsii* [About forestry products in the context of its economic working arrangement]. *Lesnoy vestnik / Forestry Bulletin*, 2017, v. 21, no. 1, pp. 41–47. DOI: 10.18698/2542-1468-2017-1-41-47.
- [2] Petrov A.P. *Ekonomicheskie otnosheniya v lesnom khozyaystve: iz proshlogo v budushchee* [The economic relations in forestry: from the past in the future]. *Materialy k dokladu na nauchnykh debatakh «Ekonomika lesnykh otnosheniy»*, Moskva, 25 fevralya 2016 g. [Materials to the report on a scientific debate «Economy of the forest relations», Moscow, on February 25, 2016]. Available at: <http://cepl.rssi.ru/forest-economy/> (accessed 05.05.2018).
- [3] Lobovikov T.S. *Kontseptsiya khozraschetnoy organizatsii lesokhozyaystvennogo proizvodstva* [Concept of the self-supporting organization of forestry production]. *Lesnoe khozyaystvo [Forestry]*, 1989, no. 5, pp. 8–12.
- [4] Trishin V.S., Petrenko V.A., Zlotnitskiy A.B. *Osnovy ekonomicheskoy otsenki lesa, kak elementa prirodnoy sredy* [Fundamentals of economic evaluation of forests as an element of the natural environment]. *Tr. SPbNIIH «Tayozhnye lesa na poroge XXI veka»* [Proceedings of SPbNIIH «Taiga forests on the threshold of the XXI century»]. St. Petersburg: SPbNIIH, 1999, LXX, pp. 233–239.
- [5] *Lesnoy kodeks Rossiyskoy Federatsii ot 4 dekabrya 2006 g. № 200-FZ* [Forest Code of the Russian Federation № 200-FZ of 04.12.2006]. Moscow: INEKO, 2006, 48 p.
- [6] Moiseev N.A. *Ekonomika lesnogo khozyaystva* [Forestry economics]. Moscow, MGUL, 2008, 384 p.

- [7] *Kontseptsiya intensivnogo ispol'zovaniya i vosproizvodstva lesov. Odobrena na soveshchani u zamestitelya ministra prirodnykh resursov i ekologii Rossiyskoy Federatsii – rukovoditelya Federal'nogo agentstva lesnogo khozyaystva I.V. Valentika 29 maya 2015 g.* [The concept of intensive use and reproduction of forests. Approved at a meeting with Deputy Minister of Natural Resources and Ecology of the Russian Federation – head of the Federal Forestry Agency I.V. Valentik on May 29, 2015]. Available at: www.spb-niilh.ru/pdf/Rosleshoz_booklet.pdf (accessed 05.05.2018).
- [8] Ivanyuta V.M., Kozhukhov N.I., Moiseev N.A. *Ekonomika lesnogo khozyaystva* [Forestry economics]. Moscow, Lesnaya promyshlennost', 1983, 272 p.
- [9] *Ob utverzhdenii Poryadka ischisleniya raschetnoy lesoseki* [On the approval of the Procedure for the Calculation of the annual allowable cut]. Prikaz Rosleskhoza ot 27 maya 2011 g. № 191 [Order of the Federal Forestry Agency of May 27, 2011 № 191]. Byulleten' normativnykh aktov federal'nykh organov ispolnitel'noy vlasti [Bulletin of normative acts of federal executive bodies], 2011, August 1, no. 31.
- [10] Sukhodolov A.P., Izmet'ev A.A. *Ekonomicheskaya dostupnost' lesnykh resursov kak rentoobrazuyushchiy faktor i osnova otsenki lesosyr'evogo potentsiala* [Economic accessibility of forest resources as a rent-forming factor and basis for assessment of forest resource potential]. Izvestiya Irkutskoy gosudarstvennoy ekonomicheskoy akademii (Baikal'skiy gosudarstvennyy universitet ekonomiki i prava) [Bulletin of Irkutsk State Economic Academy (Baikal State University of Economics and Law)], 2012, no. 6 (86), pp. 31–35.
- [11] Petrov A.P. *Nazad v budushchee?* [Back in the future?]. Rossiyskie lesnye vesti [Russian forest news], 2014, March 21. Available at: <http://zmdosie.ru/resursy/les/3769-gosudarstvennye-lesokhozyajstvennye> (accessed 08.05.2018).
- [12] Bondarev A.I., Onuchin A.A., Chitorkin V.V., Sokolov V.A. *O kontseptual'nykh polozheniyakh intensivifikatsii ispol'zovaniya i vosproizvodstva lesov v Sibiri* [On conceptual provisions for the intensification of the use and reproduction of forests in Siberia]. Lesnoy zhurnal [Forest Journal], 2015, no. 6, pp. 25–34.
- [13] *O kontsessionnykh soglasheniyakh* [On concession agreements]. Federal'nyy zakon ot 21 iyulya 2005 g. № 115-FZ [Federal Law of July 21, 2005 № 115-FZ]. Rossiyskaya gazeta [Russian newspaper], 2005, July 26, no. 161.

Author's information

Izmet'ev Aleksandr Anatol'evich — Cand. Sci. (Economics), Associated Professor of the Baikal State University, izm77@rambler.ru

Received 28.05.2018.

Accepted for publication 10.10.2018.

ЕСТЕСТВЕННОЕ ВОЗОБНОВЛЕНИЕ В НАГОРНЫХ ДУБРАВАХ РАЗЛИЧНОГО ПРОИСХОЖДЕНИЯ В ЗОНЕ ЛЕСОСТЕПИ (НА ПРИМЕРЕ ЛЕСОВ ТЕЛЛЕРМАНОВСКОГО ОПЫТНОГО ЛЕСНИЧЕСТВА ИНСТИТУТА ЛЕСОВЕДЕНИЯ РАН)

В.Г. Стороженко, П.А. Чеботарев, В.В. Чеботарева

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

lesoved@mail.ru

Обсуждается проблема неспособности дуба как коренной эдификаторной породы зоны лесостепи формировать естественное возобновление под пологом сомкнутых лиственных древостоев. Рассмотрены сопряженные возрастные и линейные параметры подростка основных лесообразующих пород. Экспериментально определены возрастные значения подростка разной высоты под пологом древостоев естественного и искусственного происхождения в насаждениях средневозрастной группы с вычислением ошибок их средних показателей. Приведены фактические данные о количестве подростка основных лесообразующих пород в изучаемых древостоях. По результатам проведенных исследований сделаны следующие выводы. В древостоях зоны лесостепи подрост ясеня, клена остролистного и клена полевого, уже к высоте 2,0...2,5 м достигает возраста первого поколения (20 лет), а к высоте 4,0 м — почти двух возрастных поколений. В естественно сформировавшихся древостоях и в культурах дуба, где дуб составляет первый ярус, подростка дуба или совсем нет, или присутствуют единичные экземпляры в неудовлетворительном состоянии, не способные в перспективе выйти в основной полог насаждения. Ясень обыкновенный, клен остролистный и тем более липа мелколистная, несмотря на незначительное представительство в составе подростка, в перспективе формируют первый ярус будущего древостоя. Клен полевой и вяз гладкий формируют второй, третий и четвертый ярусы, препятствуя вместе с подростом сопутствующих пород и широколиственными травами появлению и развитию подростка дуба. Для получения к возрасту спелости дубового древостоя с участием 8–10 единиц дуба в составе необходимо тщательное соблюдение всех правил проведения рубок ухода. Институтом лесоведения РАН предложена система интенсивного воспроизводства дубовых древостоев.

Ключевые слова: дубовые леса, подрост лиственных пород, возрастные и линейные параметры подростка

Ссылка для цитирования: Стороженко В.Г., Чеботарев П.А., Чеботарева В.В. Естественное возобновление в нагорных дубравах различного происхождения в зоне лесостепи (на примере лесов Теллермановского опытного лесничества Института лесоведения РАН) // Лесной вестник / Forestry Bulletin, 2018. Т. 22. № 6. С. 14–22. DOI: 10.18698/2542-1468-2018-6-14-22

Проблема усыхания высокобонитетных нагорных дубовых лесов лесостепной зоны и дальнейшая трансформация их в лиственные формации без участия дуба в составе древостоев не может рассматриваться без учета естественно возникающих возобновительных структур, формирующихся на вырубках спелых и перестойных древостоев и под пологом искусственно созданных насаждений в динамике их роста и развития. Исследования в этом направлении связаны с доказательством факта неспособности дуба как основной коренной эдификаторной породы зоны лесостепи формировать дубовые древостои, обеспечивающие присутствие в этих регионах высокобонитетных насаждений с преобладанием дуба в количестве, оптимальном для сохранения генофонда породы и достаточном для производственных нужд. При естественном развитии лесной среды на всевозрастающих площадях сплошных рубок спелых древостоев с присутствием дуба в составе насаждений и при создании искусственных лесов, когда не обеспечивается качество лесовосстановительных работ для получения в будущем дубовых древостоев,

интенсифицируются процессы замены дубовых формаций на смешанные лиственные без участия дуба в составе древостоев. В связи с этим возрастают риски потери или значительного сокращения площадей генофонда стратегически ценной породы, изменения эдафических параметров территорий, флористического и зоологического разнообразия их биоты.

К сожалению литературных источников, содержащих анализ структур естественного возобновления в сомкнутых дубовых древостоях различного происхождения, крайне мало. В то же время практически все авторы, изучавшие дубравы, упоминают о неспособности подростка дуба конкурировать с подростом сопутствующих пород в условиях сомкнутого древостоя [1–5].

Цель работы

Цель настоящей работы заключалась в определении в физических величинах породного состава и количества естественного возобновления под пологом дубовых насаждений средневозрастной группы естественного и искусственного происхождения в условиях проведения или отсутствия

лесохозяйственных уходов и в использовании этих данных для прогноза формирования древостоев с преобладанием в составе дуба по массе и числу деревьев.

Древостои искусственного происхождения спелого и перестойного возраста в лесном фонде лесничества не представлены, поэтому пришлось ограничиться анализом состава и числа подроста в древостоях средневозрастной группы. Полагаем, что к этому возрасту состав и количество подроста основных лесообразующих пород вполне может характеризовать лесовозобновительную ситуацию как в исследуемых древостоях, так и в массивах Теллермановского леса в целом.

Методика исследований

В качестве базовых для исследований приняты средневозрастные древостои, сформировавшиеся естественным путем на вырубках спелых дубовых древостоев разных лет производства, и лесные культуры дуба, также созданные в разные года в Теллермановском опытном лесничестве Института лесоведения РАН (Воронежская обл.). Древостои подразделяли по признаку проведения или отсутствия в них лесохозяйственных уходов [6, 7].

На постоянных пробных площадях определяли лесоводственные параметры древостоев — состав по массе (из таксационных описаний), состав по числу деревьев каждой породы (по результатам учета на пробных площадях), тип леса, полноту, бонитет, подлесок. В изучаемых древостоях определяли благонадежный подрост всех пород (начиная от всходов и до деревьев диаметром 4 см), количество которого переводили на 1 га. Подрост распределяли по грациям высоты с шагом 0,5 м, включая экземпляры диаметром 4 см.

Согласно ОСТ 56-108-98 «Лесоводство. Термины и определения», «...к подросту относится поколение древесных растений старше 2...5 лет, до образования молодняка или яруса древостоя», а «к молоднякам относятся древостои до конца первого или второго класса возраста» [8, п. 3.2.32]. Для дуба, клена, ясеня, вяза, относящихся к твердолиственным породам, класс возраста равен 20 годам. Деревья этих пород диаметром до 4 см в большинстве своем входят в градацию подроста и не могут составлять ярус древостоя. Деревья большего диаметра могут входить в нижний ярус древостоев.

Таким образом, все основные лесообразующие породы возраста 20 лет, слагающие древостои лесостепи, по существующему ОСТу можно отнести к подросту. Деревья большего возраста по тому же ОСТу должны выходить из состава подроста и входить в учет состава древесной взрослой части насаждений как нижний ярус. Однако по данным учета совмещенных пара-

метров высоты и возраста, экземпляры основных лесообразующих пород, не выделяемые в ярус древостоя, имеют диаметр до 4 см и высоту до 4 м. Экземпляры с такими параметрами не могут составлять нижний ярус древостоя, их определяют как подрост, что и послужило причиной изучения совмещенных параметров высоты и возраста подроста до 4 см в диаметре.

Результаты и обсуждение

В табл. 1 приведены характеристики принятых для анализа древостоев средневозрастной группы, типичных для древостоев Теллермановского лесничества и для смешанных с дубом древостоев лесостепи в целом. Данные табл. 1 наглядно демонстрируют следующие особенности структур древостоев разного происхождения с различным лесохозяйственным участием в течение их жизни.

Во-первых, древостои естественного происхождения, возникшие на вырубках смешанных с дубом древостоев, при условии проведения уходов за порослью дуба от пней срубленных деревьев могут иметь довольно значительное участие дуба в формуле состава насаждения к средневозрастному периоду роста (до 6 единиц в составе), в то время как в древостоях, в которых уходы не проводились, дуб может присутствовать только единично.

Во-вторых, древостои искусственного происхождения с проведенными в них в соответствующие сроки рубками ухода содержат дуб в значительном количестве, и такие древостои с полным основанием могут называться дубовыми насаждениями. Культуры дуба, выросшие с применением не полного объема рубок ухода в период роста, имеют в составе только две-три единицы дуба и определяются как смешанные древостои с преобладанием сопутствующих пород в структуре насаждения.

Таким образом, для получения в возрасте спелости дубового древостоя с участием дуба не менее 6–8 единиц по числу деревьев, необходимо тщательное проведение всего объема рубок ухода. Тем не менее вся система лесохозяйственных уходов за созданными культурами дуба может быть значительно интенсифицирована по времени проведения всего объема рубок с применением непрерывного цикла уходов до 15-летнего возраста культур и сокращена по составу самого цикла с исключением прореживаний и проходных рубок. Предлагаемая система интенсивного воспроизводства дуба на площадях, вышедших из-под рубок спелых древостоев в зоне лесостепи, разработана в филиале Института лесоведения РАН — Теллермановском опытном лесничестве и опубликована в работах [9–13]. Готовится к публикации отдельное издание.

Т а б л и ц а 1

Лесоводственные характеристики древостоев естественного и искусственного происхождения, распределенных по группам возраста и интенсивности лесохозяйственных уходов (Теллермановское опытное лесничество Института лесоведения РАН)

The silvicultural characteristics of forest stands of natural and artificial origin, distributed by age group and intensity of forest management (Tellerman experimental forestry of the Institute of Forest Studies, RAS)

Группа возраста	Квартал Выдел	Состав: по массе по числу деревьев	Руб- ки ухода	Тип леса	Пол- нота 1-го яруса	Бо- нитет	Под- лесок	Количество деревьев в древостоях по породам, %					
								Д	Яс	Кло	Клп	Лп	Вз
Древостои естественного происхождения													
Сред- невоз- раст- ные	60 2	5Яс4Лп1Кло + Д 5Яс4Лп1Кло + Клп, Д	Без ухода	Дсн	0,7	II	Лщ, Лп, Клп, Кло	1	30	34	7	28	1
	14 1	6Д3Яс1Кл + Лп 6Д3Яс1Кл + Лп	Руб- ки ухода	»	0,5	III	»	17	28	36	–	14	5
Древостои искусственного происхождения													
Сред- невоз- раст- ные	6 11	8Д1Яс1Кл + Лп 7Д2Яс1Кл + Лп	Руб- ки ухода	Дсн	0,8	I	Лщ, Клп, Клп, Вз, Яс	35	10	43	4	5	3
	17 2	5Д3Яс2Кло + Лп 3Яс3Кло2Д1Клп1Лп + Вз	Без ухода	»	0,8	II	Кло, Клп, Вз, Лп	22	27	26	11	11	3

Примечание. Вз — вяз; Д — дуб; Кло — клен остролистный; Клп — клен полевой; Лп — липа; Яс — ясень; Дсн — дубняк снытьевый; Лщ — лещина; в числителе — состав древостоя по массе, в знаменателе — состав древостоя по числу деревьев.

Т а б л и ц а 2

Средний возраст деревьев основных лесобразующих пород диаметром 4 см
The average age of trees of the main forest-forming species with a diameter of 4 cm

Порода	Высота, м							
	До 0,5	0,6–1,0	1,1–1,5	1,6–2,0	2,1–2,5	2,6–3,0	3,1–3,5	3,5–4,0
	Средний возраст подроста, лет							
Ясень	5,0 (0,6)	10,0 (0,5)	11,5 (0,8)	15,3 (0,9)	25,0 (0,6)	26,0 (0,7)	29,3 (1,2)	31,8 (1,8)
Клен остролистный	6,0 (0,7)	9,2 (0,3)	17,2 (2,3)	18,2 (3,1)	19,8 (3,2)	30,0 (3,1)	30,4 (3,6)	39,8 (2,6)
Клен полевой	7,6 (0,8)	11,3 (1,0)	16,6 (1,1)	17,5 (0,8)	21,6 (1,4)	26,6 (4,5)	28,2 (1,6)	33,4 (2,5)
Липа	6,2 (0,8)	7,2 (0,6)	8,4 (1,0)	8,8 (0,6)	14,0 (1,5)	20,5 (0,7)	24,0 (0,8)	28,0 (1,1)
Вяз	4,1 (0,3)	6,8 (0,6)	11,2 (0,6)	13,1 (1,3)	18,7 (0,8)	21,7 (0,8)	22,8 (2,5)	24,8 (2,1)

Примечание. В скобках указана ошибка среднего, мм.

С учетом всех изложенных в нормативных документах возрастных параметров, характеризующих отнесение деревьев к категории подроста, необходимо определить возраст подроста основных лесобразующих пород диаметром до 4 см, не образующих по высотным и объемным параметрам нижний ярус древостоев, а входящих в структуру подроста (табл. 2).

Как явствует из данных табл. 2, все основные лесобразующие породы в древостоях зоны лесостепи диаметром до 4 см имеют довольно высокие значения возраста. Подрост ясеня, клена остролистного и клена полевого по возрастным параметрам уже к высоте 2,0...2,5 м достигает возраста первого поколения, а к высоте 4,0 м — почти двух возрастных поколений. Наименьшие

Т а б л и ц а 3

Некоторые таксационные показатели подроста единичных экземпляров дуба, обнаруженных на расстоянии до 3,0 м от квартальных просек

Some taxation indicators of the undergrowth of single oak specimens found at a distance of up to 3.0 m from the compartment lines

Показатель	Высота единичных экземпляров дуба, м							
	До 0,5	0,6–1,0	1,1–1,5	1,6–2,0	2,1–2,5	2,6–3,0	3,1–3,5	3,5–4,0
Возраст, лет	4,3	8,0	7,0	14,0	13,0	12,0	15,0	13,5
Диаметр у корневой шейки, см	0,4	0,8	0,9	1,8	1,9	2,0	2,8	3,3
Ширина кроны, м	0,17	0,4	0,6	0,6	0,9	1,2	0,8	1,2

значения этих показателей у вяза гладкого. Но надо учитывать, что данная порода в составе сомкнутых древостоев почти никогда не достигает первого яруса (см. табл. 2).

Дуб черешчатый испокон веков являлся основной лесообразующей породой в регионе лесостепи, но в составе подроста даже в естественно сформированных древостоях, где дуб составляет первый ярус, подроста этой породы или нет совсем, или присутствуют единичные экземпляры на границе просек, в освещенных местоположениях, в неудовлетворительном состоянии, которые погибают, не достигнув по высоте полога древостоя.

В древостоях смешанного состава полностью от 0,6 до 0,8, где преобладает подрост широколиственных пород (клен остролистный, ясень, клен полевой, лещина и широколиственные травы в густом стоянии), светолюбивый подрост дуба не выживает, даже если появляются его всходы. Именно по этой причине его невозможно было обнаружить для определения средних значений возраста по грациям высот.

Как упомянуто выше, подрост дуба в нагорной дубраве под пологом древостоев смешанного состава полностью от 0,6 до 0,8, где преобладает возобновление широколиственных пород, отсутствует. Единичные экземпляры его можно обнаружить вдоль квартальных просек и примыкающих к ним старых лесосек на расстоянии до 3,0 м в глубь насаждений (табл. 3). Естественно, статистические ошибки средних значений изучаемых показателей не приводятся.

Вдоль просек по границе со свежими лесосеками в семенные для дуба годы открываются большие освещенные пространства, которые способствуют быстрому росту его всходов в первые 15 лет. Такой подрост по соотношению высоты и возраста может значительно опережать подрост других пород, растущих под пологом сомкнутых смешанных древостоев.

В то же время сравнительный анализ данных табл. 2 и 3 показывает, что даже в освещенных местоположениях вдоль просек подрост дуба не доживает до возраста 14...15 лет, погибает,

и именно по этой причине мы можем обнаружить единичные экземпляры дуба не старше 14...15 лет только на границах квартальных просек, но не под пологом сомкнутых древостоев. Данные этих исследований лишь подтверждают правильность разработки методов по интенсивному восстановлению дубрав с шириной междурядий 3,5 м для быстрого, в течение 15...16 лет, смыкания крон культур дуба в междурядьях [5, 9–13].

В насаждениях пробных площадей проведен сплошной пересчет подроста всех пород с переводом его численности на 1 га площади древостоя. В табл. 4 и 5 представлены данные о количестве подроста основных лесообразующих пород в грациях высоты в древостоях без проведения в них рубок ухода и в древостоях как естественного, так и искусственного происхождения с проведенными рубками ухода.

Из данных табл. 4 следует несколько важных заключений о перспективах формирования изучаемых древостоев до возраста спелости.

В древостоях и естественного, и искусственного происхождения, как с проведенными в период роста рубками ухода, так и без них, подрост дуба отсутствует, несмотря на то что дуб присутствует в первом ярусе в составе и тех и других древостоев.

Древесные породы (кроме дуба), способные выходить в первый ярус древостоев, — ясень обыкновенный, клен остролистный, липа сердцевидная — не имеют большого представительства в составе подроста под пологом как естественно сформировавшихся древостоев, так и дубовых культур, но способны выходить в первый ярус насаждений. Подрост названных древесных пород представлен экземплярами и семенного, и порослевого происхождения. Исключение составляет липа сердцевидная, подрост которой представлен исключительно корневой и пневой порослью. Семенное возобновление у липы погибает в первые годы жизни вследствие затенения древесно-кустарниковой и травянистой растительностью из-за длительного периода покоя семян и малого прироста в высоту (2...3 см) в первый год жизни.

Т а б л и ц а 4

Количество благонадежного подроста основных лесобразующих пород по грациям высот в средневозрастных древостоях (Теллермановское опытное лесничество Института лесоведения РАН), шт./га

The amount of reliable undergrowth of the main forest-forming species according to height build-up in middle-aged stands (Tellerman experimental forestry of the Institute of Forest Science, Russian Academy of Sciences), units / ha

Порода	Высота, м							Всего
	До 0,5	0,6–1,0	1,1–1,5	1,6–2,0	2,1–2,5	2,6–3,0	3,1–4,0	
<u>Древостой естественного происхождения, кв. 60 в. 2</u> Древостой искусственного происхождения, кв. 17 в. 2 Рубки ухода не проводились								
Дуб	Благонадежного подроста дуба нет							
Ясень	<u>300</u> 3150	<u>100</u> 200	<u>–</u> 200	<u>50</u> 200	–	–	–	<u>450</u> 3750
Клен остролистный	<u>4650</u> 2050	<u>750</u> 400	<u>50</u> 200	<u>100</u> –	<u>50</u> –	–	–	<u>5600</u> 2650
Клен полевой	<u>15 100</u> 7900	<u>1350</u> 3650	<u>500</u> 960	<u>200</u> –	<u>–</u> 300	–	–	<u>17 150</u> 12 810
Липа	<u>150</u> –	–	–	–	–	–	–	<u>150</u> –
Вяз	<u>–</u> 500	<u>100</u> 300	–	–	–	–	–	<u>100</u> 800
Всего	<u>20 200</u> 13 600	<u>2300</u> 4550	<u>550</u> 1360	<u>350</u> 200	<u>50</u> 300	–	–	<u>23 450</u> 20 010
Лещина	<u>900</u> 1730							
Формула состава подроста для насаждения пробной площади, кв. 60 в. 2: 7Клп2Кло1Яс + Лп, Вз								
Формула состава подроста для насаждения пробной площади, кв. 17 в. 2: 6Клп2Яс2Кло + Вз								
<u>Древостой естественного происхождения, кв. 14 в. 1</u> Древостой искусственного происхождения, кв. 6 в. 11 Рубки ухода проводились								
Дуб	Благонадежного подроста дуба нет							
Ясень	<u>375</u> 500	<u>–</u> 500	<u>–</u> 150	<u>–</u> 50	–	–	–	<u>375</u> 1200
Клен остролистный	<u>500</u> 300	<u>25</u> 400	<u>50</u> –	<u>25</u> 200	<u>–</u> 50	<u>25</u> –	–	<u>625</u> 950
Клен полевой	<u>11 400</u> 4450	<u>2150</u> 4250	<u>375</u> 2050	<u>575</u> 550	<u>150</u> 150	<u>75</u> 150	<u>25</u> 150	<u>14 650</u> 11 750
Липа	<u>450</u> –	<u>150</u> –	–	<u>625</u> –	–	–	–	<u>1225</u> –
Вяз	<u>550</u> 50	<u>575</u> 200	<u>325</u> 50	<u>150</u> –	<u>100</u> –	<u>25</u> –	–	<u>1725</u> 300
Всего	<u>13 275</u> 5300	<u>2900</u> 5350	<u>750</u> 800	<u>1375</u> 800	<u>250</u> 200	<u>125</u> 150	<u>25</u> 150	<u>18 600</u> 12 750
Лещина	<u>124</u> 450							
Формула состава подроста для насаждения пробной площади, кв. 14 в. 1: 8Клп1Лп1Вз + Яс, Кло								
Формула состава подроста для насаждения пробной площади, кв. 6 в. 11: 8Клп1Яс1Кло + Вз								

Наибольшее представительство в составе подроста во всех вариантах изучаемых древостоев имеет клен полевой, который в условиях южной лесостепи не способен выходить в первый ярус насаждений. Эта порода в древостоях естественного происхождения вместе с вязом гладким формирует третий и четвертый ярусы древостоев. В сомкнутых культурах дуба клен полевой и вяз гладкий редко можно обнаружить во втором ярусе. Как правило, в насаждениях дубовых культур эти породы отмирают, не достигая высоты крон пород первого яруса.

Таким образом, анализ представленных выше формул состава подроста основных лесобразующих пород позволяет сформулировать ряд важных положений формирования древостоев в зоне лесостепи.

1. В древостоях и естественного, и искусственного происхождения подрост по представительству пород на площади древостоев распределяется не равномерно, в том числе по составу в подлеске лещины. Этот факт, в свою очередь, создает условия для неравномерного распределения по площади древостоев пород, способных формировать первый ярус, в том числе липы мелколистной, и усложняет вертикальную структуру древостоев, что можно рассматривать как положительный эффект, способный повышать устойчивость насаждений.

2. Несмотря на незначительное представительство в составе подроста ясеня обыкновенного, клена остролистного и тем более липы мелколистной, деревья только этих пород при отсутствии дуба в подросте в перспективе формируют первый ярус будущего древостоя. Деревья клена полевого и вяза гладкого по своей физиологической природе в условиях сомкнутых древостоев естественного и тем более искусственного происхождения в регионах южной лесостепи не способны выходить в первый ярус древостоев и отмирают в процессе формирования вертикальной структуры лиственных насаждений.

3. Подрост дуба в составе древостоев с приведенными выше характеристиками (см. табл. 1) отсутствует. Таким образом, дуб, важная с экологических и хозяйственных позиций порода, не будет участвовать в составе формирующихся естественным путем древостоев на площадях сплошных вырубок к возрасту спелости.

Выводы

Определяющим условием выращивания к возрасту спелости древостоев с присутствием дуба в составе насаждений как естественного, так и искусственного происхождения является проведение в полном объеме и с надлежащим качеством рубок ухода.

Подрост всех основных лесобразующих пород в древостоях зоны лесостепи диаметром до 4 см имеет высокие значения возраста. Подрост ясеня, клена остролистного и клена полевого по возрастным параметрам уже к высоте 2,0...2,5 м достигает возраста первого поколения (20 лет), а к высоте 4,0 м — почти двух возрастных поколений. Наименьшие значения по этим показателям у вяза гладкого — породы, не достигающей в составе древостоев первого яруса.

Как в естественно сформировавшихся древостоях, так и в культурах, в которых дуб составляет первый ярус, подроста дуба или совсем нет, или присутствуют единичные экземпляры — по границам просек, в освещенных местоположениях, в неудовлетворительном состоянии, не способные в перспективе выйти в основной полог насаждения.

Ясень обыкновенный, клен остролистный и тем более липа мелколистая, несмотря на незначительное представительство в составе формулы подроста, в перспективе формируют первый ярус будущего древостоя. Клен полевой и вяз гладкий формируют второй, третий и четвертый ярусы, увеличивая затенение подполового яруса, препятствуя вместе с широколиственными травами появлению и развитию всходов подроста дуба.

Таким образом, для получения к возрасту спелости дубового древостоя с участием дуба в составе насаждений не менее 8–10 единиц, необходимо тщательное и в полном объеме соблюдение всей системы проведения рубок ухода, которая может быть значительно интенсифицирована по времени проведения всего цикла рубок и сокращена по составу рубок ухода. Система интенсивного воспроизводства дубовых древостоев разработана в филиале Института лесоведения РАН — Теллермановском опытном лесничестве и опубликована в ряде работ (например, [9, 13–17]).

Список литературы

- [1] Молчанов А.А. Комплексные исследования в дубравах лесостепи // Взаимоотношения компонентов биогеоценоза в лиственных молодняках / отв. ред. А.А. Молчанов. М.: Наука, 1970. С. 32–77.
- [2] Царалунга В.В. Деградация порослевых дубрав и их реабилитация с помощью санитарных рубок: Дис. ... д-ра с.-х. наук. Брянск: БГИТА, 2005. 395 с.
- [3] Харченко Н.А. Деградация дубрав Центрального Черноземья. Воронеж: ВГЛТА, 2010. 604 с.
- [4] Чеботарева В.В., Чеботарев П.А., Стороженко В.Г. Тенденции естественной смены дубовых древостоев на смешанные лиственные насаждения в зоне лесостепи (на примере древостоев Теллермановского опытного лесничества ИЛАН РАН) // Ульяновский медико-биологический журнал, 2017. № 2. С. 172–179.

- [5] Чеботарев П.А., Чеботарева В.В., Стороженко В.Г. Порослевое возобновление дуба на сплошных вырубках дубравы снытьевой в зоне лесостепи (на примере древостоев Теллермановского опытного лесничества ИЛАН РАН) // Научные ведомости Белгородского государственного университета, 2016. Вып. 37. № 25 (246). С. 14–20.
- [6] Таксационное описание Борисоглебского лесничества // Материалы лесоустройства. Воронеж: Управление лесоохраны и лесонасаждений Воронежско-Курское, 1938. 244 с.
- [7] Таксационное описание Теллермановского опытного участкового лесничества ИЛ РАН // Материалы лесоустройства. В 2 т. / ред. С.И. Сидоренко Воронеж: Воронежлеспроект, 2012. Т. 2. 228 с.
- [8] ОСТ 56-108-98. Лесоводство. Термины и определения. М.: ВНИИЦлесресурс, 1999. 55 с.
- [9] Чеботарев П.А., Чеботарева В.В. Формирование искусственных дубовых древостоев в регионах лесостепной зоны Европейской части России // Материалы Межрегиональной научной конференции «Флора и растительность Центрального Черноземья». Курск, Центрально-Черноземный государственный природный биосферный заповедник им. проф. В.В. Алехина, 5 апреля 2014 г. Курск: Центрально-Черноземный государственный природный биосферный заповедник им. проф. В.В. Алехина, 2014. С. 174–179.
- [10] Чеботарева В.В., Чеботарев П.А., Стороженко В.Г. Деградация дубовых лесов России и пути их восстановления // Материалы VI Международной конференции «21 век: фундаментальная наука и технологии». США, Нортон Чарлстон, 25–26 января 2016 г. Norton Charleston: CreateSpace, 2015. Т. 1. С. 1–4.
- [11] Чеботарев П.А., Чеботарева В.В., Стороженко В.Г. Структура и состояние древостоев в дубравах лесостепи естественного происхождения (на примере лесов Теллермановского опытного лесничества ИЛАН РАН Воронежской обл.) // Лесоведение, 2016. № 5. С. 43–49.
- [12] Стороженко В.Г., Чеботарева В.В., Чеботарев П.А. Воспроизводство дубовых лесов на лесосеках, вышедших из-под рубок спелых насаждений, в зоне лесостепи // Материалы Международной научно-технической юбилейной конференции «Развитие идей Г.Ф. Морозова при переходе к устойчивому лесопроизводству». Воронеж, ВГЛТУ, 20–21 апреля 2017. Воронеж: ВГЛТУ, 2017. С. 222–226.
- [13] Чеботарев П.А., Чеботарева В.В. Динамика трансформации дубовых древостоев лесостепи (по материалам лесоустройства Теллермановского опытного лесничества ИЛАН РАН) // Материалы Международной научно-практической конференции «Проблемы воспроизводства лесов Российской Федерации». Пушкино, ВНИИЛМ, 2015. С. 172–179.
- [14] Курнаев С.Ф. Лесорастительное районирование СССР. М.: Наука, 1973. 203 с.
- [15] Корнаковский Г.А. О возобновлении дубовых насаждений в Теллермановской роще // Лесопромышленный вестник, 1904. № 43, 44, 46. С. 649–707.
- [16] Правила санитарной безопасности в лесах. Утверждены Приказом Минприроды России от 24.12.2013. № 613. URL: <http://www.garant.ru/products/ipo/prime/doc/70563006/> (дата обращения 05.05.2018).
- [17] Анучин Н.П. Сортиментные и товарные таблицы для лесов центральных и южных районов Европейской части РСФСР. М.: ВНИИЛМ, 1987. 128 с.

Сведения об авторах

Стороженко Владимир Григорьевич — д-р биол. наук, Институт лесоведения РАН, lesoved@mail.ru

Чеботарев Павел Анатольевич — заместитель директора филиала Института лесоведения РАН «Теллермановское опытное лесничество», tol@icmail.ru

Чеботарева Валентина Васильевна — директор филиала Института лесоведения РАН «Теллермановское опытное лесничество», chebotareva@ilan.ras.ru

Поступила в редакцию 08.08.2018.

Принята к публикации 15.10.2018.

NATURAL REGENERATION IN THE UPLAND OAK FORESTS OF VARIOUS ORIGINS IN FOREST-STEPPE ZONE (EXAMPLE OF FORESTS OF THE TELLERMAN EXPERIMENTAL FORESTRY OF FOREST INSTITUTE OF SCIENCE RAS)

V.G. Storozhenko, P.A. Chebotarev, V.V. Chebotareva

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

lesoved@mail.ru

The article highlights the problem of inability of oak, as a basic edificatory species of the forest-steppe zone, to form a natural regeneration under the canopy of a deciduous tree layer continuum. The author considers age and linear parameters of the young growth of the main forest-forming species. There were experimentally identified age values of the different height undergrowth under the canopy of stands of natural and artificial origin in the middle age forests. The article provides the actual data on the amount of undergrowth of the main forest-forming species in the examined stands. Based on the results of the conducted studies, the following conclusions have been made. In stands of the forest-steppe zone, young ash trees, as well as young Bosnian maple and common maple reach the age of the first generation (20 years) when they are 2.0–2.5 m high, and they reach the age of two generations being 4.0 m high. In naturally formed oak stands as well as in the artificially formed ones, where the oak species form the first layer, there is no undergrowth of oak at all, or it is presented by single specimens being in a poor condition, unable to reach the main canopy of the plantation in the future. Common Ash trees, Bosnian maple and specifically small-leaved linden, in spite of an insignificant occurrence in the structure of the undergrowth, ultimately form the first layer of the future stand. Field maple and European white elm form the second, third and fourth layers along with the undergrowth of accompanying species and broad-leaved grasses hampering the oak emergence and growth. In order to get a stand presented by 8-10 oak species by the maturity age, it is crucial to carefully observe all the thinning procedures. The system of intensive reproduction of oak stands has been introduced by the Forestry Institute under the Russian Academy of Sciences and depicted in several publications.

Keywords: oak forests, natural regeneration of hardwoods, age and linear parameters of natural regeneration

Suggested citation: Storozhenko V.G., Chebotarev P.A., Chebotareva V.V. *Estestvennoe vozobnovlenie v nagornyykh dubravakh razlichnogo proiskhozhdeniya v zone lesostepi (na primere lesov Tellermanovskogo opytного lesnichestva Instituta lesovedeniya RAN)* [Natural regeneration in the upland oak forests of various origins in forest-steppe zone (example of forests of the Tellerman experimental forestry of Forest Institute of Science RAS)]. *Lesnoy vestnik / Forestry Bulletin*, 2018, vol. 22, no. 6, pp. 14–22. DOI: 10.18698/2542-1468-2018-6-14-22

References

- [1] Molchanov A.A. *Kompleksnyye issledovaniya v dubravakh lesostepi* [Complex studies in oak forests of the forest-steppe] The relationship of components of biogeocenosis in deciduous youngs. Ed. A.A. Molchanov. Moscow: Nauka, 1970, pp. 32–77.
- [2] Tsaralunga V.V. *Degradatsiya poroslyykh dubrav i tikh reabilitatsiya s pomoshch'yu sanitarnykh rubok*. [Degradation of young oak forests and their rehabilitation through sanitary felling]. Dis. ... d-ra s.-kh. nauk [Dis. ... Dr. Sci. (Agric.)]. Bryansk: BGITA, 2005, 395 p.
- [3] Kharchenko N.A. *Degradatsiya dubrav Tsentral'nogo Chernozem'ya* [Degradation of oak forests of the Central Black Soil Region]. Voronezh: VGLTA, 2010, 604 p.
- [4] Chebotareva V.V., Chebotarev P.A., Storozhenko V.G. *Tendentsii estestvennoy smeny dubovykh drevostoev na smeshannyye listvennyye nasazhdeniya v zone lesostepi (na primere drevostoev Tellermanovskogo opytного lesnichestva ILAN RAN)* [Tendencies of natural change of oak stands for mixed deciduous stands in the forest-steppe zone (using the example of stands of the Tellerman experimental forestry, ILAN RAS)]. *Ul'yanovskiy mediko-biologicheskii zhurnal [Ul'yanovsk Biomedical Journal]*, 2017, no. 2, pp. 172–179.
- [5] Chebotarev P.A., Chebotareva V.V., Storozhenko V.G. *Poroslevoe vozobnovlenie duba na sploshnykh vyrubkakh dubravy snyt'evoy v zone lesostepi (na primere drevostoev Tellermanovskogo opytного lesnichestva ILAN RAN)* [Coppice renewal of oak on continuous clear-cuts of oak groves in the forest-steppe zone (on the example of tree stands of the Tellerman experimental forest district of ILAN RAS)]. *Nauchnye vedomosti Belgorodskogo gos. universiteta [Scientific Gazette of Belgorod State University]*, 2016, v. 37, no. 25 (246), pp. 14–20.
- [6] *Taksatsionnoe opisaniye Borisoglebskogo lesnichestva* [Taxation description of Borisoglebsky forestry]. *Materialy lesoustroystva [Forest management materials]*. Voronezh: Department of Forest Protection and Forests Voronezh-Kursk, 1938, 244 p.
- [7] *Taksatsionnoe opisaniye Tellermanovskogo opytного uchastkovogo lesnichestva IL RAN* [Taxation description of the Tellerman experimental district forestry of IL RAS]. *Materialy lesoustroystva. V 2 t. [Forest management materials. In 2 v.]*. Ed. S.I. Sidorenko Voronezh: Voronezhlesproekt, 2012, v. 2, 228 p.
- [8] *OST 56-108-98 Lesovodstvo. Terminy i opredeleniya* [OST 56-108-98 Forestry. Terms and Definitions]. Moscow: VNIITsLesresurs, 1999, 55 p.
- [9] Chebotarev P.A., Chebotareva V.V. *Formirovaniye iskusstvennykh dubovykh drevostoev v regionakh lesostepnoy zony Evropeyskoy chasti Rossii* [Formation of artificial oak stands in the regions of the forest-steppe zone of the European part of Russia]. *Materialy Mezhtsionnoy nauchnoy konferentsii «Flora i rastitel'nost' Tsentral'nogo Chernozem'ya»*. Kursk, Tsentral'no-Chernozemnyy gosudarstvennyy prirodnyy biosfernyy zapovednik im. prof. V.V. Alekhina 5 aprelya 2014 g. [Interregional Scientific Conference «Flora and Vegetation of the Central Black Soil Region» Kursk, Central Black Earth State Natural Biosphere Reserve them prof. V.V. Alekhin, April 5, 2014] Kursk: Central Black Earth State Natural Biosphere Reserve them prof. V.V. Alekhin, 2014, p. 174–179.

- [10] Chebotareva V.V., Chebotarev P.A., Storozhenko V.G. *Degradatsiya dubovykh lesov Rossii i puti ikh vosstanovleniya* [Degradation of oak forests in Russia and ways to restore them]. Materialy VI Mezhdunarodnoy konferentsii «21 vek: fundamental'naya nauka i tekhnologii» [Proc. VI International Scientific Conference «21 Century: Fundamental Science and Technology»]. Norton Charleston, USA, January 25–26, 2016. Norton Charleston: CreateSpace, 2015, v. 1, pp. 1–4.
- [11] Chebotarev P.A., Chebotareva V.V., Storozhenko V.G. *Struktura i sostoyanie drevostoev v dubravakh lesostepi estestvennogo proiskhozhdeniya (na primere lesov Tellermanovskogo opytnogo lesnichestva ILAN RAN Voronezhskoy obl.)* [The structure and condition of tree stands in the oak forests of natural forest steppe (using the example of Tellerman forestry of the Voronezh region)]. *Lesovedenie* [Russian Journal of Forest Science], 2016, no. 5, pp. 43–49.
- [12] Storozhenko V.G., Chebotareva V.V., Chebotarev P.A. *Vosproizvodstvo dubovykh lesov na lesosekakh, vyshedshikh iz-pod rubok spelykh nasazhdeniy, v zone lesostepi* [Reproduction of oak forests on logging sites that came out from under the logging of ripe plantations in the forest-steppe zone]. Materialy Mezhdunarodnoy nauchno-tekhnicheskoy yubileynoy konferentsii «Razvitie idey G.F. Morozova pri perekhode k ustoychivomu lesoupravleniyu» [Interregional Scientific Conference and Technical Jubilee Conference «Development of Ideas of G.F. Morozov during the transition to sustainable forest management»]. Voronezh, VGLTU, April 20–21, 2017. Voronezh: VGLTU, 2017, pp. 222–226.
- [13] Chebotarev P.A., Chebotareva V.V. *Dinamika transformatsii dubovykh drevostoev lesostepi (po materialam lesoustroystva Tellermanovskogo opytnogo lesnichestva ILAN RAN)* [Dynamics of transformation of oak stands of the forest-steppe (based on forest management materials of the Tellerman experimental forest district of ILAN RAS)]. Materialy Mezhdunarodnoy nauchno-prakticheskoy konferentsii «Problemy vosproizvodstva lesov Rossiyskoy Federatsii» [Proc. International Scientific Practical Conference «Problems of reproduction of forests of the Russian Federation»]. Pushkino, VNIILM, 2015, pp. 172–179.
- [14] Kurnaev S.F. *Lesorastitel'noe rayonirovanie SSSR* [Forest vegetation zoning of the USSR]. Moscow: Nauka [Science], 1973, 203 p.
- [15] Kornakovskiy G.A. *O vozobnovlenii dubovykh nasazhdeniy v Tellermanovskoy roshche* [On the renewal of oak plantations in Tellerman Grove]. *Lesopromyshlennyy vestnik* [Forest Industry Bulletin], 1904, no. 43, 44, 46, pp. 649–707.
- [16] *Pravila sanitarnoy bezopasnosti v lesakh*. [Rules of sanitary safety in forests]. Utverzhdeny Priказom Minprirody Rossii ot 24.12.2013, № 613. [Approved by the Order of the Ministry of Natural Resources of Russia dated 12.24.2013, no. 613]. URL: <http://www.garant.ru/products/ipo/prime/doc/70563006/> (accessed 05.05.2018).
- [17] Anuchin N.P. *Sortimentnye i tovarnye tablitsy dlya lesov tsentral'nykh i yuzhnykh rayonov Evropeyskoy chasti RSFSR* [Assortment and product tables for forests of the central and southern regions of the European part of the RSFSR]. Moscow: VNIILM, 1987, 128 p.

Authors' information

Storozhenko Vladimir Grigor'yevich — Dr. Sci. (Biol.), Forest Science Institute RAS, lesoved@mail.ru

Chebotarev Pavel Anatol'yevich — Assistance of Director at the Branch of Forest Science Institute RAS of Tellerman Experimental Forest Service, tol@icmail.ru

Chebotareva Valentina Vasil'yevna — Director of the Branch of Forest Science Institute RAS Tellerman Experimental Forest Service, chebotareva@ilan.ras.ru.

Received 08.08.2018.

Accepted for publication 15.10.2018.

ОСОБЕННОСТИ ФОРМИРОВАНИЯ ВЕГЕТАТИВНЫХ ДРЕВОСТОЕВ *ROBINIA PSEUDOACACIA* НА ТЕРСКО-КУМСКИХ ПЕСКАХ

И.Г. Сурхаев, Г.А. Сурхаев

Северо-Кавказский филиал Федерального научного центра агроэкологии, комплексных мелиораций и защитного лесоразведения РАН, 396890, Ставропольский край, с. Ачикулак, ул. Пролетарская, д. 10

islam26@mail.ru

Терско-Кумские пески — обширная аридная территория (около 1 млн га) в западной части Прикаспийской низменности. Естественными границами ее служат: на юге — р. Терек, на востоке — Каспийское море, на западе — Ставропольская возвышенность и на севере — р. Кума. Это безлесная зона сухой степи и полупустыни, где с 1904–1912 гг. предпринимались масштабные работы по борьбе с «летучими песками» путем посадки леса с использованием многих лиственных пород-интродуцентов, в том числе робинии псевдоакация (*Robinia pseudoacacia* L.), ставшей доминирующей культурой в лесомелиорации региона. Более 1500 га разнотипных ее насаждений (узкополосные, широкополосные, кулисные, куртинные) на Бажиганском и Терском массивах песков созданы Ачикулакской опытной станцией в период 1950–1990 гг. Они многофункционального назначения (полезащитные, пастбищезащитные, пескозакрепительные, рекреационные и плантационные древостои), в настоящее время достигли своего биологического пика развития (40...50 лет) в данных жестких почвенно-климатических условиях выращивания и требуют своевременного лесовосстановления, дабы не утратить мелиоративный уровень защиты аридных ландшафтов. Результаты проведенных исследований (2012–2017) показывают, что регенеративный потенциал семенных насаждений робинии псевдоакация после 20...25 лет убывает с 90...100 % возобновления до 20...35 % к 46...50 годам роста. С возрастом, после 35 лет, доля пней поросли в вегетативном насаждении сокращается, а корневой — увеличивается. Срок рубки семенного насаждения оказывает решающее влияние на интенсивность порослеобразования. В древостоях с высокой степенью регенерации побегов робинии (4000...5000 шт. и более) обнаруживается условная ярусность деревьев по ступеням роста, в которой первый ярус характеризуется низким подавленным ростом и ранним усыханием порослевых побегов вследствие заглушающего влияния кроны деревьев верхних пологов. Установлено, что активный рост пней и корневых побегов длится 8...12 лет. Лучшие таксационные показатели имеют насаждения в экотопе с доступными близководными грунтовыми водами (уровень грунтовых вод 3...6 м). Долголетие вегетативных древостоев ниже семенных (материнских) на 10...15 лет.

Ключевые слова: поросль, робиния псевдоакация, древостои, насаждения, лесовосстановление, лесовозобновление, Терско-Кумские пески

Ссылка для цитирования: Сурхаев И.Г., Сурхаев Г.А. Особенности формирования вегетативных древостоев *Robinia pseudoacacia* на Терско-Кумских песках // Лесной вестник / Forestry Bulletin, 2018. Т. 22. № 6. С. 23–30. DOI: 10.18698/2542-1468-2018-6-23-30

Географический район исследований, Терско-Кумские пески, занимают западную часть территории Прикаспийской низменности, естественными границами которой являются: с юга — река Терек, с востока — Каспийское море, с запада — Ставропольская возвышенность и с севера — река Кума [1, 2].

Орографически территория представляет собой слегка волнистую и местами всхолмленную песчаную равнину, сложенную послетретичными чередующимися отложениями в виде лёссовидных суглинков, супесей и песков с небольшим содержанием гумуса (0,1...0,5 %) [3, 4]. Климат засушливый: осадков выпадает 250...350 мм в год, лето жаркое (максимальная температура 40...44 °С), зима относительно теплая, малоснежная [5].

Но, несмотря на аридность (NIA по Б.И. Виноградову 0,67–0,81), территория обладает относительно благоприятными термическими и эдафическими условиями для широкого применения различных методов лесомелиорации [6].

Более чем столетний опыт облесения Терско-Кумских песков доказывает успешность создания и высокий мелиоративный и защитный уровень насаждений с участием многих пород деревьев и кустарников-интродуцентов (свыше 100 видов и форм) из умеренной и субтропической зон произрастания [7, 9]. Основными лесомелиорантами песков являются: дуб черешчатый (*Quercus robur*), вяз приземистый (*Ulmus pumila*), тополь черный (*Populus nigra*), тополь белый (*Populus alba*), тополь гибридный (*Populus hybrid*) и робиния псевдоакация (*Robinia pseudoacacia*), ставшая доминирующей культурой в защитном лесоразведении [10, 11].

С участием робинии в аридном регионе создано свыше 70 % защитных древостоев, которые сейчас, в силу достижения критического биологического возраста (40...50 лет) в жестких почвенно-климатических условиях, характеризуются в основном как низкобонитные (III–IV класс бонитета). Около 80 % деревьев находятся в спе-



а



б

Рис. 1. Робиния псевдоакация в защитных насаждениях на Бажиганских песках:

а — суховершинный древостой, б — вегетативно восстановленный древостой

Fig. 1. *Robinia pseudokaktsiya* in the protective plantations on Bazhigansky sands:

а — dry-topped stand, б — vegetatively reproduced stand

лом и перестойном возрасте, поэтому требуются лесоводственные меры для их трансформации, так как в аридных условиях региона семенное возобновление робинии в искусственных древостоях отсутствует [12].

Как показывает многолетний опыт Ачикулакской Научно-исследовательской лесной опытной станции (НИЛОС), порослевой способ реставрации защитных древостоев робинии значительно эффективнее по лесоводственным меркам и экономичнее по затратам в сравнении с классическим способом их лесовосстановления: рубка старого, корчевка пней и закладка нового насаждения [13, 14].

Лесовосстановление робиниевых насаждений на Терско-Кумских песках изучали К.А. Лашкевич (в 1948–1950 гг.) и В.М. Петухов (в 1958–1960 гг.) на экспериментальных объектах Ачикулакской НИЛОС [12].

Полученные данные позволили определить, что возобновительная спелость насаждений робинии наступает в возрасте 20...25 лет, когда они «дают обильную и надежную для возобновления поросль» [15]. В данном возрасте целесообразно лесовосстановление методом сплошных возобновительных рубок, а выборочные рубки неэффективны из-за многих сложностей формирования вегетативного поколения древостоя. В целях повышения интенсивности порослеобразования Лашкевич и Петухов рекомендовали проведение глубокого (50...60 см) механического поранения корней деревьев проходом щелереза в междурядьях робиниевых древостоев.

На основании данных рекомендаций в 60–80-е гг. XX в. работники Ачикулакской опытной станции осуществили лесовосстановление около 1000 га робиниевых защитных насаждений на Бажиган-

ских и Терских песках (рис. 1). В рамках данного уникального опыта в 2012–2017 гг. проводились исследования с целью определения регенеративного потенциала робинии в искусственных древостоях на Терско-Кумских песках.

Цель работы

Цель работы — изучить регенеративный потенциал лесовосстановления разновозрастных насаждений робинии в целях сохранения защитной устойчивости и мелиоративного долголетия ее искусственных древостоев на юге России.

Объекты и методы исследований

Объекты исследований — разновозрастные вегетативные древостои робинии псевдоакалии, созданные Ачикулакской НИЛОС на Терско-Кумских песках в период 1986–2002 гг.

Полевыми исследованиями на 24 пробных площадках (одна площадка занимает приблизительно 4,8 га) было охвачено около 250 га широкополосных и массивных типов насаждений робинии, трансформированных вегетативным лесовосстановлением в порослевые защитные древостои. С помощью общепринятых методик [16–20] изучали вегетативное возобновление лиственных пород в защитных насаждениях в ходе лесоводственной и таксационной оценки регенеративного потенциала лесонасаждений робинии в аридной части Восточного Предкавказья. Полученные результаты были использованы при подготовке материалов для рабочего руководства по вегетативному лесовосстановлению насаждений робинии в стадии наступления суховершинности.

Пробные площадки по 0,1...0,3 га закладывали в неоднородных по возрасту и экотопу создания защитных насаждениях. На них проводили

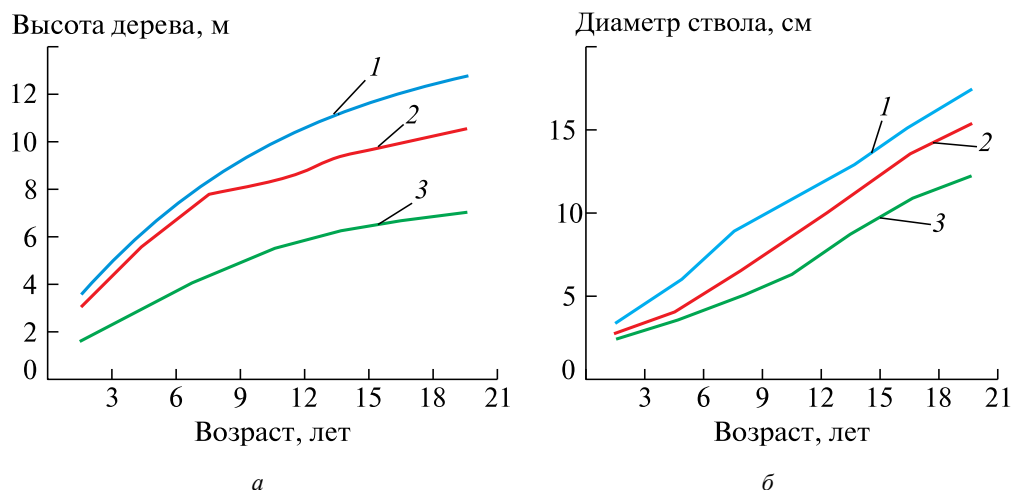


Рис. 2. Сравнительный ход роста в высоту (а) и по диаметру (б) одновозрастных (20...22 года) вегетативных древостоев робинии в экотопах с уровнем грунтовых вод: 1 — 3 м; 2 — 6,5 м; 3 — 8,5 м
Fig. 2. Comparative course of growth in height (a) and in diameter (б) age-matched (20...22 years) vegetative stands of robinia in ecotopes of different moisture availability: 1 — 3 m; 2 — 6.5 m; 3 — 8.5 m

сплошной учет вегетативного возобновления путем оценки роста и состояния пневых и корневых стволов с замером высоты по лидирующему побегу и диаметру всех побегов в пневых гнездах и на корневых лапах. Визуально устанавливали ярусность, полноту насаждения, степень развития живого напочвенного покрова и биологически активной толщи органического опада. Ход роста вегетативных насаждений в высоту и по диаметру определяли по данным отобранных модельных стволов робинии, а гидрологические условия разных экотопов — по результатам анализа почвенного бурения до уровня грунтовых вод.

Результаты и обсуждение

Данные роста и состояния разновозрастных вегетативных насаждений робинии свидетельствуют о том, что на песках Терско-Кумского междуречья вследствие засушливости климата и динамичности годовых атмосферных осадков долговечность насаждений робинии в условно благоприятных экотопах ограничивается возрастом 35...40 лет, а в экотопах с благоприятными лесорастительными условиями — 50...55 лет.

В ходе защитного лесоразведения на Терско-Кумских песках насаждения робинии псевдоакции закладывались в близководных (до 4 м), среднеступных (4,1...8,0 м) и глубоководных (свыше 8 м) экотопах песков. Из всех факторов возраст рубки возобновления и степень влагодоступности семенных насаждений оказывают решающее влияние на ход роста и состояние сформированных после рубок вегетативных древостоев. Анализ показывает, что ход роста робинии в высоту и по диаметру на близководных песках выше соответственно на 33,1 и 66,4 %, чем на глубоководных песках.

Активный рост порослевых побегов робинии на песчаных почвах Терско-Кумского междуречья наблюдается до возраста 10...12 лет, когда средняя высота насаждений в экотопах глубоководных песков достигает 5...7 м, а диаметр ствола на высоте 130 см — 10...12 см (в близководных экотопах соответственно 9...12 м и 12...16 см) (рис. 2). Смыкание крон в вегетативных древостоях наблюдается в 5...7 лет, что на 2...3 года позже, чем у семенных древостоев.

Сравнительный анализ роста и состояния разновозрастных древостоев робинии по данным 24 пробных площадок показывает, что таксационные показатели пневых стволов выше корневых по высоте на 14...19 %, а по диаметру на 6...16 %. В структуре порослеобразования сформированных вегетативных древостоев прослеживается определенная закономерность: увеличение с возрастом корневых побегов и уменьшение пневых.

Лесоводственное состояние порослевых насаждений оценивается как удовлетворительное и хорошее. Класс бонитета в пределах I—III, полнота 1,0—0,7, но по таксационным показателям: высоте, диаметру стволов и запасу древесины вегетативные насаждения робинии значительно уступают семенным (материнским) древостоям аналогичного возраста. Поэтому можно с некоторой уверенностью прогнозировать, что у порослевых насаждений долговечность окажется на 20...30 % ниже, чем у материнских, и, следовательно, по защитно-мелиоративной устойчивости порослевые насаждения тоже будут уступать материнским. Но несомненно, что мероприятия по лесовосстановлению биологически распадающихся древостоев робинии дают возможность продлить период их эффективного защитного долголетия в аридных условиях Терско-Кумских песков.

Т а б л и ц а 1

Оценка возрастной активности порослеобразования насаждений робинии псевдоакации
Estimation of the age-related activity of the rock formation of robinia plantations

Рубка ЗЛН, лет	Возраст вегетативного древостоя, лет	Таксационная характеристика вегетативного древостоя				Степень возобновления пней, %	
		Высота, м	Диаметр ствола, см	Количество побегов			Запас, м ³ /га
				всего	здоровых		
25	5,0	5,3	6,7	4850,0	4395,0	18	96
	10,0	7,4	10,3	4310,0	3885,0	35	
	15,0	8,9	12,8	3150,0	2575,0	43	
35	5,0	4,9	6,1	4231,0	3561,0	14	71
	10,0	6,7	9,8	3830,0	3298,0	29	
	15,0	8,1	12,2	2721,0	2260,0	38	
45	5,0	4,3	5,7	3170,0	2719,0	11	56

Примечание. ЗЛН — защитные лесные насаждения.

Т а б л и ц а 2

Динамика возрастной сохранности пневой и корневой поросли вегетативных древостоев робинии псевдоакации
Dynamics of age preservation of stump and root shoots of vegetative robinia stands

Возраст вегетативного древостоя, лет	Количество побегов, шт./га					
	пневых			корневых		
	всего	здоровых	усохших	всего	здоровых	усохших
5	4320,0	4138,0	182,0	410,0	372,0	38,0
10	3200,0	2262,0	938,0	685,0	654,0	31,0
15	2780,0	2360,0	420,0	781,0	760,0	21,0
20	2200,0	1620,0	280,0	894,0	883,0	11,0
25	1416,0	1206,0	210,0	961,0	952,0	9,0
30	1120,0	964,0	156,0	1017,0	1010,0	7,0
35	986,0	877,0	109,0	1208,0	1202,0	6,0

Т а б л и ц а 3

Структура порослеобразования по густоте регенерации побегов робинии псевдоакации
Structure of the coppice formation according to the density of regeneration of shoots of robinia

Возраст поросли, лет	Всего здоровых побегов	Тип поросли	Густота отрастания побегов					
			1–5		6–15		16–30	
			шт.	%	шт.	%	шт.	%
5	5201	П	3841,0	73,8	1110,0	21,3	250,0	4,9
		К	831,0	78,2	207,0	19,5	25,0	2,3
10	3163	П	2645,0	84,6	119,0	15,3	17,0	0,1
		К	782,0	86,8	107,0	11,8	12,0	2,4
15	2987	П	2109	86,8	107,0	11,8	12,0	2,4
		К	581,0	88,6	178,0	11,3	8,0	0,1
20	2211	П	581,0	93,8	46,0	6,2	–	–
		К	520,0	92,7	98,0	7,3	–	–
25	1795	П	1388,0	98,6	28,0	2,0	–	–
		К	581,0	98,0	7,0	1,4	–	–
30	1486	П	929,0	99,1	15,0	1,2	–	–
		К	517,0	98,0	5,0	0,9	–	–

Примечание. П — пневая поросль; К — корневая поросль.

**Классификация возрастной и эдафической (по уровню грунтовых вод)
изменчивости порослеобразования робинии псевдоакации**

**Classification of the age and edaphic (by GUR) variability
of pseudoacacia robinia coppice formation**

Влагодоступность насаждений (уровень грунтовых вод), м	Возрастные проведения ЛВР в насаждениях, лет						
	20–25	26–30	31–35	36–40	41–45	46–50	51–55
	Активность пневого порослевозобновления, (%)						
2,0–4,0	100–90	89–80	79–70	69–60	59–45	44–30	29–15
4,1–6,0	89–90	79–70	69–60	59–50	49–35	34–20	19–5
6,1–8,0	79–70	69–60	59–50	49–40	39–25	24–10	<10

Примечание. ЛВР — лесовосстановительные рубки.

Оценка регенерации семенного насаждения после рубки зависит от интенсивности возобновления пневой и корневой поросли роста и сохранности ее в различных экотопах древостоев. Анализ возрастной зависимости порослеобразования показывает, что в период с 25 до 45 лет активность порослеобразования снижается на 40 %, а рост и запас стволовой массы вегетативных древостоев соответственно — на 19 и 89 % (табл. 1). Степень сохранности пневой поросли зависит от густоты их локализации в гнездах отрастания и степени ярусной дифференциации полога вегетативных древостоев.

Тип порослеобразования на прямую зависит от возраста рубки семенного древостоя: до 25...30 лет в вегетативных древостоях количественно преобладает пневая поросль, а после — корневая (табл. 2).

Интенсивность отрастания побегов в местах возобновления (пни, корневые лапы) по ступеням густоты характеризуется усиливающейся возрастной динамикой спада. Отмечается нарастающий процент отпада порослевых стволов второго и третьего яруса молодых древостоев к возрасту 10...15 лет вследствие конкурентного подавления их деревьями-лидерами первого яруса вегетативных насаждений. Поэтому к 30 годам роста сохраняется лишь около трети (25–30 %) побегов возобновления (табл. 3).

Результаты исследований показывают, что способность трансформируемых семенных насаждений робинии к регенерации заметно изменяется в ходе формирования вегетативных древостоев культуры. Активность порослеобразования робинии зависит от возраста проведения лесовосстановительных мероприятий и степени влагодоступности (уровня грунтовых вод).

В древостоях спелого (40...50 лет) и перестойного (50...60 лет) возраста порослевозобновительная способность робинии снижается до минимума (24...10 %) или вовсе утрачивается. Результаты исследования позволили получить интегральную оценку степени регенерации семенных древостоев в аридных условиях Терско-Кумских песков (табл. 4).

Выводы

1. Порослевозобновительная активность робинии псевдоакации находится в обратной коррелятивной зависимости от возраста проведения рубок возобновления защитных насаждений и глубины залегания в них грунтовых вод. Оптимальный возрастной диапазон лесовосстановления робинии — 30...40 лет.

2. Продолжительность активного периода роста вегетативных древостоев не превышает 10...12 лет. Кроны деревьев в них смыкаются на пятом-седьмом году роста, что на два-три года позже, чем у семенных насаждений робинии.

3. В вегетативных древостоях с высокой интенсивностью порослеобразования (4500...6000 шт./га) до 15-летнего возраста наблюдается условная ярусность робинии по высоте отрастания побегов в пневых гнездах.

4. Рубками возобновления в возрасте 25...40 лет формируются очень густые (4000–1000 шт./га), а в 40...50 лет — среднегустые (150...400 шт./га) и малогустые (60...150 шт./га) древостои робинии.

Список литературы

- 1] Лашкевич К.А. Терско-Кумские пески, их мелиорация и освоение. Грозный: Областное кн. изд-во, 1949. 79 с.
- 2] Язан П.Г. Терско-Кумские пески, их закрепление и использование в сельском и лесном хозяйстве. Грозный: Областное кн. изд-во, 1955. С. 11–78.
- 3] Краснопольская О.С. Природные условия Ногайской степи // Сб. трудов по освоению Терско-Кумских песков. Ставрополь: Ставропольское кн. изд-во, 1963. Вып. 1. С. 5–18.
- 4] Манаенков А.С., Сурхаев Г.А., Сурхаев И.Г. Особенности облесения песчаных земель Терско-Кумского междуречья культурами сосны // Лесное хоз-во, 2010. № 5. С. 36–38.
- 5] Темникова Н. С. Климат Северного Кавказа и прилегающих степей. Л.: Гидрометеиздат, 1959. 368 с.
- 6] Петров В.И. Лесомелиорация аридных территорий. Волгоград: ВНИАЛМИ, 2001. С. 162–192.
- 7] Руководство по лесовосстановлению и лесоразведению в лесостепной, степной, сухостепной и полупустынной зонах европейской части Российской Федерации. М. 1994. 182 с.

- [8] Степанов А.М. Агролесомелиорация орошаемых земель. М.: Агропромиздат, 1987. 208 с.
- [9] Павловский Е.С. Экологические и социальные проблемы агроресомелиорации. М.: Агропромиздат, 1988. 182 с.
- [10] Краснопольская О.С. Итоги опытных посевов по созданию культур акации белой на песках // Сб. трудов по освоению Терско-Кумских песков. Ставрополь: Ставропольское кн. изд-во, 1963. Вып. 1. С 48–53.
- [11] Светлицев Н.М., Петров В.И. Акация белая на Терско-Кумском междуречье // Труды Новочеркасского инженерно-мелиоративного ин-та, 1974. Т. 15. № 3. С. 86–93.
- [12] Петухов В.М. Рубки ухода в защитных лесных насаждениях на Терско-Кумских песках // Сб. трудов по освоению Терско-Кумских песков. Ставрополь: Ставропольское кн. изд., 1963, Вып. 1. С. 107–122.
- [13] Крупнов Е.И. К изучению древних культур Северо-Восточного Кавказа // Известия Грозненского обл. краевого музея, 1956. Вып. 7,8. С. 46–56.
- [14] Рожанец-Кучеровская С.Е. Геоботанические ландшафты южной части Терско-Кумского песчаного массива // Изв. гос. геогр. общ., 1936. Т. 68. № 4. С. 521–543.
- [15] Петухов В.М. Рубки возобновления в белоакациевых насаждениях на Терско-Кумских песках // Сб. трудов по освоению Терско-Кумских песков. Ставрополь: Ставропольское кн. изд-во, 1963. Вып. 1. С. 177–192.
- [16] Методика исследования вегетативного возобновления и определения возраста лесовозобновительных рубок в защитных насаждениях железных дорог. Волгоград: ВНИАЛМИ, 1998. 30 с.
- [17] Петров В.И. Особенности солевого режима под лесными насаждениями на Терско-Кумских песках // Бюлл. ВНИАЛМИ, 1970. Вып. 7(59). С. 14–19.
- [18] Ивонин В.М. Агроресомелиорация водосборов. Новочеркасск, 1993. 200 с.
- [19] Мелехов И.С. Рубки главного пользования. Лесоводство. М.: Агропромиздат, 1989. С. 34.
- [20] ОСТ 56-69-83. Площадки пробные лесоустроительные. Метод закладки. Утв. Приказом (распоряжением) Государственного комитета СССР по лесному хозяйству от 23 мая 1983 г. № 72. М.: ВНИИЛМ, 1984. 60 с.

Сведения об авторах

Сурхаев Ислам Гасанович — канд. с.-х. наук, научный сотрудник Северо-Кавказского филиала Федерального научного центра агроэкологии, комплексных мелиораций и защитного лесоразведения РАН, islam26@mail.ru

Сурхаев Гасан Абдулкадирович — канд. с.-х. наук, директор Северо-Кавказского филиала Федерального научного центра агроэкологии, комплексных мелиораций и защитного лесоразведения РАН, Achikulak356890@mail.ru

Поступила в редакцию 07.06.2018.

Принята к публикации 10.10.2018.

FORMATION PECULIARITIES OF VEGETATIVE FOREST STANDS OF *ROBINIA PSEUDOACACIA* IN TEREK-KUMA SANDS

I.G. Surkhayev, G.A. Surkhayev

North-Caucasian Branch of the Federal Scientific Center for Agroecology, Complex Melioration and Protective Afforestation of the Russian Academy of Sciences, 10, Proletarskaya st., 396890, Achikulak v., Stavropol region, Russia

Islam26@mail.ru

The Terek-Kuma Sands is a vast arid territory (nearly 1 million hectares) in the western part of the Caspian lowland. Its natural boundaries are the Terek River in the south, the Caspian Sea in the east, Stavropol Upland in the west and the Kuma River in the north. It is a treeless zone of dry steppe and semi-desert, where large-scale works have been undertaken since the beginning of the last century (1904–1912) to combat «flying sands» by planting forests using many hardwoods introduced species, incl. *Robinia pseudoacacia* L., which became the dominant species in the forest melioration of the region. More than 1500 hectares of its various plantations (narrow-band, wide-band, coulisse, hurst) on the Bazhigan and Tersky massifs of sand were created by the Achikulak experimental station in the period of 1950–1990. They are multi-purpose (field-, pasture-protective, sand-fixing, recreation and plantation stands) and have now reached their biological peak of development (40...50 years) in these tough soil and climatic growing conditions and require timely reforestation so that do not lose the meliorative level of protection of arid landscapes. The results of the conducted studies (2012–2017) show that the regenerative potential of seed plantations of robinia pseudo-acacia after 20...25 years decreases from 90...100 % to 20...35 % of renewal, by 46...50 years of growth. With age, after 35 years, the proportion of stump sprouts in the vegetative plantation reduces, and the root increases. The term of cutting of the seed plantation decisive effects on the intensity of the formation of shoots. In stands with a high degree of regeneration of robinia shoots (4000...5000 pieces or more), the conventional stratification of trees along the growth steps is revealed, in which the first story is characterized by low suppressed growth and early drying of the shoots owing to the suffocating impact overhang of the crowns of the upper canopy of trees. It is observed that the active growth of shoots and root shoots lasts up to 8–12 years. The best taxation indicators are plantations in the ecotope with accessible near-surface groundwater (GWR 3–6 m). The longevity of vegetative stands is below than the seed (maternal) ones by 10–15 years.

Keywords: shoots, *Robinia pseudoacacia*, stands, plantations, reforestation, forest renewal, Terek-Kuma sands

Suggested citation: Surkhayev I.G., Surkhayev G.A. *Osobennosti formirovaniya vegetativnykh drevostoev Robinia pseudoacacia na Tersko-Kumskikh peskakh* [Formation peculiarities of vegetative forest stands of *Robinia pseudoacacia* on Terek-Kuma sands]. *Lesnoy vestnik / Forestry Bulletin*, 2018, vol. 22, no. 6, pp. 23–30. DOI: 10.18698/2542-1468-2018-6-23-30

References

- [1] Lashkevich K.A. Tersko-Kumskie peski, ikh melioratsiya i osvoenie [Terek-Kum sands, their reclamation and development]. Groznyy: Regional Prince publishing house, 1949, 79 p.
- [2] Yazan P.G. *Tersko-Kumskie peski, ikh zakreplenie i ispol'zovanie v sel'skom i lesnom khozyaystve* [The Terek-Kum sands, their fixation and use in agriculture and forestry]. Groznyy: Regional Prince publishing house, 1955, pp. 11–78.
- [3] Krasnopol'skaya O.S. Prirodnye usloviya Nogayskoy stepi [Natural conditions of the Nogai steppe]. Sb. trudov po osvoeniyu Tersko-Kumskikh peskov [Proc. works on the development of the Terek-Kum sands]. Stavropol: Stavropol'skoe kn. izd-vo [Stavropol book publishing house], 1963, v. 1, pp. 5–18.
- [4] Manaenkov A.S., Surkhaev G.A., Surkhaev I. G. *Osobennosti obleseniya peschanykh zemel' Tersko-Kumskogo mezhdurech'ya kul'turami sosny* [Peculiarities of afforestation of sandy lands of the Terek-Kumsky interfluvium with pine trees] *Lesnoe khoz-vo* [Forestry farm], 2010, no. 5, pp. 36–38.
- [5] Temnikova N.S. *Klimat Severnogo Kavkaza i prilgayushchikh stepey* [The climate of the North Caucasus and the surrounding steppes]. Leningrad: Gidrometeoizdat, 1959, 368 p.
- [6] Petrov V.I. *Lesomelioratsiya aridnykh territoriy* [Forest reclamation of arid territories]. Volgograd: VNIALMI, 2001, pp. 162–192.
- [7] *Rukovodstvo po lesovosstanovleniyu i lesorazvedeniyu v lesostepnoy, stepnoy, sukhostepnoy i polupustynnoy zonakh evropeyskoy chasti Rossiyskoy Federatsii* [Guidance on reforestation and afforestation in the forest-steppe, steppe, dry steppe and semi-desert zones of the European part of the Russian Federation]. Moscow, 1994, 182 p.
- [8] Stepanov A.M. *Agrolesomelioratsiya oroshaemykh zemel'* [Agroforestry irrigated land]. Moscow: Agropromizdat, 1987, 208 p.
- [9] Pavlovskiy E.S. *Ekologicheskie i sotsial'nye problemy agrolesomelioratsii* [Environmental and social problems of agroforestry]. Moscow: Agropromizdat, 1988, 182 p.
- [10] Krasnopol'skaya O.S. *Itogi opytnykh posevov po sozdaniyu kul'tur akatsii beloy na peskakh* [Results of experimental crops for the creation of white acacia cultures on sands]. Sb. trudov po osvoeniyu Tersko-Kumskikh peskov [Proc. works on the development of the Terek-Kum sands]. Stavropol: Stavropol'skoe kn. izd-vo [Stavropol book publishing house], 1963, v. 1, pp. 48–53.
- [11] Svetlishchev N.M., Petrov V.I. *Akatsiya belaya na Tersko-Kumskom mezhdurech'e* [White acacia on the Terek-Kum interfluvium] *Trudy Novochoerkasskogo inzhenerno-meliorativnogo in-ta* [Proceedings of the Novochoerkassk Engineering and Land Reclamation Institute], 1974, v. 15, no. 3, pp. 86–93.
- [12] Petukhov V.M. *Rubki ukhoda v zashchitnykh lesnykh nasazhdeniyakh na Tersko-Kumskikh peskakh* [Thinning in protective forest plantations on the Terek-Kum sands]. Sb. trudov po osvoeniyu Tersko-Kumskikh peskov [Proc. works on the development of the Terek-Kum sands]. Stavropol: Stavropol'skoe kn. izd-vo [Stavropol book publishing house], 1963, v. 1, pp. 107–122.

- [13] Krupnov E.I. *K izucheniyu drevnikh kul'tur Severo-Vostochnogo Kavkaza* [To study the ancient cultures of the North-Eastern Caucasus] *Izvestiya Groznenskogo obl. kraevogo muzeya* [Proceedings of the Grozny region Regional Museum], 1956, v. 7, 8, pp. 46–56.
- [14] Rozhanets-Kucherovskaya S.E. *Geobotanicheskie landshafty yuzhnoy chasti Tersko-Kumskogo peschanogo massiva* [Geobotanical landscapes of the southern part of the Terek-Kumsky sand massif] *Izv. gos. geogr. obshch.* [News of the State Geographical Society], 1936, v. 68, no. 4, pp. 521–543.
- [15] Petukhov V.M. *Rubki vozobnovleniya v beloakatsievyykh nasazhdeniyakh na Tersko-Kumskikh peskakh* [Cuttings of renewal in white acacia plantations on the Terek-Kum sands]. *Sb. trudov po osvoeniyu Tersko-Kumskikh peskov* [Proc. works on the development of the Terek-Kum sands]. Stavropol: Stavropol'skoe kn. izd-vo [Stavropol book publishing house], 1963, v. 1, pp. 177–192.
- [16] *Metodika issledovaniya vegetativnogo vozobnovleniya i opredeleniya vozrasta lesovozobnovitel'nykh rubok v zashchitnykh nasazhdeniyakh zheleznykh dorog* [Methods of research of vegetative renewal and age determination of reforestation felling in the protective plantations of railways]. Volgograd, VNIALMI, 1998, 30 p.
- [17] Petrov V.I. *Osobennosti solevogo rezhima pod lesnymi nasazhdeniyami na Tersko-Kumskikh peskakh* [Peculiarities of the salt regime under forest plantations on the Terek-Kum sands] *Bulletin VNIALMI*, 1970, v. 7 (59), pp. 14–19.
- [18] Ivonin V.M. *Agrolesomeliatsiya vodosborov* [Agroforestry reclamation]. Novocheboksarsk, 1993, 200 p.
- [19] Melekhov I.S. *Rubki glavnogo pol'zovaniya. Lesovodstvo* [Main felling. Forestry]. Moscow: Agropromizdat, 1989, p. 34.
- [20] OST 56-69-83. *Ploshchadki probnye lesoustroitel'nye. Metod zakladki*. [OST 56-69-83. Pilot forest inventory sites. Bookmark method]. *Utv. Prikazom (rasporyazheniem) Gosudarstvennogo komiteta SSSR po lesnomu khozyaystvu ot 23 maya 1983 g. № 72*. [Order (decree) of the USSR State Committee on Forestry dated May 23, 1983, no. 72]. Moscow: VNIILM, 1984, 60 p.

Authors' Information

Surkhayev Islam Gasanovich — Cand. of Agr. Sc., Scientific Worker of the North Caucasus Branch of the Federal Scientific Center for Agroecology, Complex Melioration and Protective Afforestation of the Russian Academy of Sciences, islam26@mail.ru

Surkhayev Gasan Abdulkadirovich — Cand. of Agr. Sc., Director of the North-Caucasian Branch of the Federal Scientific Center for Agroecology, Complex Melioration and Protective Afforestation of the Russian Academy of Sciences, Achikulak356890@mail.ru

Received 07.06.2018.

Accepted for publication 10.10.2018.

СТРУКТУРА И ДИНАМИКА ВОЗОБНОВЛЕНИЯ ЛЕСОВ НА ГАРЯХ СРЕДНЕЙ ТАЙГИ ЗАПАДНОЙ СИБИРИ

Н.М. Дебков¹, А.С. Ильинцев²

¹ФГБУН «Институт мониторинга климатических и экологических систем Сибирского отделения Российской академии наук», 634055, г. Томск, Академический пр., д. 10/3

²ФБУ «Северный научно-исследовательский институт лесного хозяйства», 163062, г. Архангельск, ул. Никитова, д. 13

nikitadebkov@yandex.ru

Приведена оценка свежих и старых гарей в пределах средней тайги Западной Сибири. За основу исследования естественной динамики гарей взяты таксационные описания трех участковых лесничеств Томской области на общей площади около 1,2 млн га. Проведен анализ базы данных по ключевому слову «гарь» с подразделением по видам повреждения: низовые и верховые пожары. В последующем каждый вид лесных пожаров распределили по древесным породам и типам леса. Далее отдельно анализировали гари с уцелевшими деревьями и без них. У деревьев, сохранившихся после пожара, были рассчитаны средние таксационные показатели. Всего проанализировано более 300 участков гарей. Полевые работы выполнены в 2015–2016 гг. маршрутным способом. Результаты исследования показали, что большая часть гарей средней тайги Западной Сибири возникла в результате действия низовых пожаров (87%), которые встречаются в лишайниковых, мшистых, бруснично-лишайниковых, мшисто-ягодных и даже сфагновых насаждениях. Верховые встречаются только в первых двух типах леса. При верховых пожарах сторают не весь древостой, остаются единичные деревья. При низовых пожарах, как правило, всегда имеются уцелевшие элементы древостоев. Выявлено, что после верховых пожаров по соснякам единичные деревья представлены только сосной. После низовых пожаров по соснякам уцелевшая часть древостоя также представлена сосной, в мшистом типе леса частично березой и крайне редко — кедром. В целом в природных условиях пирогенный фактор приводит к формированию молодняков с преобладанием сосны. Можно дать следующие рекомендации: при организации лесопользования на этапе отвода лесосек необходимо выделять пониженные участки для имитации рефугиумной динамики. На более ровных и/или гривных участках следует оставлять в качестве обменителей крупные старовозрастные сосны, преимущественно с пожарными подсушинами. Количество оставляемых семенников должно на порядок превышать нормативные показатели (не менее 50–100 шт./га).

Ключевые слова: Западная Сибирь, средняя тайга, низовые и верховые пожары, оставшаяся часть древостоя, лесовозобновление

Ссылка для цитирования: Дебков Н.М., Ильинцев А.С. Структура и динамика возобновления лесов на гарях средней тайги Западной Сибири // Лесной вестник / Forestry Bulletin, 2018. Т. 22. № 6. С. 31–39. DOI: 10.18698/2542-1468-2018-6-31-39

Имитация естественной (природной) динамики лесов способствует сохранению и поддержанию биологического разнообразия на всех уровнях, а также выполнению экосистемных функций [1–5]. Для устойчивых лесных экосистем характерна мозаичность сложения горизонтальной структуры, которая обеспечивается за счет естественных нарушений [6, 7]. Нарушения варьируются от крупных, вызывающих сукцессионную смену древостоя (пожары, крупные ветровалы), до мелкомасштабных «окон», возникающих вследствие гибели одиночных деревьев (вторичные ксилофаги, грибные болезни) [8–10]. Наиболее обширные нарушения в бореальных лесах Евразии и Северной Америки включают пожары и ветровалы, а также вспышки массового размножения насекомых [8, 11–15].

Лесной пожар как природный циклический фактор обеспечивает регулирование растительного опада, который не успевают переработать фито- и сапрофаги [16]. Пожары как экологиче-

ский фактор приводят к обновлению или смене сообществ, создавая при этом специфические экологические ниши для узкоспециализированных пирофильных организмов [17]. С учетом этих особенностей лесных пожаров как важного экологического фактора в Швеции, например, предписывается ежегодно выжигать 5% площади годичной лесосеки [18]. В России такие работы проводились только в процессе опытно-производственной апробации [19]. Полученные данные свидетельствуют о пространственной неоднородности гарей из-за наличия рефугиумных участков и частично прогоревших участков с отдельными деревьями [20].

Цель исследования

Цель исследования — оценка свежих и старых (до 35 лет) гарей в пределах средней тайги Западной Сибири, анализ структуры возобновления, характеристика оставшейся части древостоя при пожарах разных видов в лесах с разной типологической структурой.

Объекты и методы исследований

Объектом исследования являются данные учета лесного фонда Верхнекетского лесничества Томской области. Климат на территории лесничества резко континентальный. Продолжительность вегетационного периода колеблется в пределах 140–145 дней, на которые приходится в среднем 282 мм осадков (63 % общего количества осадков) [21]. Средняя скорость ветра — 3,8 м/с (преобладают ветры юго-западного направления). Территория лесничества по характеру рельефа представляет собой равнину с незначительными уклонами к р. Кеть, с редкими водораздельными повышениями. Спецификой рельефа являются невысокие возвышенности в виде грив и увалов. Абсолютные отметки высот над уровнем моря колеблются от 63 м в пойме р. Кеть до 135 м на водоразделах. На гривах и повышенных плато распространены песчаные и супесчаные, средне- и сильнооподзоленные почвы (52,3 % площади лесных земель). На этих почвах произрастают хвойные и лиственные насаждения III–IV классов бонитета долгомошной и зеленомошной групп типов леса. На более сухих песчаных сильнооподзоленных почвах произрастают сосняки V класса бонитета. На нижних частях склонов и плоских участках междуречий распространены суглинистые почвы (24,2 %), на которых произрастают темнохвойно-кедровые или производные от них березовые и осиновые насаждения свежих и влажных групп типов леса с темнохвойным подростом и вторым ярусом (II–IV классов бонитета). В долинах рек и речек на аллювиальных почвах произрастают смешанные насаждения кедра и ели (II–IV классов бонитета). Болотно-подзолистые почвы, составляющие 27,4 %, формируются преимущественно на водораздельных понижениях и в поймах рек под сосновыми и березовыми лесами в условиях периодического, но длительного поверхностного или грунтового переувлажнения. В покрове сфагновые мхи, клюква, багульник образуют сочетания и комплексы с подзолистыми и болотными почвами: торфянисто- и торфяно-подзолистые, торфяно-глеевые подзолистые и подзолисто-глеевые. Болотные низинные типы леса приурочены к переходным и низинным типам болот. Мощность низинных торфяников 50...200 см. Болотным почвам низинных и переходных болот сопутствуют, как правило, низинные обедненные подтипы почв.

Верхнекетское лесничество расположено в северо-восточной части Томской области на площади свыше 4,3 млн га. Согласно учету лесного фонда, земли, покрытые лесной растительностью, занимают 57,3 % лесного фонда, а не покрытые лесной растительностью — 1,2 %; последние представлены несомкнувшимися лесными куль-

турами, вырубками, гарями, прогалинами и пустырями. Нелесные земли в основном заняты болотами (39,5 %). В лесном фонде преобладают хвойные насаждения (74,6 %). Распределение насаждений по группам возраста имеет следующее соотношение: молодняки занимают 13,5 % покрытых лесной растительностью земель, средневозрастные 16,0 %, приспевающие 16,8 %, спелые и перестойные 53,7 % (в том числе перестойные 28,0 %). Средний класс бонитета III–IV. Древостои II и выше классов бонитета занимают 4,3 % площади земель, покрытых лесной растительностью, III класса 29,0 %, IV класса 41,6 %, Va–Vб классов 11,4 %. Средняя полнота насаждений 0,6, при этом низкополнотных древоств (с полнотой 0,3–0,4) 16,4 %, среднеполнотных (0,5–0,7) 66,5 %, высокополнотных (с полнотой 0,8–1,0) 17,1 %. Всего в лесничестве выделено 7 групп типов леса, соответствующих отдельным типам леса по лесорастительным условиям и лесообразующим породам. Преобладающим типом леса является зеленомошный (61,9 % площади земель, покрытых лесной растительностью), остальные типы леса: вейниковый (0,1 %), долгомошниковый (0,4 %), лишайниковый (1,4 %), разнотравный (3,3 %), сфагновый (25,9 %), травяно-болотный (7,0 %) [22].

Предметом исследования естественной динамики гарей средней тайги Томской области послужили таксационные описания Ключевинского, Орловского, Дружнинского участков лесничеств общей площадью около 1,2 млн га по состоянию на 01.01.1999 г.

Поскольку основной целью было изучение возобновления гарей, сделали выборку из базы данных по ключевому слову «гарь» с подразделением по видам повреждения: низовые и верховые пожары. В последующем каждый вид лесных пожаров распределили по древесным породам и типам леса. Затем отдельно анализировали гари с уцелевшими деревьями и без них. У деревьев, сохранившихся после пожара, были рассчитаны средние таксационные показатели — возраст, высоту, диаметр, запас, густоту (через запас по формуле Денцина).

Для оценки динамических процессов возобновления из таксационных описаний сделали выборку по ключевым словам «возобновившаяся гарь» с распределением по преобладающей породе допожарного насаждения, типам леса и возрасту гари. Затем также рассчитали основные таксационные показатели — состав, высоту, диаметр, бонитет, полноту, запас, густоту (через запас по формуле Денцина).

Всего проанализировано более 300 участков гарей. Полевые работы выполнены в конце 2015 г. — начале 2016 г. маршрутным способом во время проведения аудитов по добровольной

лесной сертификации по схеме Лесного попечительского совета (FSC) и Панъевропейской программы одобрения национальных систем лесной сертификации (PEFC) арендаторской деятельности ЗАО «Новоенисейский лесохимический комплекс» (г. Лесосибирск, Красноярский край). Арендованная этим предприятием территория входит в Западно-Сибирский равнинный таежный район и относится по лесорастительному районированию к средней тайге.

Обработку данных проводили с помощью программы STATISTICA 10. Помимо стандартных описательных статистических критериев, использовали непараметрический критерий Краскела — Уоллиса с целью установления достоверности различия показателей.

Результаты и их обсуждение

Анализ площадных характеристик гарей на исследуемой территории показал, что леса больше повреждаются низовыми пожарами (они составляют 87 % всех пожаров), а верховых пожаров значительно меньше (13 %). Это соотношение можно признать типичным для таежной зоны, поскольку похожие пропорции получали и другие авторы [23]. При этом, по нашим данным, верховые пожары отмечены только в сосновых лесах, в то время как низовые пожары встречаются как в сосняках, так и в кедрчачах. Считается, что для перехода низового пожара в верховой нужна как минимум вертикальная сомкнутость полога, т. е. наличие тонкомера и подроста, поэтому полученные данные выглядят несколько нелогично, однако ниже дается объяснение этому, связанное со структурой типов леса. В случаях повреждения насаждений низовыми пожарами основная доля также приходится на сосновые леса (74 %), кедровники горят на меньшей площади (26 %). Это подтверждает большую пирофитность сосны и обусловленность ее сукцессионной динамики воздействием пирогенного фактора.

Типологическая структура разных пожаров имеет свои особенности (рис. 1). В частности, для верховых пожаров характерно преимущественное повреждение лишайниковых сосняков (78 %) и частичное — мшистых (22 %). На наш взгляд, это обусловлено тем, что для сосняков лишайникового типа леса характерна циклическая разновозрастность и, соответственно, разновысотность, способствующая переходу огня с поверхности почвы в кроновое пространство. При низовых пожарах также основной вклад в пройденную огнем площадь вносят сосняки автоморфных типов местообитаний: лишайниковый (28 %) и бруснично-лишайниковый (31 %). Значительная доля и мшистых сосновых лесов (31 %). На мшисто-ягодный тип леса приходится 9 %, что

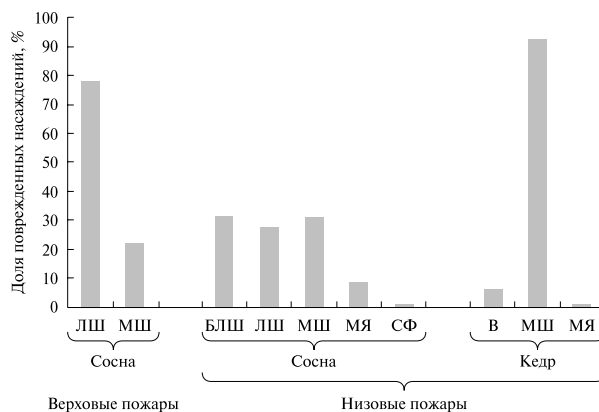


Рис. 1. Зависимость повреждения насаждений от вида пожара и типа леса: ЛШ — лишайниковый, БЛШ — бруснично-лишайниковый, МШ — мшистый, МЯ — мшисто-ягодный, СФ — сфагновый, В — вейниковый

Fig. 1. Dependence of plant damage on type of fire and forest type: L — lichen, LBL — lingonberry-lichen, MS — mossy, MB — mossy-berry, SP — sphagnum, R — reedgrass

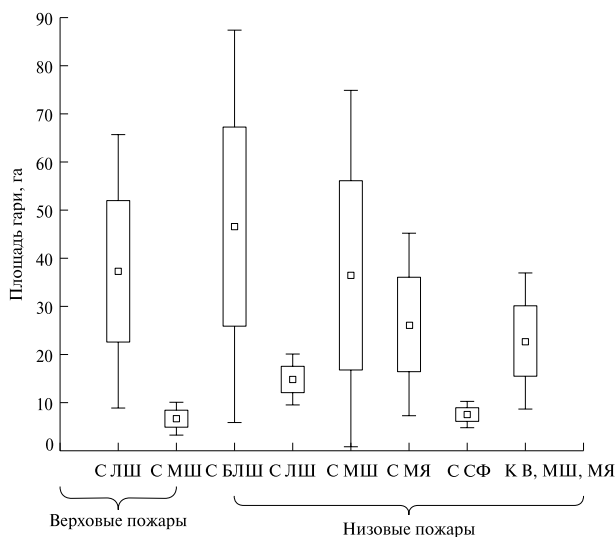


Рис. 2. Варьирование средней площади гарей по видам пожаров и типам леса: ЛШ — лишайниковый, БЛШ — бруснично-лишайниковый, МШ — мшистый, МЯ — мшисто-ягодный, СФ — сфагновый, В — вейниковый; К — кедровники; С — сосняки

Fig. 2. Variation of the average area of fires by types of fires and forest types: L — lichen, CL — cowberry-lichen, MS — mossy, MB — mossy-berry, SP — sphagnum, R — reedgrass; CF — cedar forests; PF — pine forests

с учетом его представленности в общем типологической структуре сосновых лесов тоже весьма высокий показатель. Сфагновые же сосняки практически не горят (1 %). В связи с особенностями схемы типов леса кедровники горят насаждения в основном мшистого типа (92 %); вейниковые и мшисто-ягодные кедровые леса повреждаются значительно меньше (7 и 1 % соответственно).

Установлено, что средняя площадь гари при верховом пожаре в лишайниковых сосняках составляет $37,3 \pm 14,5$ га с варьированием от 2,2 до 82,6 га и во много раз превышает таковую во мшистом типе леса ($6,7 \pm 1,8$ га с варьированием от 2,2 до 15,2 га) (рис. 2). Однако сравнение достоверности различий типа местообитаний (автоморфные и полугидроморфные) по верховым пожарам в сосняках показало отсутствие связи (критерий Краскела — Уоллиса $p = 0,0669 > 0,05$). Скорее всего, различия недостоверны потому, что крупные (от 30...50 га) гари достаточно редки и требуется существенно увеличить выборку.

Выше уже отмечалось, что низовые пожары распространены как в автоморфных, так и в полугидроморфных сосняках, и совсем редко — в местообитаниях гидроморфного ряда. При этом наибольшая средняя площадь выявлена в бруснично-лишайниковых сосняках ($46,6 \pm 20,8$ га, пределы 2,6...150,6 га), что выше данного показателя для лишайникового типа леса ($14,9 \pm 2,7$ га, пределы 3,2...53,6 га). Сравнение достоверности различий в одном типе местообитаний (лишайниковые и бруснично-лишайниковые автоморфные типы условий местопроизрастания (ТУМ) по низовым пожарам в сосняках показало отсутствие связи (критерий Краскела — Уоллиса $p = 0,1813 > 0,05$). Во мшистом типе леса средняя площадь гарей несколько ниже, чем в лишайниковых сосняках, и составляет $36,8 \pm 19,4$ га (размах показателя 1,1...205,2 га), что выше значения данного показателя у мшисто-ягодного леса, представляющего полугидроморфные местообитания ($26,2 \pm 9,7$ га, размах показателя 9,9...54,0 га). Сравнение достоверности различий в пределах типа местообитаний (мшистые и мшисто-ягодные полугидроморфные ТУМ) по низовым пожарам в сосняках показало отсутствие связи (критерий Краскела — Уоллиса $p = 0,4795 > 0,05$). Самое же низкое значение данного показателя отмечено у сфагновых сосняков — $7,7 \pm 1,4$ га (с колебанием 6,3...9,1 га). В целом сравнение достоверности различий типа местообитаний (автоморфные и полугидроморфные) по низовым пожарам в сосняках показало отсутствие связи (критерий Краскела — Уоллиса $p = 0,4804 > 0,05$). Ввиду ограниченности распространения других типов леса приводим среднюю площадь гарей в кедровниках мшистых: $22,7 \pm 7,3$ га (пределы 2,3...105,6 га).

Поскольку сравнение достоверности различий вида пожара (верховой и низовой) в сосняках показал отсутствие связи (критерий Краскела — Уоллиса $p = 0,2094 > 0,05$) и не подтвердилась достоверность различий породного состава (сосна и кедр) при низовых пожарах (критерий Краскела — Уоллиса $p = 0,3602 > 0,05$), целесообразно дать показатель средней площади гари на исследуемой территории: $23,8 \pm 4,0$ (размах показателя 1,1...205,2 га). Опираясь на данный показатель, можно отметить, что он сопоставим с теми показателями по максимальной площади лесосек, которые установлены в равнинной таежной зоне. Также необходимо отметить, что большая часть гарей имеет площадь от 20 до 50 га. Самые крупные гари наблюдаются в сосняках лишайниковых при верховых пожарах и в бруснично-лишайниковых и мшистых типах леса при низовых пожарах.

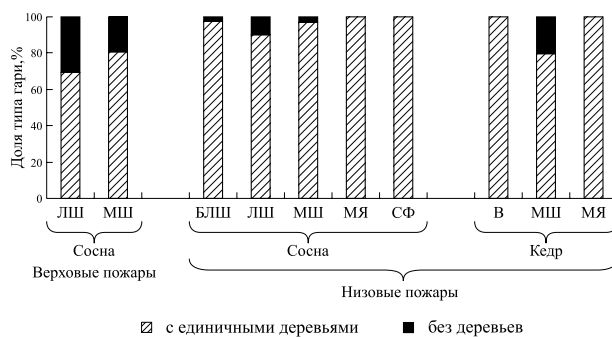


Рис. 3. Распределение типов гари по наличию уцелевшей части древостоя

Fig. 3. Distribution of burnt area by the presence of the surviving part of the forest stand

Проводя лесоинвентаризацию, таксатор при необходимости указывает на наличие уцелевшей части древостоя и дает ее краткую характеристику. При этом нет возможности отобразить характер уцелевшей части в карточке таксации и в самих таксационных описаниях. Поэтому площадные рефугиумные участки там фигурируют как «единичные деревья» до тех пор, пока их размер не позволит отнести их к категории самостоятельных выделов. Но это бывает редко, поскольку рефугиумы четко приурочены к элементам микрорельефа, который исчисляется до нескольких сотен квадратных метров.

Обследование гарей средней тайги в пределах Красноярского края показало, что присутствует как рефугиумная динамика, так и «динамика единичных деревьев». При этом, как правило, на возвышенных и в автоморфных местообитаниях преобладает «динамика единичных деревьев», а в отрицательных формах рельефа, в полу- и гидроморфных местообитаниях — рефугиумная.

Согласно полученным данным, в среднем на более чем 90 % гарей имеются в том или ином количестве единичные деревья (рис. 3). Такая же закономерность отмечается в скандинавских странах [24]. При верховых пожарах доля гарей с полностью сгоревшим древостоем выше, чем при низовых (соответственно 25 и 5 %). Это вполне логично, если учесть, что основной элемент устойчивости деревьев к воздействию огня — толщина коры — «работает» только при низовых пожарах.

Т а б л и ц а 1

**Характеристика уцелевшей части древостоя при разных видах пожаров
и в разных типах леса**

Characteristics of the remaining part of the forest stand after different types of fires and forest types

Формация	Тип леса	Состав, ед.	Возраст, лет	Высота, м	Диаметр, см	Запас, м ³ /га
Верховые пожары						
Сосняки	ЛШ	10С	65–90	14–16	16–18	20–50
	МШ	10С	55–230	12–20	14–30	20–30
Низовые пожары						
Сосняки	БЛШ	10С	25–110	5–11	4–12	10
	ЛШ	10С	40–150	6–20	10–24	10–20
	МШ	9С	35–190	9–20	8–28	10–50
		1Б	35–55	10–14	8–12	
		К	170	18	24	
	МЯ	10С	45–95	9–19	10–22	10–30
СФ	10С	125–170	15	16–18	20	
Кедровники	В	10К	250	21	36	30
	МШ	4К	150–270	19–23	24–34	10–40
		3Б	115–140	20–23	20–26	
		2С	95–190	18–23	22–30	
		1Е	120–180	16–23	14–24	
МЯ	10С	130	22	26	40	

Примечание. Б — береза; Е — ель; К — кедр; С — сосна; обозначения типов леса см. рис. 1.

В зависимости от вида пожара и типа леса наблюдаются различия в таксационной структуре уцелевшей части древостоя (табл. 1). В результате воздействия верховых пожаров в сосновых лесах лишайникового типа в виде единичных деревьев присутствуют исключительно сосны, у которых средний возраст 75 лет, средняя высота 15 м, средний диаметр 17 см. По запасу их остается 23 м³/га, что равно примерно 10...15 % допозарного корневого запаса насаждения. Густота единичных деревьев составляет 80 шт./га. В мшистом типе также сохраняется только сосна, средний возраст которой выше (117 лет) при сопоставимости средних высоты (16 м), диаметра (20 см), запаса (23 м³/га). Густота несколько ниже — 58 шт./га. На примере этих двух типов леса хорошо видно, что для лишайниковых сосняков ввиду достаточной однородности уцелевшей части типична «динамика единичных деревьев», а вот для более увлажненных мшистых сосняков характерно ее сочетание с рефугиумной динамикой. Следует отметить, что лишайниковые сосняки относятся к приспевающей группе возраста.

После низовых пожаров по соснякам также в основном сохраняют жизнеспособность только сосны, за исключением мшистого типа леса, где остается незначительное количество средневозрастных берез и кедров, которые, скорее всего, приурочены к рефугиумам. В бруснично-лишайниковом типе уцелевшие деревья имеют весьма невысокие средние показатели: возраст 52 года,

высота 9 м, диаметр 9 см. При среднем запасе 10 м³/га среднее количество деревьев 123 шт./га, т. е. горят в основном средневозрастные насаждения. В лишайниковых сосновых лесах средние значения характеристик единичных деревьев примерно такие же, как при верховых пожарах: возраст 75 лет, высота 12 м, диаметр 15 см. Однако на корню остается только 13 м³/га, что соответствует густоте в 57 шт./га. Близки к бруснично-лишайниковому типу леса средние показатели у единичных деревьев в мшисто-ягодном типе: возраст 58 лет, высота 12 м, диаметр 14 см. Однако средний запас выше — 15 м³, что соответствует густоте в 76 шт./га. В сфагновом типе леса возраст единичных деревьев в среднем 148 лет при средней высоте 15 м и диаметре 17 см. На корню в среднем 20 м³/га, или 70 шт./га. Для мшистых сосняков характерно сохранение деревьев со средним возрастом 90 лет, высотой 14 м, диаметром 15 см. При запасе в 33 м³/га на корню остается 146 шт./га.

В кедровниках мшисто-ягодных и вейниковых устойчивость проявил только кедр, возраст 250 и 130 лет соответственно. Остальные таксационные показатели имеют следующие средние значения: высота 21 и 22 м, диаметр 36 и 26 см, запас 30 и 40 м³/га, густота 23 и 59 шт./га соответственно. В основном типе леса — кедровниках мшистых — состав уцелевшей части практически полностью идентичен таковому допозарного насаждения: 4К2С1Е3Б. По преобладающей породе

Т а б л и ц а 2

Характеристика возобновившихся гарей по сосновым лесам
Characteristics of renewed burnt area on pine forests

Тип леса	Давность, лет	Состав, ед.	Высота, м	Диаметр, см	Бонитет, класс	Полнота, ед.	Запас, м ³ /га
БЛШ	10	5С5Б + С	2,0	2,0	4,0	0,50	10
	15	8С2Б + С, ОС	2,0	2,0	4,0	0,64	14
	25	10С	3,0	2,0	5,0	0,70	20
БСФ	15	7С3Б	2,0	2,0	4,0	0,70	20
ЛШ	10	10С + С, Б, ОС	1,0	2,0	4,0	0,48	10
	15	10С + С, Б, ОС	1,1	2,0	4,8	0,49	10
	20	10С + С, Б, ОС	2,1	2,0	4,8	0,56	13
	25	10С	3,0	4,0	5,0	0,40	10
МШ	10	9С1Б	2,0	2,4	3,2	0,50	10
	15	5С5Б + К	2,0	2,1	3,9	0,68	21
	20	6С4Б	3,5	3,0	4,0	0,70	30
	35	7С3Б	7,0	8,0	4,0	0,60	50
МЯ	10	5С5Б + С	1,0	2,0	4,0	0,55	10
	15	7С3Б + С, К, ОС	2,5	2,5	3,5	0,73	22
	20	8С2Б + С	3,0	4,0	4,0	0,60	20
СФ	15	5С5Б	1,0	2,0	5,0	0,60	10

средние значения таксационных показателей: возраст 220 лет, высота 22 м, диаметр 29 см, запас 26 м³, густота 31 шт./га.

Обобщая приведенные данные, заметим, что «динамика единичных деревьев», которая в основном обусловлена индивидуальной устойчивостью к огню, в чистом виде наблюдается редко, преобладает ее сочетание с рефугиумной динамикой.

Формирование послепожарных сообществ протекает по-разному в зависимости от типа леса и местообитания (табл. 2). На бруснично-лишайниковых гарях в первое десятилетие состав смешанный (5С5Б), густота 2500 шт./га. Через пять лет начинает преобладать сосна (8С2Б), густота уже 3500 шт./га, т. е. береза уже не возобновляется, а поток поколений сосны еще продолжается. К середине второго десятилетия сосна вытесняет березу (состав 10С) и продолжает накапливаться — густота 5000 шт./га, т. е. формируется условно-разновозрастная структура. К 25 годам молодняк достигает максимальной для данных условий густоты и прогнозируется начало массового процесса естественного изреживания. Об этом же свидетельствует временное понижение класса бонитета.

В сфагновых лесах в возрасте 15 лет состав 5С5Б при густоте 2500 шт./га, а в багульниково-сфагновых — 7С3Б при 5000 шт./га, т. е. динамика похожа на таковую у бруснично-лишайниковых сосняков. Но видно, что с увеличением увлажненности уменьшается густота сообществ, при этом возрастает доля сосны.

В лишайниковых лесах изначально доминирует сосна (состав 10С + С + Б + ОС) и значительно медленнее идет пополнение с повышением возраста (с 2625 шт./га в возрасте 10 лет до 3325 шт./га в конце второго десятилетия). А в 20 лет уже начинается естественное изреживание, о чем свидетельствует снижение полноты с 0,56 до 0,40 и запаса с 13 до 10 м³/га.

В мшистых сосняках лесообразовательный процесс протекает сложнее. В первое десятилетие состав 9С1Б с густотой 1736 шт./га. Потом в течение пяти лет значительно увеличивается участие березы (состав 5С5Б + К) до густоты 4739 шт./га. В следующие пять лет начинается процесс естественного изреживания (густота 3333 шт./га) и сосна снова начинает доминировать (состав 6С4Б). В итоге к 35 годам после пожара возникает состав 7С3Б с густотой 700–800 шт./га. Процесс перехода от заселения гари к изреживанию приходится на период 20...25 лет.

Аналогично протекает процесс и в мшисто-ягодных сосняках: в возрасте 10 лет состав 5С5Б + С с густотой 2500 шт./га. Далее начинает преобладать сосна, и в возрасте 15 лет состав изменяется (7С3Б + С + К + ОС при густоте 3456 шт./га). В возрасте 20 лет начинается естественное изреживание и состав становится 8С2Б + С, а густота — 1250 шт./га. Таким образом, в природных условиях пирогенный фактор приводит к формированию молодняков с преобладанием сосны.

Выводы

По результатам исследования можно сделать следующие выводы.

1. Большая часть гарей средней тайги Западной Сибири возникла в результате действия низовых пожаров. Верховые пожары встречаются реже. Типологическая структура верховых пожаров достаточно однородна и ограничивается лишайниковыми и мшистыми сосняками. Низовые пожары помимо указанных типов леса, встречаются в бруснично-лишайниковых, мшисто-ягодных и даже сфагновых насаждениях. Кедровники горят в основном мшистого, а также вейникового и мшисто-ягодного типа. Таким образом, лесным пожарам в первую очередь подвержены леса на автоморфных и полугидроморфных почвах.

2. Установлено, что даже при верховых пожарах сгорает не весь древостой, а остаются единичные деревья. На 20...30 % площади верховых пожаров единичные деревья отсутствуют. При низовых пожарах, как правило, всегда имеются уцелевшие элементы древостоев.

3. Выявлено, что после верховых пожаров по соснякам единичные деревья представлены только сосной, причем на лишайниковых гарях остается около 100–120 деревьев, а на мшистых в два раза меньше (50–60 шт./га). После низовых пожаров по соснякам уцелевшая часть древостоя также представлена сосной, в мшистом типе леса частично березой и крайне редко — кедром. В зависимости от типа леса сохраняется от 50 до 150 деревьев разного размера. С учетом таксационных показателей деревьев уцелевшая часть представлена не только единичными деревьями, проявившими устойчивость к пирогенному фактору, но и рефугиумами, где сохранилась часть допозарного древостоя. Кедровники существенно отличаются от сосняков. После низовых пожаров остается значительно меньшее количество деревьев (30–60 шт./га), которые представлены в основном кедром и березой, а треть приходится на сосну и ель.

4. Формирование послепожарных сообществ на местах сосняков протекает по-разному в зависимости от типа леса и типа местообитания. Однако в целом в природных условиях пирогенный фактор приводит к формированию молодняков с преобладанием сосны.

5. Можно дать несколько рекомендаций по учету естественной динамики гарей (данные рекомендации распространяются на среднетаежную подзону в пределах Западной Сибири). Пожарная динамика более характерна для сосновых лесов. Для кедровых лесов она менее типична, но приводит к более серьезным последствиям (как правило, к смене эдификатора). Наиболее распространены низовые пожары, чаще всего в автоморфных условиях место-

произрастания. Следовательно, естественная динамика ограничивается лишайниковыми и мшистыми группами типов леса. При организации лесопользования на этапе отвода лесосек необходимо выделять пониженные участки (замкнутые и межгивные отрицательные формы рельефа) с повышенной, относительно общей по выделу, обводненностью (увлажненностью). Как правило, эти участки заняты менее продуктивными сообществами. В данном случае это имитация рефугиумной динамики. На более ровных и/или гивных участках следует оставлять в качестве обсеменителей крупные старовозрастные сосны, преимущественно с пожарными подсушинами, которые свидетельствуют об уже имеющейся у данных деревьев пожароустойчивости. Количество оставляемых семенников на порядок должно превышать нормативные показатели (не менее 50–100 шт./га).

Список литературы

- [1] Загидуллина А., Дробышев И. Сохранение и имитация естественного динамического разнообразия лесного покрова: обзор концепций и методических подходов // Устойчивое лесопользование, 2017. № 2 (50). С. 22–31.
- [2] Klenk N., Bull G., Cohen D. What is the END (emulation of natural disturbance) in forest ecosystem management? An open question // Canadian Journal of Forest Research, 2008, v. 38, pp. 2159–2168.
- [3] Perera A.H., Buse L.J., Weber M.G. Emulating Natural Forest Landscape Disturbances: Concepts and Applications. Columbia University Press, 2004, p. 352.
- [4] Attiwill P.M. The disturbance of forest ecosystems: the ecological basis for conservative management // Forest Ecology and Management, 1994, v. 63 (23), pp. 247–300.
- [5] Bergeron Y., Leduc A., Harvey B.D., Gauthier S. Natural fire regime: a guide for sustainable management of the Canadian boreal forest // Silva Fennica, 2002, v. 36, no. 1, pp. 81–95.
- [6] Kuuluvainen T. Natural variability of forests as a reference for restoring and managing biological diversity in boreal Fennoscandia // Silva Fennica, 2002, v. 36, pp. 97–125.
- [7] Kuuluvainen T., Grenfell R. Natural disturbance emulation in boreal forest ecosystem management — theories, strategies, and a comparison with conventional even aged management // Canadian Journal of Forest Research, 2012, v. 42, pp. 1185–1203.
- [8] Fraver S., Jonsson B.G., Jonsson M., Esseen P.A. Demographics and disturbance history of a boreal old growth *Picea abies* forest // Journal of Vegetation Science, 2008, v. 19, pp. 789–798.
- [9] Rulcker C., Angelstam P., Rosenberg P. Natural forest fire dynamics can guide conservation and silviculture in boreal forests // SkogForsk, 1994, v. 2, pp. 1–4.
- [10] Khakimulina T., Fraver S., Drobyshev I. Mixed severity natural disturbance regime dominates in an old growth Norway spruce forest of northwest Russia // Journal of Vegetation Science, 2016, v. 27 (2), pp. 400–413.
- [11] Angelstam P., Kuuluvainen T. Boreal forest disturbance regimes, successional dynamics and landscape structures — a European perspective // Ecological Bulletins, 2004, v. 51, pp. 117–136.
- [12] Johnson E.A., Miyanishi K., Weir J.M.H. Old growth, disturbance, and ecosystem management // Canadian Journal of Botany, 1995, v. 73, pp. 918–926.

- [13] Kneeshaw D., Bergeron Y., Kuuluvainen T. Forest ecosystem structure and disturbance dynamics across the circumboreal forest // *The Sage handbook of biogeography* / Ed. A.C. Millington, M.B. Blumler, U. Schickhoff]. London: Sage Publications, 2011, pp. 263–280.
- [14] Shorohova E., Kneeshaw D., Kuuluvainen T., Gauthier S. Variability and dynamics of old growth forests in the circumboreal zone: implications for conservation, restoration and management // *Silva Fennica*, 2011, v. 45, no. 5, pp. 785–806.
- [15] Юрченко Г.И., Турова Г.И., Кузьмин Э.А. Последствия массовых размножений сибирского шелкопряда в дальневосточных хвойно-широколиственных лесах // *Сб. тр. ДальНИИЛХ*, 2003. Вып. 36. С. 176–193.
- [16] Bond W.J., Keeley J.E. Fire as a global «herbivore»: the ecology and evolution of flammable ecosystems // *Trends Ecological Evolution*, 2005, v. 20, pp. 387–394.
- [17] Holliday N.J. Species responses of carabid beetles (Coleoptera: Carabidae) during post-fire regeneration on boreal forest // *Canadian Entomologist*, 1991, v. 123, pp. 1369–1389.
- [18] Grandstrom A. Fire management for biodiversity in the European boreal forest // *Scandinavian Journal of Forest Research*, 2001, no. 3, pp. 62–69.
- [19] Валендик Э.Н., Матвеев П.М., Софронов М.А. Крупные лесные пожары. М.: Наука, 1979. 198 с.
- [20] Гонгальский К.Б. Лесные пожары и почвенная фауна. М.: Товарищество научных изданий КМК, 2014. 169 с.
- [21] Проект организации и ведения лесного хозяйства лесхоза «Виссарионов бор» Агентства лесного хозяйства по Томской области. Томск: Агентство лесного хозяйства Томской области, 2005. Т. 1. Кн. 1. 238 с.
- [22] Лесохозяйственный регламент Верхнетомского лесничества Томской области. Томск: Агентство лесного хозяйства Томской области, 2013. 285 с.
- [23] Борисенко Е.П., Пасецкий В.М. Тысячелетняя летопись необычайных явлений природы. М.: Мысль, 1998. 524 с.
- [24] Siitonen J. Forest management, coarse woody debris and saproxylic organisms: fennoscandian boreal forests as an example // *Ecological Bulletins*, 2001, v. 49, pp. 11–41.

Сведения об авторах

Дебков Никита Михайлович — канд. с.-х. наук, научный сотрудник лаборатории мониторинга лесных экосистем Федерального государственного бюджетного учреждения науки «Институт мониторинга климатических и экологических систем Сибирского отделения Российской академии наук», nikitadebkov@yandex.ru

Ильинцев Алексей Сергеевич — канд. с.-х. наук, научный сотрудник Федерального бюджетного учреждения «Северный научно-исследовательский институт лесного хозяйства», a.ilintsev@narfu.ru

Поступила в редакцию 14.06.2018.

Принята к публикации 15.10.2018.

BURNT AREA IN MIDDLE TAIGA OF WESTERN SIBERIA AS AN ELEMENT OF IMITATION OF NATURAL FOREST DYNAMICS

N.M. Debkov¹, A.S. Ilintsev²

¹Institute of Monitoring of Climatic and Ecological Systems of the Siberian Branch of the Russian Academy of Sciences, 10/3, Akademicheskoy Ave., 634055, Tomsk, Russia

²Northern Research Institute of Forestry, 13, Nikitov st., 163062, Arkhangelsk, Russia

nikitadebkov@yandex.ru

The article presents an assessment of fresh and old burnt area in the middle taiga of Western Siberia. The basis of the study of the natural dynamics of the burnt area are taken taxational descriptions of three precinct forest district of the Tomsk region on a total area of about 1.2 million hectares. The analysis of the database for the keyword «burnt area», which was also subdivided by type of damage: the ground and crowning fires. In the future, each type of forest fires was distributed by tree species and forest types. Further, burnt area with and without trees survived was analyzed separately. The average taxation indices were calculated for the trees preserved after the forest fire. In total, we analyzed more than 300 sites of burnt areas. Field works were performed in 2015–2016 by route method. The results of the study showed that most of the hares of the middle taiga of Western Siberia, arose as a result of the action of ground fires (87 %), which occur in lichen, mossy, cowberry-lichen, mossy-berry and even sphagnum forest stands. Crowning fires meet only in the first two types of forests. When crowning fire doesn't burn the whole forest, and remain isolated trees. Ground fires, as a rule, always have the surviving elements of forest stands. It is revealed that after the crowning fires on pine forests single trees are represented only by pine. Grass-roots fires in pine forests are also accompanied by the fact that the surviving part of the stand is represented by Scotch pine, partially in the mossy forest type by birch and rarely by Siberian pine. In General, under natural conditions, the pyrogenic factor leads to the formation of young forest stands with a predominance of Scotch pine. As recommendations in the organization of forest management at the stage of marking of logging site it is necessary to allocate low-lying areas to simulate the dynamics of the refugium. On more flat areas there should be left as insemimates large old-aged pine, mainly with fire-drying. The number of seed trees left on the order of magnitude should exceed the normative indicators (at least 50–100 pieces per 1 ha).

Keywords: Western Siberia, middle taiga, ground and crowning fires, the rest of the forest stand, reforestation

Suggested citation: Debkov N.M., Ilintsev A.S. *Struktura i dinamika vozobnovleniya lesov na garyakh sredney taygi Zapadnoy Sibiri* [Burnt area in middle taiga of Western Siberia as an element of imitation of natural forest dynamics]. *Lesnoy vestnik / Forestry Bulletin*, 2018, vol. 22, no. 6, pp. 31–39. DOI: 10.18698/2542-1468-2018-6-31-39

References

- [1] Zagidullina A., Drobyshev I. *Sokhranenie i imitatsiya estestvennogo dinamicheskogo raznoobraziya lesnogo pokrova: obzor kontseptsiy i metodicheskikh podkhodov* [Conservation and imitation of natural dynamic diversity of Forest Cover: review of concepts and methodological approaches]. *Ustoychivoe lesopol'zovanie* [Sustainable forest management], 2017, no. 2 (50), pp. 22–31.
- [2] Klenk N., Bull G., Cohen D. What is the END (emulation of natural disturbance) in forest ecosystem management? An open question. *Canadian Journal of Forest Research*, 2008, v. 38, pp. 2159–2168.
- [3] Perera A.H., Buse L.J., Weber M.G. *Emulating Natural Forest Landscape Disturbances: Concepts and Applications*. Columbia University Press, 2004, p. 352.
- [4] Attiwill P.M. The disturbance of forest ecosystems: the ecological basis for conservative management. *Forest Ecology and Management*, 1994, v. 63 (23), pp. 247–300.
- [5] Bergeron Y., Leduc A., Harvey B.D., Gauthier S. Natural fire regime: a guide for sustainable management of the Canadian boreal forest. *Silva Fennica*, 2002, v. 36, no. 1, pp. 81–95.
- [6] Kuuluvainen T. Natural variability of forests as a reference for restoring and managing biological diversity in boreal Fennoscandia. *Silva Fennica*, 2002, v. 36, pp. 97–125.
- [7] Kuuluvainen T., Grenfell R. Natural disturbance emulation in boreal forest ecosystem management – theories, strategies, and a comparison with conventional even aged management. *Canadian Journal of Forest Research*, 2012, v. 42, pp. 1185–1203.
- [8] Fraver S., Jonsson B.G., Jonsson M., Esseen P.A. Demographics and disturbance history of a boreal old growth *Picea abies* forest. *Journal of Vegetation Science*, 2008, v. 19, pp. 789–798.
- [9] Rulcker C., Angelstam P., Rosenberg P. Natural forest fire dynamics can guide conservation and silviculture in boreal forests. *SkogForsk*, 1994, v. 2, pp. 1–4.
- [10] Khakimulina T., Fraver S., Drobyshev I. Mixed severity natural disturbance regime dominates in an old growth Norway spruce forest of northwest Russia. *Journal of Vegetation Science*, 2016, v. 27 (2), pp. 400–413.
- [11] Angelstam P., Kuuluvainen T. Boreal forest disturbance regimes, successional dynamics and landscape structures – a European perspective. *Ecological Bulletins*, 2004, v. 51, pp. 117–136.
- [12] Johnson E.A., Miyanishi K., Weir J.M.H. Old growth, disturbance, and ecosystem management. *Canadian Journal of Botany*, 1995, v. 73, pp. 918–926.
- [13] Kneeshaw D., Bergeron Y., Kuuluvainen T. Forest ecosystem structure and disturbance dynamics across the circumboreal forest. *The Sage handbook of biogeography*. Ed. A.C. Millington, M.B. Blumler, U. Schickhoff. London: Sage Publications, 2011, pp. 263–280.
- [14] Shorohova E., Kneeshaw D., Kuuluvainen T., Gauthier S. Variability and dynamics of old growth forests in the circumboreal zone: implications for conservation, restoration and management. *Silva Fennica*, 2011, v. 45, no. 5, pp. 785–806.
- [15] Yurchenko G.I., Turova G.I., Kuz'min E.A. *Posledstviya massovykh razmnozheniy sibirskogo shelkopryada v dal'nevostochnykh khvoynno-shirokolistvennykh lesakh* [Consequences of mass reproduction of the Siberian silkworm in the far Eastern coniferous-broad-leaved forests]. *Sbornik trudov Dal'NIILKh* [Proceedings of the Dal'NIILKh], no. 36, pp. 176–193.
- [16] Bond W.J., Keeley J.E. Fire as a global «herbivore»: the ecology and evolution of flammable ecosystems. *Trends Ecological Evolution*, 2005, v. 20, pp. 387–394.
- [17] Holliday N.J. Species responses of carabid beetles (Coleoptera: Carabidae) during post-fire regeneration on boreal forest. *Canadian Entomologist*, 1991, v. 123, pp. 1369–1389.
- [18] Grandstrom A. Fire management for biodiversity in the European boreal forest. *Scandinavian Journal of Forest Research*, 2001, no. 3, pp. 62–69.
- [19] Valendik E.N., Matveev P.M., Sofronov M.A. *Krupnye lesnye pozhary* [Large forest fires]. Moscow: Nauka, 1979, 198 p.
- [20] Gongal'skiy K.B. *Lesnye pozhary i pochvennaya fauna* [Forest fires and soil fauna]. Moscow: Tovarischestvo nauchnykh izdaniy KMK, 2014, 169 p.
- [21] *Proekt organizatsii i vedeniya lesnogo khozyaystva leskhoza «Vissarionov bor» Agentstva lesnogo khozyaystva po Tomskoy oblasti* [Project of organization and management of forestry district named «Vissarionov Bor» of Forestry Agency in the Tomsk region]. Tomsk: Agentstvo lesnogo khozyaystva Tomskoy oblasti, 2005, v. 1, b. 1, 238 p.
- [22] *Lesokhozyaystvennyy reglament Verkhneketskogo lesnichestva Tomskoy oblasti* [Forest management regulations of Verkhneketskiy forestry district in Tomsk region]. Tomsk: Agentstvo lesnogo khozyaystva Tomskoy oblasti, 2013, 285 p.
- [23] Borisenko E.P., Pasetkiy V.M. *Tysyacheletnyaya letopis' neobychnykh yavleniy prirody* [Millennial record of extraordinary phenomena of nature]. Moscow: Mysl', 1998, 524 p.
- [24] Siitonen J. Forest management, coarse woody debris and saproxylic organisms: fennoscandian boreal forests as an example. *Ecological Bulletins*, 2001, v. 49, pp. 11–41.

Authors' information

Debkov Nikita Mihaylovich — Cand. Sci. (Agriculture), Researcher of the Laboratory of Monitoring of Forest Ecosystems at the Federal State Budget Scientific Institution «Institute of Monitoring of Climatic and Ecological Systems of the Siberian Branch of the Russian Academy of Sciences», nikitadebkov@yandex.ru

Il'intsev Aleksey Sergeevich — Cand. Sci. (Agriculture), Researcher of Federal Budget Institution «Northern Research Institute of Forestry», a.ilintsev@narfu.ru

Received 14.06.2018.

Accepted for publication 15.10.2018.

УДК 582.28; 632.4

DOI: 10.18698/2542-1468-2018-6-40-48

ПАТОГЕННЫЕ И САПРОТРОФНЫЕ ГРИБЫ НА ЯСЕНЕ В НАСАЖДЕНИЯХ ТЕЛЛЕРМАНОВСКОГО ОПЫТНОГО ЛЕСНИЧЕСТВА

Г.Б. Колганихина

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

kolganikhina@rambler.ru

Приведен перечень патогенных и сапротрофных грибов, выявленных на ясене в Теллермановском опытном лесничестве (Воронежская обл., южная лесостепь), составленный на основе литературных источников и собственных данных автора. Исследования осуществляются в целях организации и ведения на территории опытного лесничества фитопатологического мониторинга ясеневых древостоев. По совокупным данным, в настоящее время на ясене насчитывается более 60 видов грибов, включая 11 не указывавшихся ранее для этой территории и семь известных здесь прежде (согласно литературным сведениям), но не упоминавшихся на этой породе. Большинство выявленных грибов являются лигнотрофными, филлотрофы представлены 11 видами. Патогенные грибы составляют примерно 35 %, из них 3 вида вызывают различные болезни листьев ясеня, 6 видов вызывают некрозные и некрозно-раковые заболевания ветвей и стволов, 13 видов являются возбудителями гнилевых болезней. Среди выявленных патогенов наиболее значимыми для насаждений опытного лесничества являются *Phyllactinia fraxini*, *Fomes fomentarius*, а также потенциально опасный инвазивный вид *Hymenoscyphus fraxineus*. Заболевание, вызываемое *H. fraxineus*, на данный момент не имеет здесь широкого распространения. В большей степени им поражается подлежащая удалению во время рубок ухода ясеневая поросль в молодых культурах дуба и вдоль просек. *H. fraxineus* является важным объектом фитопатологического мониторинга на территории опытного лесничества.

Ключевые слова: *Fraxinus excelsior*, патогенные грибы, грибные болезни, сапротрофные грибы, *Hymenoscyphus fraxineus*, широколиственные леса, южная лесостепь европейской части России, Воронежская область

Ссылка для цитирования: Колганихина Г.Б. Патогенные и сапротрофные грибы на ясене в насаждениях Теллермановского опытного лесничества // Лесной вестник / Forestry Bulletin, 2018. Т. 22. № 6. С. 40–48. DOI: 10.18698/2542-1468-2018-6-40-48

Теллермановское опытное лесничество (ТОЛ) Института лесоведения РАН является частью широко известного лесоведам Теллермановского леса — островного массива, расположенного на границе степи и лесостепи в восточной части Воронежской области. На протяжении многих десятилетий здесь изучаются различные аспекты функционирования широколиственных лесов в засушливых районах.

Обнаружение на территории опытного лесничества в 2015 г. инвазивного патогенного гриба *Hymenoscyphus fraxineus* (Т. Kowalski) Baral, Queloz & Hosoya [1], возбудителя гименосцифусового некроза ясеня, вызвало оправданное беспокойство, поскольку широкое распространение этого опасного заболевания может существенным образом сказаться на структуре древостоев и лесохозяйственной деятельности в ТОЛ и других районах, где ясень является наиболее распространенной и значимой в хозяйственном отношении лесообразующей породой. В этой связи ведение фитопатологического мониторинга ясеневых древостоев на территории опытного лесничества является актуальной задачей в современный период. Важной составляющей настоящих исследований является инвентаризация видового состава грибов, ассоциированных с ясенем, выявление пато-

генных видов и выяснение их роли в насаждениях ТОЛ. Значимость подобных исследований повышается также и в связи с малой изученностью грибной биоты региона в целом.

Цель работы

Цель настоящей работы — обобщение сведений о патогенных и сапротрофных грибах на ясене (*Fraxinus excelsior* L.) в ТОЛ, полученных в результате изучения литературных данных и в ходе собственных исследований автора, и составление аннотированного списка видов.

Материалы и методы

Некоторые сведения о грибах, обитающих на ясене в насаждениях ТОЛ, были получены А.Т. Вакиным [2] в ходе масштабного фитопатологического обследования Теллермановского лесного массива в 1945 и 1946 гг. Здесь ясень, особенно в молодом возрасте, обладает высокой жизнеспособностью, позволяющей ему успешно конкурировать с дубом. Однако в старших возрастах эта порода подвержена развитию стволовых гнилей и не отличается высоким качеством древесины. На этой породе Вакин упоминает 5 патогенных видов, преимущественно из числа дереворазрушающих базидиомицетов.

В 50-е гг. XX в. Э.А. Огановой [3–5] на территории опытного лесничества детально изучались раковые заболевания ясеня, в связи с чем была исследована и грибная биота ветвей. Помимо этого, ею были получены некоторые данные о возбудителях стволовых и комлевых гнилей, развивающихся на этой породе [4, 5]. В целом на ясене Огановой было выявлено примерно 27 видов микро- и макромицетов, включая идентифицированные только до рода, из них 11 видов способны паразитировать здесь на живых растениях.

Дополнительные сведения о сумчатых и несовершенных грибах на этой породе были получены во второй половине 1960-х гг. и в начале 1970-х гг. Н.А. Черемисиновым, который уделял большое внимание мало изученным на тот момент микроскопическим грибам, паразитирующим на ветвях и листьях древесных и травянистых растений, а также разлагающим опад и лесную подстилку. На ясене Черемисинов зафиксировал 9 видов, в том числе 2 патогенных вида [6–10].

Сведения о разнообразии базидиальных деструктивных грибов в насаждениях ТОЛ были пополнены в результате лесоводственно-фитопатологических исследований В.Г. Стороженко, П.А. Чеботарева, В.М. Котковой и В.В. Чеботаревой [11]. На ясене ими отмечено 11 видов, включая 4 патогенных.

Собственные сборы осуществляются автором настоящей работы в рамках фитопатологического мониторинга насаждений ТОЛ начиная с 2014 г. Отбор образцов проводится в ходе рекогносцировочного маршрутного обследования и детального обследования насаждений на пробных площадях в нагорной и пойменной частях лесного массива в разные сезоны года. Образцы грибов хранятся в личной коллекции автора, отдельные экземпляры переданы в Микологический гербарий Ботанического института им. В.Л. Комарова РАН. Молекулярно-фитопатологическая диагностика ряда образцов пораженных тканей листьев, ветвей и древесины ясеня выполнена в лаборатории генетики и биотехнологии Института леса НАН Беларуси.

Результаты и обсуждение

На текущий момент на ясене в насаждениях ТОЛ зарегистрировано более 60 видов грибов, 55 из них идентифицировано до вида. Согласно литературным данным [2–11], в разные периоды исследований на этой породе было отмечено 37 видов. При проведении собственных сборов этот список пополнился еще 18 видами (о чем частично уже сообщалось в работах [12, 13]), включая 11 ранее не указывавшихся для территории ТОЛ (далее они отмечены знаком *) и семь известных для данного объекта по литературным источникам, но прежде не упоминавшихся на ясене (далее они отмечены знаком *).

Ниже приводится аннотированный перечень грибов, выявленных когда-либо на этой породе в насаждениях ТОЛ и идентифицированных до вида. Их названия приведены в соответствии с базой данных Index Fungorum (БД IF) [14], дополнительно указаны синонимичные названия, упоминаемые в цитируемой литературе. В списке сначала рассмотрены филлотрофные (патогенные, затем сапротрофные) виды, далее лигнотрофные (патогенные, затем сапротрофные) виды.

Филлотрофные грибы представлены 11 видами, из которых 3 вида являются патогенными и вызывают болезни разного типа, большая же их часть развивается сапротрофно на листовом опаде.

*! *Phyllactinia fraxini* (DC.) Fuss. — возбудитель мучнистой росы ясеня, идентифицирован методом ДНК-анализа при исследовании образцов пораженных листьев [1]. Н.А. Черемисинов [6–8] на ясене отмечал *Phyllactinia suffulta* Sacc. f. *fraxini* DC. (в БД IF такая форма не значится). Точно утверждать, идет ли речь об одном и том же виде или все же о разных, не представляется возможным, однако судя по сходству автора формы, приводимой Черемисиновым, и автора базиса (*Erysiphe fraxini* DC.), можно предположить, что это тот же самый вид. Симптомы заболеваний, вызываемых *Ph. fraxini* и тем видом, который упоминает Черемисинов, схожи между собой. Наблюдая гриб в снытево-осоковой ясеневой и снытевой ясеневой дубравах [6, 7], Черемисинов обращает внимание на большую вредоносность патогена, отмечает, что в низких и влажных местах болезнь развивается особенно сильно и наблюдается в ТОЛ ежегодно, поражая листья всего дерева [8]. В 2014–2016 гг. мучнистая роса периодически встречалась нами в нагорной части леса, но степень ее развития была весьма незначительной. Заболевание местами заметно проявлялось на молодом подросте ясеня к концу вегетационного периода 2017 г. Примерно та же картина наблюдалась и в начале сентября 2018 г. Болезнь встречалась повсеместно (также и в пойме) на молодых ясенях, но крайне неравномерно. Наиболее сильное развитие мучнистого налета было отмечено в нагорных насаждениях на отдельных совсем молодых растениях (особенно порослевого происхождения), произрастающих на открытых участках. В этих же условиях листва в кронах подроста постарше (высотой примерно 4 м) частично также была поражена мучнистой росой, однако в этом случае на верхней поверхности листьев явно выраженного белого налета не наблюдалось, тогда как на нижней стороне можно было видеть массовое развитие клейстотеций патогена. В кронах взрослых деревьев явного белого налета на листьях не просматривалось.



Рис. 1. Апотеции *Hymenoscyphus fraxineus* на черешках прошлогодних листьев ясеня
 Fig. 1. Discocarps of *Hymenoscyphus fraxineus* on leafstalks of last year's ash leaves

Passalora fraxini (DC.) Arx [= *Cercospora fraxini* (DC.) Sacc.] — возбудитель коричневой пятнистости листьев ясеня, обнаружен Н.А. Черемисиновым на опавших листьях [10].

*!*Hymenoscyphus fraxineus* (Т. Kowalski) Baral, Queloz & Hosoya — возбудитель гименосцифусового (халарового) некроза ясеня, развивается на живых листьях, ветвях и стволах ясеня в нагорных и пойменных насаждениях, инвазивный вид; идентификационный номер депонированного в геномном банке NCBI изолята — KX389179 [1]. На стволах молодых деревьев некротические пятна впоследствии нередко преобразовываются в закрытые, затем полукруглые и открытые неступенчатые раковые раны с выраженными в той или иной степени валиками каллуса по краям. Интенсивность усыхания кроны напрямую зависит от степени развития некрозов коры и их локализации на стволах. Однако нами зафиксирован единственный случай сохранения жизнеспособности дерева на протяжении нескольких лет при наличии многочисленных ран, расположенных с разных сторон по всему стволу, начиная от комля, и окольцовывающих его местами более чем на 2/3 по окружности. Сумчатое спороношение гриба можно наблюдать на черешках и крупных жилках прошлогодних листьев в июне–сентябре (рис. 1). В настоящее время катастрофической ситуации на территории ТОЛ не наблюдается, однако с момента первого обнаружения болезнь проявилась более заметно. В большей степени заболевание распространено в молодых



Рис. 2. Плодовые тела *Marasmius epiphyllus* на черешках прошлогодних листьев ясеня
 Fig. 2. Carposomes of *Marasmius epiphyllus* on leafstalks of last year's ash leaves

культурах дуба на порослевом ясене, который подлежит удалению во время рубок ухода, и на ясеневой поросли вдоль просек.

*!*Venturia fraxini* Aderh. идентифицирован в результате ДНК-анализа фрагментов некротических участков на живых листьях, роль этого гриба в их образовании не ясна.

Ниже представлены некоторые сведения о филлотрофных грибах-сапротрофах. На ясеневых листьях летнего опада отмечены *Alternaria alternata* (Fr.) Keissl. (= *Alternaria tenuis* Nees) [6] и *Epicoccum neglectum* Desm. [10]. В подстилке на перезимовавших листьях ясеня зафиксированы *Mycosphaerella maculiformis* (Pers.) J. Schröt., *Ramularia endophylla* Verkley & U. Braun, морфологически близкий к *H. fraxineus* сапротрофный вид *Hymenoscyphus albidus* (Gillet) W. Phillips [as 'Hymenoscypha albida'] (отмечен на уже полуразложившихся листьях), *Colletotrichum dematium* (Pers.) Grove (= *Vermicularia dematium* (Pers.) Fr.) (отмечен на черешках листьев на третий год после опадения) [10] и *!*Marasmius epiphyllus* (Pers.) Fr. (рис. 2). Последний зафиксирован нами на черешках прошлогодних и более старых листьев в нагорной части лесного массива в осенний период (02.09.2016 и 04.09.2016, Колганихина, опр. Морозова).

Большинство выявленных грибов являются лигнотрофными (45 видов). Среди них 6 видов вызывают некротические и некротико-раковые заболевания ветвей и стволов ясеня, они перечислены ниже, исключая уже упомянутый *H. fraxineus*.

Endoxylina stellulata Romell — возбудитель эндоксилинового рака стволов и ветвей ясеня [5]. Следует заметить, что в более ранней публикации Э.А. Оганова [3], вероятно, первоначально опираясь на работу А.В. Бараня [15], в качестве возбудителя этого заболевания указывала гриб *Endoxylina astroidea* (Fr.) Romell (его современное название — *Eutypa astroidea* (Fr.) Rappaz). В советской и российской микологической и фитопатологической литературе употребляются оба названия [16–19], в некоторых микологических сводках *Endoxylina stellulata* фигурирует как синонимичное *Endoxylina astroidea* [18]. Согласно БД IF и *E. stellulata*, и *E. astroidea* являются самостоятельными таксонами. Однако для получения полной ясности по данному вопросу необходимо проведение специального номенклатурного исследования. По наблюдениям Огановой, эндоксилиновым раком поражаются деревья разного возраста, ослабленные неблагоприятными условиями произрастания (особенно сильно это заболевание было распространено в древостоях на солонцеватых почвах, наименее подходящих для ясеня в пределах данного лесного массива) либо отставшие в росте угнетенные деревья [3–5]. Больные растения обычно усыхают при окольцовывании стволов патогеном или ломаются от ветра. Гриб был отмечен также на ветвях, отмирающих в процессе очищения стволов от сучьев. В настоящее время это заболевание не имеет столь широкого распространения в насаждениях ТОЛ.

Libertella fraxinea Оганова вызывает некроз ветвей ясеня [3, 5]. Э.А. Оганова выделила этот гриб в чистую культуру из аскоспор *Endoxylina stellulata*, а также из гнили, зараженной от материнского пня поросли и стволов с раковыми язвами, что дало ей возможность считать *L. fraxinea* несовершенной стадией *E. stellulata* [3, 5]. В известных микологических сводках *L. fraxinea* также упоминается как анаморфа либо *E. stellulata* [17], либо *E. astroidea* [18], но в БД IF этот вид значится как самостоятельный таксон. С учетом вышесказанного, вопрос о возбудителях эндоксилинового рака и их вредоносности требует дополнительного изучения.

Hysterographium fraxini (Pers.) De Not. — возбудитель гистерографиевого некроза ветвей ясеня [3, 6]. Гриб поражает преимущественно живые, но ослабленные ветви, отмирающие в процессе очищения стволов от сучьев, но может поражать и здоровые, довольно обычен на усыхающей поросли и усыхающих вершинах, был отмечен только в молодняках [3, 4].

Strickeria trubicola (Fuckel) G. — возбудитель некрозно-ракового заболевания стволов и ветвей, или стрикериевого рака [3, 4]. Согласно наблюдениям Э.А. Огановой [4], этот гриб не-

редко развивается на мертвых и отмирающих ветвях, не причиняя вреда деревьям, а наоборот, способствуя очищению ствола от сучьев. Однако при ослаблении растений, часто связанном с деятельностью человека, гриб проявляет патогенные свойства и способен поражать кору, камбий и заболонную древесину у молодых стволиков, вызывая засыхание ветвей и образование язв. В прежние времена на территории ТОЛ стрикериевый рак встречался только в молодняках, причем преимущественно в древостоях на темно-серых и серых лесных почвах.

Valsa cypri (Tul.) Tul. & C. Tul. (= *Cytophoma pruinosa* (Fr.) Höhn., *Cytospora pruinosa* (Fr.) Sacc.) — возбудитель вальсового (цитофомового) некроза ветвей ясеня [3, 4]. Развивается на побегах, ветвях и стволах молодых деревьев, приводит к засыханию ветвей и побегов, образованию раковых язв на стволах. Этот гриб, как и два предыдущих, способен паразитировать лишь при ослаблении растений и был отмечен ранее только в молодняках [4]. В современный период *V. cypri* — это один из наиболее распространенных возбудителей некрозов ветвей ясеня. Данный гриб (его несовершенная стадия) нередко развивается на ветвях деревьев, ослабленных гименосцифусовым некрозом.

Возбудителями гнилевых болезней являются 13 видов. Они характеризуются разной степенью паразитической активности и вредоносностью в ясеневых древостоях ТОЛ.

*!***Aurantiporus fissilis*** (Berk. & M.A. Curtis) H. Jahn ex Ryvarden отмечен на стволах живых ясеней (как правило, в местах морозобойных трещин (рис. 3). Вызывает белую гниль. Политрофный вид, встречается редко.

Fomes fomentarius (L.) Gillet отмечен на стволах живых ясеней (иногда в местах морозобойных трещин), в единичных случаях на пнях и валеже. Ранее *F. fomentarius* на ясене указывали А.Т. Вакин [2] и Э.А. Оганова [4]. Вакиным было отмечено, что на этой породе данный гриб ведет паразитический образ жизни, поражая еще жизнеспособные, неотмирающие деревья. Оганова отнесла его к наиболее часто встречающимся на ясеневых возбудителям стволовых гнилей. У пораженных деревьев снижается прирост, но даже при сильном развитии гнили в стволах они не погибают [4]. Гриб вызывает белую мраморную ядрово-заболонную гниль. Политрофный вид, в насаждениях ТОЛ встречается очень часто на разных породах и субстратах.

Inonotus hispidus (Bull.) P. Karst. (= *Polyporus hispidus* (Bull.) Fr.) развивается в стволах, обычно в зоне живых сучьев [2]. По наблюдениям Э.А. Огановой [4], гриб неизбежно приводит к усыханию деревьев, так как он поражает перифе-



Рис. 3. Плодовое тело *Aurantiporus fissilis* на живом стволе ясеня в области морозобойной трещины

Fig. 3. Basidiocarps of *Aurantiporus fissilis* on the live ash trunk in the field of the frost crack

рийные слои заболони и камбий. В прежние годы он рассматривался как один из наиболее часто встречающихся возбудителей стволовых гнилей ясеня [2, 4]. Вызывает белую гниль.

**Inonotus obliquus* (Fr.) Pilát и **Oxyporus populinus* (Schumach.) Donk выявлены в стволах живых ясеней в результате ДНК-анализа фрагментов ядер с признаками гнили. Первый вызывает белую ядровую гниль, второй — желтовато-белую ядровую гниль.

Laetiporus sulphureus (Bull.) Murrill (= *Polyporus sulphureus* (Bull.) Fr.) ранее трижды был зафиксирован на ясене А.Т. Вакиным [2], в одном из этих случаев — на свежем буреломе. В недавнее время на этой породе он был отмечен В.Г. Стороженко [11]. Вызывает красно-бурую ядровую гниль стволов. Политрофный вид, в насаждениях ТОЛ встречается часто.

Sarcodontia spumea (Sowerby) Spirin (= *Spongipellis spumeus* (Sowerby) Pat.) в литературе упоминается как факультативный сапротроф,

встречается периодически [11]. Вызывает белую центральную, активно развивающуюся гниль, в результате чего нередко образуется дупло [20].

Spongipellis litschaueri Lohwag (= *Polyporus litschaueri* (Lohwag) Bondartsev) при жизни дерева развивается в ядровой части ствола и вызывает в ней твердую коричневую гниль, но после валки дерева может переходить в заболонь [4]. По наблюдениям Э.А. Огановой [4], плодовые тела этого трутовика на живых ясенях не образуются, вид был установлен ею с помощью чистых культур. Однако плодовые тела гриба нередко формируются на залежавшихся ясеневых кряжах и валеже [2]. М.А. Бондарцева [20] упоминает название *S. litschaueri* в числе синонимичных *Spongipellis delectans* (Peck) Murrill и отмечает, что этот гриб вызывает активно развивающуюся белую (не коричневую, как описывает Оганова) центральную гниль. Современные исследования показали, что это разные таксоны [21].

Следующие три патогена развиваются на живых деревьях как раневые паразиты.

Ceriporus squamosus (Huds.) Quél. (= *Polyporus squamosus* (Huds.) Fr.) на ясене в ТОЛ отмечен В.Г. Стороженко [11]. Вызывает белую ядровую гниль стволов.

Daldinia concentrica (Bolton) Ces. & De Not. нередко встречается на стволах жизнеспособных молодых ясеней, приурочен к механическим ранам, возникшим в результате повреждения коры крупными животными. Ранее на ясене гриб упоминался Э.А. Огановой [3], которая отмечала случаи перехода *D. concentrica* к паразитическому образу жизни. На молодых деревьях, согласно ее наблюдениям, гриб может распространяться от поврежденных участков на живую часть ствола, поражать луб, камбий и периферические слои древесины, образуя сухобочины и белую заболонную гниль. Политрофный вид, в насаждениях ТОЛ встречается нередко.

Peniophora cinerea (Pers.) Cooke — гриб, обычно сапротрофно развивающийся на ветвях, дважды был зафиксирован на живых стволах молодых ясеней [3]. В обоих случаях его развитие привело к образованию закрытых раковых язв, при этом гриб распространился не только в отмершей коре раны, но поразил также камбий и древесину. Вызывает белую гниль.

Согласно литературным данным, для территории ТОЛ на ясене известны еще два возбудителя комлевых гнилей и гнили корней, они приведены ниже.

Lentinus tigrinus (Bull.) Fr. упоминается Э.А. Огановой [4] как возбудитель комлевой гнили ясеня, неоднократно был выделен ею в чистую культуру, но в природе на пнях не встречался. Тот факт, что этот вид может обладать патогенными свойствами, безусловно, любопытен. Однако в ми-

кологических сводках и определителях указывается, что гриб обычно растет на отмершей древесине [22, 23], а также на старых ветвях (каких именно, не уточняется) [23]. Вызывает белую гниль.

Armillaria mellea s.l. упоминается Э.А. Огановой [4] как возбудитель комлевой гнили ясеня, неоднократно выделялся ею в чистую культуру, но в природе на пнях не встречался. Позже на этой породе опенок был зафиксирован В.Г. Стороженко [11]. Вызывает белую заболонную гниль корней и стволов.

Лигнотрофные грибы, выявленные на различного типа мертвом древесном субстрате, представлены 24 видами. На валежных ветвях ясеня в нагорной части лесного массива зафиксированы такие сумчатые грибы-сапротрофы, как *!*Acanthoiteschkea tristis* (J. Kickx f.) Nannf., *!*Cryptosphaeria eunomia* (Fr.) Fuckel, *!*Graphostroma platystomum* (Schwein.) Piroz. [as 'platystoma'] (= *Diatrype platystoma* (Schwein.) Berk.) [24].

По данным Э.А. Огановой [3], на ветвях ясеня способны развиваться следующие виды базидиальных макромицетов: *Crepidotus variabilis* (Pers.) P. Kumm. (= *Crepidotus variabilis* var. *subsphaerosporus* J.E. Lange), *Neofavolus alveolaris* (DC.) Sotome & T. Hatt. (= *Polyporus alveolaris* (DC.) Bondartsev & Singer), *Peniophora incarnata* (Pers.) P. Karst., *Porostereum spadiceum* (Pers.) Hjortstam & Ryvarden (= *Lloydella spadicea* (Pers.) Bres.), *Steccherinum ochraceum* (Pers.) Gray (= *Hydnum ochraceum* Pers.).

Далее перечислены виды, зафиксированные на более крупном древесном субстрате. Первые два представляют собой сумчатые грибы, остальные — различные базидиальные макромицеты.

*!*Fusarium solani* (Mart.) Sacc. выявлен в заболонной древесине ствола свежевetroвального дерева методами ДНК-анализа.

**Xylaria polymorpha* (Pers.) Grev. отмечен на пне спиленного ясеня в нагорной части широколиственного леса. Политрофный вид, встречается редко.

Auricularia mesenterica (Dicks.) Pers. зафиксирован на старом буреломе ясеня. Ранее на этой породе гриб был отмечен Э.А. Огановой [3] (на ветвях в древостоях 20...30 лет), а позже — В.Г. Стороженко [11]. Политрофный вид, встречается часто.

Cerioporus stereoides (Fr.) Zmitr. & Kovalenko (= *Datronia stereoides* (Fr.) Ryvarden) выявлен В.Г. Стороженко, встречается редко [11].

Crepidotus mollis (Schaeff.) Staude обнаружен на валежном стволе ясеня. Ранее был отмечен Э.А. Огановой [3] на ветвях ясеня в древостоях 20...30 лет. Политрофный вид, в насаждениях ТОЛ встречается нередко.

**Ganoderma applanatum* (Pers.) Pat. выявлен на пне спиленного дерева в нагорной части широколиственного леса. Политрофный вид, в насаждениях ТОЛ встречается нередко.

Hyphodontia spathulata (Schrad.) Parmasto на ясене отмечен В.Г. Стороженко [11], встречается редко.

Lentinus brumalis (Pers.) Zmitr. (= *Polyporus brumalis* (Pers.) Fr.) на ясене отмечен В.Г. Стороженко [11], встречается редко.

Metuloidea murashkinskyi (Burt) Miettinen & Spirin (= *Steccherinum murashkinskyi* (Burt) Maas Geest.) на ясене выявлен В.Г. Стороженко [11]. Политрофный вид, в насаждениях ТОЛ встречается нередко.

**Picipes badius* (Pers.) Zmitr. & Kovalenko обнаружен на буреломе ясеня. Политрофный вид, встречается нередко.

Phlebia rufa (Pers.) M.P. Christ. отмечен на стволе сухостойного ясеня в нагорной части широколиственного леса. Ранее на этой породе упоминается В.Г. Стороженко [11]. Политрофный вид, в ТОЛ встречается нередко.

*!*Pleurotus dryinus* (Pers.) P. Kumm. выявлен на валежном стволе ясеня в нагорной части широколиственного леса (30.09.2018, Колганихина, опр. Морозова), на данный момент это единственная находка.

*!*Rhodotus palmatus* (Bull.) Maire обнаружен на валежном стволе ясеня в нагорной части широколиственного леса (30.09.2018, Колганихина, опр. Морозова). Политрофный вид, в ТОЛ встречается нередко.

Schizophyllum commune Fr. отмечен на порубочных остатках ясеня (стволах и ветвях). Ранее на этой породе гриб был зафиксирован Э.А. Огановой [5], которая многократно выделяла его в чистую культуру из гнили стволиков в местах поражения эндоксилиновым раком, а также наблюдала плодовые тела *Sch. commune* в природе на стволиках с раковыми язвами. Политрофный вид, в насаждениях ТОЛ встречается часто.

Stereum hirsutum (Willd.) Pers. единожды был выделен Э.А. Огановой [5] в чистую культуру из гнили стволиков ясеня в местах поражения эндоксилиновым раком. Политрофный вид, в насаждениях ТОЛ встречается часто.

Stereum subtomentosum Pouzar на ясене отмечен В.Г. Стороженко [11]. Политрофный вид, на территории ТОЛ встречается часто.

**Trametes hirsuta* (Wulfen) Lloyd обнаружен на порубочных остатках ясеня (стволах и ветвях). Политрофный вид, встречается нередко.

**Trametes versicolor* (L.) Lloyd зафиксирован на пне от спиленного дерева. Политрофный вид, встречается нередко.

Приведенный для территории Теллермановского опытного лесничества перечень грибов на ясене, безусловно, не является исчерпывающим и будет пополняться в ходе дальнейших исследований. В частности, на этой породе можно ожидать находки таких видов, как *Fomitopsis pinicola* (Sw.) P. Karst. (= *Fomes pinicola* (Sw.) Fr.), *Pleurotus ostreatus* (Jacq.) P. Kumm. и *Neolentinus lepideus*

(Fr.) Redhead & Ginns (= *Lentinus lepideus* (Fr.) Fr.). Все они ранее были выявлены А.Т. Вакиным [2] на свежих лесосеках в соседних Карачанском и Грибановском лесничествах. Первые два вида известны и для ТОЛ, но на других породах.

Выводы

Накопленные материалы можно рассматривать как фрагмент информационной базы, формируемой в целях ведения на территории ТОЛ фитопатологического мониторинга и мониторинга биологического разнообразия экосистем широколиственных лесов. Эта база данных будет актуальной и для всего Теллермановского лесного массива. Всего в насаждениях ТОЛ на ясене сейчас насчитывается более 60 видов грибов. Возбудители болезней составляют примерно 35 %. Среди них наиболее значимыми для насаждений ТОЛ являются *Phyllactinia fraxini*, *Fomes fomentarius* и потенциально опасный инвазивный вид *Hymenoscyphus fraxineus*. Последний является важным объектом фитопатологического мониторинга на территории опытного лесничества. Настоящие исследования будут продолжены.

Автор глубоко признательна сотрудникам БИН РАН О.В. Морозовой и Е.С. Попову за консультации и помощь в определении ряда видов агарикоидных и сумчатых грибов, а также специалистам Института леса НАН Беларуси О.Ю. Баранову и С.В. Пантелеву за проведенную молекулярно-фитопатологическую экспертизу образцов поражений ясеня.

Список литературы

- [1] Колганихина Г.Б., Пантелеев С.В. Первое обнаружение опасного фитопатогенного гриба *Hymenoscyphus fraxineus* в Теллермановском лесу (южная лесостепь европейской части России) // Матер. II Международной научной конференции «Биология, систематика и экология грибов и лишайников в природных экосистемах и агрофитоценозах», г. Минск, д. Каменюки, Беларусь, 20–23 сентября 2016 г. Минск: Колорград, 2016. С. 115–118.
- [2] Вакин А.Т. Фитопатологическое состояние дубрав Теллермановского леса // Тр. Института леса АН СССР, 1954. Т. 16. С. 5–109.
- [3] Оганова Э.А. К биологии грибов, возбудителей раковых болезней ясеня // Сообщ. Ин-та леса АН СССР, 1954. Вып. 3. С. 54–63.
- [4] Оганова Э.А. Болезни стволов ясеня в зависимости от лесорастительных условий // Лесное хозяйство, 1958. № 6. С. 41–44.
- [5] Оганова Э.А. Эндоксилиновый («ложный») рак ясеня обыкновенного и его возбудитель // Сообщения лаборатории лесоведения, 1960. Вып. 2. С. 151–163.
- [6] Черемисинов Н.А. Синузии микромицетов некоторых дубрав Теллермановского леса // Микология и фитопатология, 1967. Т. 1. Вып. 6. С. 479–487.
- [7] Черемисинов Н.А. Мучнисто-росяные грибы как компоненты некоторых лесных биогеоценозов Теллермановского опытного лесничества Воронежской области // Вопросы биологии и экологии доминантов и эдификаторов растительных сообществ. Ученые записки (Пермский гос. пед. институт). Пермь: Пермский гос. пед. институт, 1968. Т. 64. С. 360–364.
- [8] Черемисинов Н.А. Мучнисто-росяные грибы Теллермановского опытного лесничества // Взаимоотношения компонентов биогеоценоза в лиственных молодняках / ред. А.А. Молчанов. М.: Наука, 1970. С. 182–199.
- [9] Черемисинов Н.А. Некоторые итоги исследований микрофлоры Теллермановского леса // Тез. докладов совещания «Итоги научных исследований по лесоведению и лесной биогеоценологии». Москва, Лаборатория лесоведения АН СССР, 17–19 декабря 1973 г. Вып. 2. М., ВНИИЛМ, 1973. С. 33–35.
- [10] Черемисинов Н.А. Грибы — активные разрушители лесного опада и подстилки // Дубравы лесостепи в биогеоценологическом освещении / ред. А.А. Молчанов. М.: Наука, 1975. С. 149–154.
- [11] Стороженко В.Г., Чеботарев П.А., Коткова В.М., Чеботарева В.В. Дереворазрушающие грибы и гнилевые фауны спелых и перестойных дубрав Теллермановского леса (Воронежская область) // Грибные сообщества лесных экосистем / под ред. А.В. Руоколайнен, А.В. Кикеевой. М.; Петрозаводск: Карельский научный центр РАН, 2018. Т. 5. С. 126–141.
- [12] Колганихина Г.Б. К изучению дендротрофных грибов Теллермановского леса // Современная микология в России: Матер. IV Съезда микологов России. Москва, Общественная национальная академия микологии, 12–14 апреля 2017 г. М.: Общественная национальная академия микологии, 2017. Т. 6. С. 217–219.
- [13] Колганихина Г.Б. Некоторые результаты изучения дендротрофной микобиоты Теллермановского леса // Биоразнообразие: подходы к изучению и сохранению: Матер. Международной научной конференции, посвященной 100-летию кафедры ботаники Тверского государственного университета. Тверь, Тверской государственный университет, 8–11 ноября 2017 г. Тверь: Тверской государственный университет, 2017. С. 165–168.
- [14] Index Fungorum. 2018. URL: <http://www.indexfungorum.org> (дата обращения 15.08.2018).
- [15] Бараней А.В. Ложный рак ясеня // Лесное хозяйство. 1940. № 4. С. 50–52.
- [16] Ванин С.И. Лесная фитопатология / под. общей ред. Д.В. Соколова. М.; Л.: Гослесбумиздат, 1955. 416 с.
- [17] Морочковский С.Ф., Зерова М.Я., Лавітська З.Г., Смицька М.Ф. Визначник грибів України. Т. 2. Аскоміцети. Київ: Наукова думка, 1969. 517 с.
- [18] Смицкая М.Ф., Смык Л.В., Мережко Т.А. Определитель пирениомицетов УССР. Киев: Наукова думка, 1986. 364 с.
- [19] Семенкова И.Г., Соколова Э.С. Фитопатология: учебник для вузов. М.: Академия, 2003. 480 с.
- [20] Бондарцева М.А. Определитель грибов России. Порядок афиллофоровые. СПб.: Наука, 1998. Вып. 2. 391 с.
- [21] Ryvarden L., Melo I. Poroid fungi of Europe. Oslo: Fungiflora, 2017. 431 p.
- [22] Сержанина Г.И. Шляпочные грибы Белоруссии: определитель и конспект флоры. Минск: Наука и техника, 1984. 407 с.
- [23] Лессо Т. Грибы: определитель. М.: АСТ; Астрель, 2003. 304 с.
- [24] Колганихина Г.Б. Сумчатые и несовершенные грибы — консорты широколиственных пород в насаждениях Теллермановского опытного лесничества // Грибные сообщества лесных экосистем / под ред. А.В. Руоколайнен, А.В. Кикеевой. М.; Петрозаводск: Карельский научный центр РАН, 2018. Т. 5. С. 57–67.

Сведения об авторе

Колганихина Галина Борисовна — канд. биол. наук, старший научный сотрудник Института лесоведения Российской академии наук (ИЛАН РАН), kolganikhina@rambler.ru

Поступила в редакцию 03.09.2018.

Принята к публикации 15.10.2018.

PATHOGENIC AND SAPROTROPH FUNGI ON ASH IN PLANTINGS OF THE TELLERMAN EXPERIMENTAL FOREST AREA

G.B. Kolganikhina

Institute of Forest Science Russian Academy of Sciences (IFS RAS), 21, Sovetskaya st., 143030, vil. Uspenskoye, Odintsovo area, Moscow reg., Russia

kolganikhina@rambler.ru

The list of the pathogenic and saprotroph fungi inhabiting on ash (*Fraxinus excelsior*) in the Tellerman experimental forest area (Voronezh region in Russia, south forest-steppe) is given in this article. It considers a literary data. Studies are carried out for the organization and conducting of phytopathological monitoring of ash forest stands in the Tellerman experimental forest area. According to aggregative data now more 60 species of fungi are known on ash, including 11 species, which were not mentioned earlier for this territory, and 7 species, which were known here before according to literary information, but they were not mentioned on this tree-species. The majority of the revealed fungi inhabit on branches, trunks and roots, 11 species are associated with leaves. Pathogenic fungi amount about 35 %, from them 3 species cause different diseases of ash leaves, 6 species cause necrosis and canker diseases of branches and trunks, 13 species are causative agents of rots. Among them *Phyllactinia fraxini*, *Fomes fomentarius* and also potentially dangerous invasive fungus *Hymenoscyphus fraxineus*, which does not have at the moment wide occurrence in these plantings are the most important. The last fungus is significant object of phytopathological monitoring in the Tellerman experimental forest area.

Keywords: *Fraxinus excelsior*, pathogenic fungi, fungal diseases, saprotroph fungi, *Hymenoscyphus fraxineus*, broad-leaved forests, south forest-steppe of the European part of Russia, Voronezh region

Suggested citation: Kolganikhina G.B. *Patogennyye i saprotrofnyye griby na yasene v nasazhdeniyakh Tellermanovskogo opytnogo lesnichestva* [Pathogenic and saprotroph fungi on ash in plantings of the Tellerman experimental forest area]. *Lesnoy vestnik / Forestry Bulletin*, 2018, vol. 22, no. 6, pp. 40–48. DOI: 10.18698/2542-1468-2018-6-40-48

References

- [1] Kolganikhina G.B., Pantelev S.V. *Pervoe obnaruzhenie opasnogo fitopatogenного гриба Hymenoscyphus fraxineus v Tellermanovskom lesu (yuzhnaya lesostep' evropeyskoy chasti Rossii)* [First report of the harmful phytopathogenic fungus *Hymenoscyphus fraxineus* in Tellermanovsky forest (south forest-steppe of the European part of Russia)]. *Mater. II Mezhdunarodnoy nauchnoy konferentsii «Biologiya, sistematika i ekologiya gibrov i lishaynikov v prirodnykh ekosistemakh i agrofitorstvenozakh»* [Proceedings of the 2d International Conference «Biology, systematic and ecology of fungi and lichen in natural and agricultural ecosystems»]. Minsk: Kolorgrad, 2016, pp. 115–118.
- [2] Vakin A.T. *Fitopatologicheskoe sostoyanie dubrav Tellermanovskogo lesa* [Phytopathologic condition of oak-woods of the Tellermanovsky forest]. *Trudy Instituta lesa AN SSSR* [Proceedings of Forest Institute Academy of Sciences USSR], 1954, v. 16, pp. 5–109.
- [3] Oganova E.A. *K biologii gibrov, vzbuditeley rakovykh bolezney yaseny* [To biology of fungi, causative agents of ash canker diseases]. *Soobshcheniya Instituta lesa AN SSSR* [Information of Forest Institute Academy of Sciences USSR], 1954, iss. 3, pp. 54–63.
- [4] Oganova E.A. *Bolezni stvolov yaseny v zavisimosti ot lesorastitel'nykh usloviy* [Diseases of ash trunks depending on forest vegetation conditions]. *Lesnoe khozyaystvo* [Forestry], 1958, no. 6, pp. 41–44.
- [5] Oganova E. A. *Endoksilinovyy («lozhnyy») rak yaseny obyknovennogo i ego vzbuditel'* [Endoxylina («false») canker of European ash and its pathogens]. *Soobshcheniya laboratorii lesovedeniya* [Information of Silvics Laboratory Academy of Sciences USSR], 1960, iss. 2, pp. 151–163.
- [6] Cheremisinov N.A. *Sinuzii mikromitsetov nekotorykh dubrav Tellermanovskogo lesa* [Synusia of micromycetes of some oak-woods of the Tellermanovsky forest]. *Mikologiya i fitopatologiya* [Mycology and Phytopathology], 1967, v. 1, iss. 6, pp. 479–487.
- [7] Cheremisinov N.A. *Muchnisto-rosyanye griby kak komponenty nekotorykh lesnykh biogeotsenozov Tellermanovskogo opytnogo lesnichestva Voronezhskoy oblasti* [Powdery mildews as components of some forest biogeocenoses of the Tellermanovsky experimental forest area in the Voronezh region]. *Voprosy biologii i ekologii dominantov i edifikatorov rastitel'nykh soobshchestv. Uchenye zapiski (Permskiy gos. ped. institut)* [Problems of biology and ecology of dominant and edifikator of plant association. Scientific Notes. Perm (Perm State Pedagogical Institute)]. Perm': 1968, v. 64, pp. 360–364.

- [8] Cheremisinov N.A. *Muchnisto-rosyanye griby Tellermanovskogo opytnogo lesnichestva* [Powdery mildews of the Tellermanovsky experimental forest area]. *Vzaimootnosheniya komponentov biogeotsenoza v listvennykh molodnyakakh* [Relationship of biogeocenosis components in deciduous young growths]. Ed. A.A. Molchanov. Moscow: Nauka, 1970, pp. 182–199.
- [9] Cheremisinov N.A. *Nekotorye itogi issledovaniy mikroflory Tellermanovskogo lesa* [Some results of study mycoflora of the Tellermanovsky forest]. *Tez. dokladov soveshchaniya «Itogi nauchnykh issledovaniy po lesovedeniyu i lesnoy biogeotsenologii»* [Abstracts of Papers of meetings «Results of scientific researches on silvics and forest biogeocenology»]. Moscow: VNIILM, 1973, iss. 2, pp. 33–35.
- [10] Cheremisinov N.A. *Griby – aktivnye razrushiteli lesnogo opada i podstilki* [Fungi — active destroyers of forest tree waste and ground litter]. *Dubrav lesostepi v biogeotsenoticheskom osveshchenii* [Forest-steppe oak-wood in holocoenotic elucidate]. Ed. A.A. Molchanov. Moscow: Nauka, 1975, pp. 149–154.
- [11] Storozhenko V.G., Chebotarev P.A., Kotkova V.M., Chebotareva V.V. *Derevorazrushayushchie griby i gnilevye fauty spelykh i perestoynykh dubrav Tellermanovskogo lesa (Voronezhskaya oblast')* [Tree damaging fungi and rottenness defects of mature and overmature oak-woods of the Tellermanovsky forest (Voronezh region)]. *Gribnye soobshchestva lesnykh ekosistem* [Fungal communities of forest ecosystems]. Ed. A.V. Ruokolaynen, A.V. Kikeeva. Moscow; Petrozavodsk: Karel'skiy nauchnyy tsentr RAN, 2018, v. 5, pp. 126–141.
- [12] Kolganikhina G.B. *K izucheniyu dendrotrofnikh gribov Tellermanovskogo lesa* [To studying of dendrotroph fungi of the Tellermanovsky forest]. *Sovremennaya mikologiya v Rossii: Mater. IV S''ezda mikologov Rossii. Moskva, 12–14 aprelya 2017 g.* [Modern mycology in Russia: Proceedings of the 4th Congress of Russian Mycologists]. Moscow: Natsional'naya akademiya mikologii, 2017, v. 6, pp. 217–219.
- [13] Kolganikhina G.B. *Nekotorye rezul'taty izucheniya dendrotrofnoy mikobioty Tellermanovskogo lesa* [Some results of dendrotroph mycobiota studying of the Tellermanovsky forest]. *Bioraznoobrazie: podkhody k izucheniyu i sokhraneniyu: Mater. Mezhdunarodnoy nauchnoy konferentsii, posvyashchennoy 100-letiyu kafedry botaniki Tverskogo gosudarstvennogo universiteta. Tver', 8–11 noyabrya 2017 g.* [Proceedings of the International Scientific Conference «Biodiversity: approaches to studying and preservation»]. Tver': TGU, 2017, pp. 165–168.
- [14] Index Fungorum. 2018. Available at: <http://www.indexfungorum.org> (accessed 15.08.2018).
- [15] Baraney A.V. *Lozhnyy rak yaseniya* [False canker of ash]. *Lesnoe khozyaystvo* [Forestry], 1940, no. 4, pp. 50–52.
- [16] Vanin S.I. *Lesnaya fitopatologiya* [Forest phytopathology]. Moscow; Leningrad: Goslesbumizdat, 1955, 416 p.
- [17] Morochkovs'kiy C.F., Zerova M.Ya., Lavits'ka Z.G., Smits'ka M.F. *Viznachnik gribiv Ukraïni. T.2. Askomitseti* [Handbook of the fungi of Ukrainian. Vol. 2. Ascomycetes]. Kiev: Naukova dumka, 1969, 517 p. (In Ukrainian)
- [18] Smitskaya M.F., Smyk L.V., Merezhko T.A. *Opredelitel' pirenomitsetov USSR* [Handbook of flask fungi of Ukrainian]. Kiev: Naukova dumka, 1986, 364 p.
- [19] Semenikova I.G., Sokolova E.S. *Fitopatologiya* [Phytopathology]. Moscow: Akademiya, 2003, 480 p.
- [20] Bondartseva M.A. *Opredelitel' gribov Rossii. Poryadok afilloforovye. Vyp. 2* [Handbook of the fungi of Russia. Order Aphyllophorales. Iss. 2]. St. Petersburg: Nauka, 1998, 391 p.
- [21] Ryvarden L., Melo I. *Poroid fungi of Europe. Synopsis Fungorum 37*. Oslo: Fungiflora, 2017, 431 p.
- [22] Serzhanina G.I. *Shlyapochnye griby Belorussii: opredelitel' i konspekt flory* [Pileate fungi of Belarus: Handbook and conspectus of flora]. Minsk: Nauka i tekhnika, 1984, 407 p.
- [23] Lesso T. *Griby: opredelitel'* [Fungi: Handbook]. Moscow: AST, Astrel', 2003, 304 p.
- [24] Kolganikhina G.B. *Sumchatye i nesovershennyye griby – konsorty shirokolistvennykh porod v nasazhdeniyakh Tellermanovskogo opytnogo lesnichestva* [Ascomycetes and imperfect fungi – consorts of broad-leaved tree-species in plantings of the Tellermanovsky experimental forest area]. *Gribnye soobshchestva lesnykh ekosistem* [Fungal communities of forest ecosystems]. Ed. A.V. Ruokolaynen, A.V. Kikeeva. Moscow; Petrozavodsk: Karel'skiy nauchnyy tsentr RAN, 2018, v. 5, pp. 57–67.

Author's information

Kolganikhina Galina Borisovna — Cand. Sci. (Biol.), Senior Scientific Worker at the Institute of Forest Science of the Russian Academy of Sciences, kolganikhina@rambler.ru

Received 03.09.2018.

Accepted for publication 15.10.2018.

НОВЫЕ ТИПЫ ЛАНДШАФТНЫХ КОМПЛЕКСОВ — ПЛЕНЭР-ЦЕНТРЫ

М.Ю. Лимонад, М.А. Харебина

ФГБОУ ВО «Государственный университет по землеустройству», Москва, 105064, ул. Казакова, д. 15

mlimonad@mail.ru

Обоснована актуальность создания новых типов ландшафтных комплексов — пленэр-центров. Она заключается в том, что в художественных образовательных учреждениях при прохождении летней практики, групповых занятий и т. д. нет условий для пленэрных работ. Для этих работ должны создаваться специальные ландшафтные объекты с организованными пленэр-студиями и пленэр-полигонами. Предложены типы ландшафтных рабочих мест художников на пленэре. Из таких мест формируются различные типы пленэр-центров и входящих в них планировочных элементов.

Ключевые слова: летняя практика, ландшафтный комплекс, ландшафтно-архитектурное сооружение, пленэр-центр, пленэр-студия, пленэр-полигон, рабочее место художника на пленэре

Ссылка для цитирования: Лимонад М.Ю., Харебина М.А. Новые типы ландшафтных комплексов — пленэр-центры // Лесной вестник / Forestry Bulletin, 2018. Т. 22. № 6. С. 49–55. DOI: 10.18698/2542-1468-2018-6-49-55

Начнем с парадокса. Пленэру несколько веков, а оборудованные и благоустроенные места для учебы на открытом воздухе так и не появились. Ландшафтная архитектура есть, а классов ландшафтных для будущих ландшафтных архитекторов и дизайнеров нет. Вот так и возникла актуальная тема создания ландшафтных образовательных комплексов для пленэрных занятий студентов художественных профессий.

Пленэр (франц. *pleinair* — «полный, открытый воздух») — способ работы художника, обычно живописца, с натуры на природе, на открытом воздухе. Считается, что, работая на пленэре, можно живо и полно передать особенности естественного освещения и световоздушную среду. Для ландшафтного архитектора или дизайнера появляется возможность натурального моделирования будущих произведений в естественных условиях.

История пленэрных занятий для скульпторов началась в глубокой древности и активно развивалась в античную эпоху в Древней Греции и Египте. Для живописцев ее отсчитывают «с середины XIX в., когда французские барбизонцы, английские преимпрессионисты и К. Коро стали писать непосредственно «на натуре», стараясь передать в живописи состояние природы в определенный момент дня и времени года» [1]. Поскольку все необходимое для работы художники переносили на себе, они обычно работали над небольшими картинами, которые можно было создать за один-два сеанса и при необходимости завершить в мастерской. В этот период формируется мобильное рабочее место художника, включавшее мольберт, ящик с красками, табурет и зонт для защиты от непогоды. Этот нехитрый скарб художники размещали в любом понравившемся месте, спонтанно формируя порядок установки этого имущества на природе.

«По-настоящему открыли эпоху пленэрной живописи и воплотили эту идеологию в своих картинах-этюдах французские импрессионисты второй половины XIX в. Художники К. Моне, Э. Дега, К. Писсарро, А. Сислей, О. Ренуар стремились писать «только по натуре». В 1891 г. К. Моне вступает на пленэре в соревнование с природой. Он создает серию «Тополя» на берегу реки Эпт, работая одновременно на нескольких мольбертах, стремясь запечатлеть оттенки цвета и освещения, непрерывно меняющиеся в зависимости от времени суток и погоды» — пишет О.А. Лясковская [2]. Это породило более сложную организацию рабочего места живописца и расширение занимаемой им площади.

В России, начиная со времени образования Академии художеств и поездок для обучения за рубеж, студенты и выпускники писали и рисовали на пленэре. Так работали В.А. Серов, В.Д. Поленов, И.И. Левитан, К.А. Коровин, И.Э. Грабарь и многие другие мастера кисти и карандаша. И сейчас работа на пленэре лежит в основе обучения начинающих живописцев и специалистов по ландшафту [3–6]. Однако до сих пор ландшафтная архитектура обходила стороной проблему отсутствия благоустроенных мест для групповых занятий и летней (а иногда и зимней) практики студентов художественных вузов и колледжей. Парадокс продолжает существовать в неизменном виде, как и спонтанное пленэрное место художника для работы на пленэре.

Такой подход приводит к избыточной нагрузке на ландшафт в местах постоянных групповых учебных занятий на пленэре. Потому авторы и предлагают создать специально обустроенные ландшафтно-архитектурные сооружения и комплексы для групповых занятий на пленэре [7]. Соответственно вводится новое понятие — «пленэр-центр».

Его определение обусловлено следующими значениями термина «пенэр»: 1) традиционная форма работы художника на природе; 2) обязательная форма обучения на природе по образовательному стандарту для художественных колледжей и вузов; 3) вид художественных фестивалей с включением выступлений, мастер-классов и занятий на природе.

Теперь можно сформулировать понятие «пенэр-центр». «Пенэр-центр» — это специализированный художественный учебный ландшафтно-архитектурный комплекс (ЛАК) по обеспечению организованного и благоустроенного надлежащим образом места для групповых занятий художников различных жанров на пенэре. Его назначение — создать комфортные условия для пенэрных работ средствами ландшафтной архитектуры. Ландшафтный комплекс такого рода в общем виде подразумевает создание объектов для обучения и фестивалей в сфере изобразительных искусств и ландшафтных дизайна и архитектуры. Ландшафтно-архитектурный комплекс — целостная сложная группа ландшафтно-архитектурных объектов, размещенная на единой территории и связанная общей системой коммуникационных путей.

Цель работы

Цель работы — обосновать актуальность создания новых типов ландшафтных комплексов — пенэр-центров.

Материалы и методы

Территория пенэр-центра в зависимости от его назначения делится на зоны для занятий живописью, рисунком, скульптурой, декоративно-прикладным искусством, макетированием и занятий по топиарию [8, 9], образованные ландшафтно-архитектурными сооружениями (ЛАС). ЛАС — это сооружение, имеющее ограждение или покрытие ограждающих поверхностей естественными грунтовыми, скальными и растительными масками и являющееся архитектурным и геопластическим элементом ландшафта, включающего данное сооружение. Внутреннее функционально организованное пространство ЛАС под открытым небом называется ложеманом.

Ложеман — это организованная геопластически и дендропластически открытая или крытая площадка, имеющая конкретное функциональное назначение и соответствующим образом оборудованная [10]. В состав ложеманов могут входить гrotы, крытые лоджии в грунтовых террасах или склонах откосов, в них может быть организовано укрытие от непогоды. Среди них появляются гrotы, становящиеся основными или дополнительными помещениями в составе ложеманов

ЛАС. Их следует оборудовать сейфовыми дверьми в случаях нахождения в них ценностей и инженерного оборудования, что превращает их в сейф-гrotы [11–13].

В состав ЛАС включаются и смотровые платформы для созерцания ландшафтных панорам [14, 15].

Соответственно, возникают различные специализированные типы ландшафтно-архитектурных сооружений — классов (ЛАС-классы). Их подразделяют на три основных вида: а) пенэр-студия для рисунка и живописи, б) пенэр-мастерская для макетирования и скульптуры, в) пенэр-полигон для натуральных работ по садово-парковому и скульптурному моделированию, по топиарной архитектурной и скульптурной практике.

Группы ЛАС-классов могут образовывать соответствующие функциональные зоны с включением в них необходимых обслуживающих зданий / помещений (преподавательские, выставочные, пункты питания, пункты проката инвентаря, киоски по продаже расходных материалов, убежища от непогоды, санузлы, мусоросборники) или сооружений с ложеманами — аналогами помещений, но открытыми в природу и выполненными в ландшафтных конструкциях и формах. Из зон могут быть сформированы специализированные или многофункциональные ландшафтно-архитектурные комплексы (ЛАК) пенэр-центров.

Пенэр-центр может иметь и площадки для различных видов зрелищного, или исполнительского искусства. Ведь древнегреческие театры были ландшафтными геопластическими сооружениями. Ландшафтные сооружения для исполнительского искусства могут образовывать и самостоятельные пенэр-центры. Это требует рассмотрения пенэр-центров по жанрам обслуживаемых ими видов искусства. Приведем перечень видов изобразительного и исполнительского искусства, для которых могут быть предназначены пенэр-центры.

Изобразительное искусство: 1) рисунок; 2) живопись; 3) скульптура (лед, камень, гипс); 4) дендропластика; 5) ландшафтное макетирование и моделирование; 6) топиарное искусство; 7) фотография; 8) ландшафтная архитектура; 9) геопластика.

Исполнительское искусство: 1) музыка; 2) театральное искусство; 3) концертное эстрадное искусство; 4) хореография.

Направления деятельности пенэр-центров представляются такими:

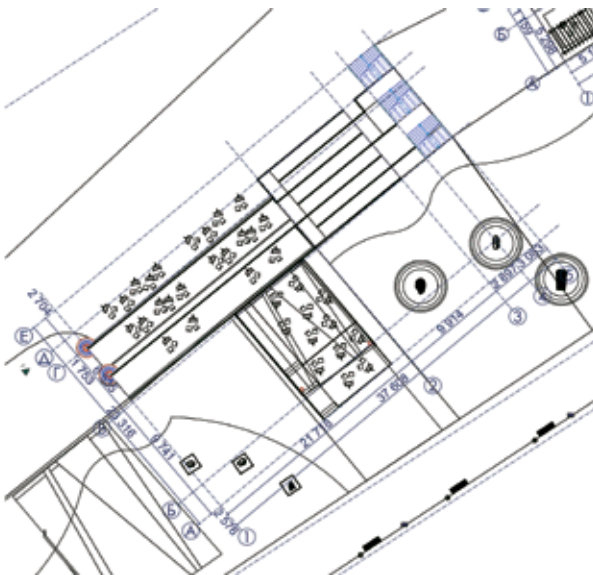
- групповые занятия студентов на пенэре;
- взаимодействие с художественными школами и училищами для проведения пенэров в качестве образовательной программы;
- проведение учебной практики;



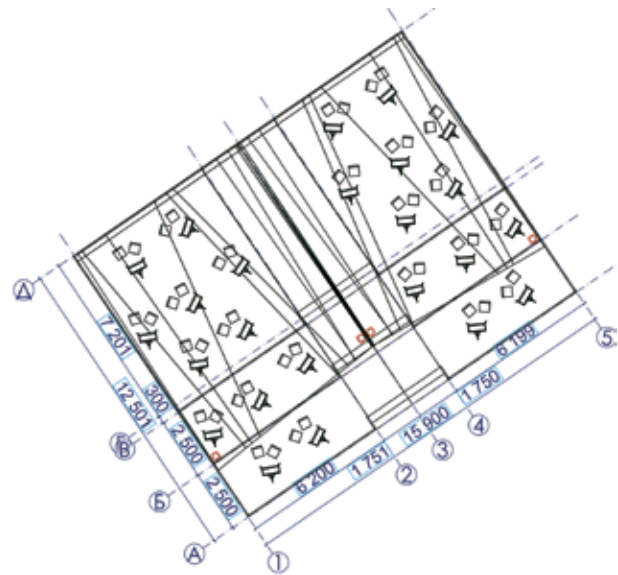
a



в



б

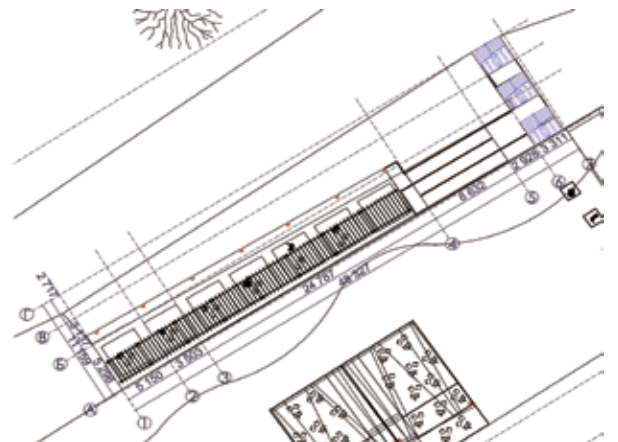


г

Рис. 1. Пленэр-студии для живописцев: *a, б* — на склоне (*a* — общий вид; *б* — план);
в, г — студия в крытом дубль-ложемане (*в* — общий вид; *г* — план)
Fig. 1. Plein Air studio for painters: *a, б* — on the slope (*a* — general view; *б* — plan);
в, г — studio in a covered double logement (*в* — general view; *г* — plan)



a



б

Рис. 2. Пленэр-мастерская для скульпторов на склоне: *a* — общий вид; *б* — план
Fig. 2. A workshop for sculptors on a slope: *a* — the General view of a workshop;
б — the Plan of a workshop

- студенческие и профессиональные пленэр-фестивали;
- проведение выставок в организованных условиях на природе.

Концепция проектирования пленэр-центров предусматривает возможность сочетания ландшафтной и капитальной архитектурных частей. К ландшафтной части относится создание рабочего места. Рабочими местами являются следующие категории ЛАС.

1. Пленэр-студия — ЛАС для живописцев на разных уровнях рельефа (рис. 1).
2. Пленэр-мастерская — ЛАС для скульпторов (рис. 2).
3. Пленэр-полигон — ЛАС для топиарного искусства (рис. 3).

К капитальной архитектурной части пленэр-центра относится сооружение зданий для содержания и обслуживания пленэр-центра.

Ландшафтная архитектура пленэр-центров имеет своей целью создать функциональные места и зоны для художественного образования и этюдных работ, подобные архитектурным, но в природном окружении. Это делается на территориях и земельных участках, где возведение зданий было бы неуместным. Применяемые для этого средства представляются объемно-про-



Рис. 3. Пленэр-полигон для топиарного искусства
Fig. 3. A workshop for topiary art

странственными — геопластика, дендропластика в соединении с малыми архитектурными формами и формами благоустройства.

В качестве эксперимента проведено эскизное проектирование многофункционального городского пленэр-центра в г. Коломне (рис. 4), где есть опыт регулярного проведения пленэр-фестивалей. Его гипотетическое расположение — вблизи исторического центра города на береговом склоне Москвы-реки, где он выходил бы к парковому пространству, развернутому на исторический центр. Это позволило бы проводить занятия по изображению природного окружения и архитектуры одновременно.



Рис. 4. Проект многофункционального пленэр-центра в г. Коломне (автор М.А. Харебина)
Fig. 4. The project of the multifunctional open-air center in the city of Kolomna (author M.A. Kharebina)

В ходе этой работы были определены требования, которые следует предъявлять к ландшафтным пленэр-центрам. Приведем наиболее важные из них.

Архитектурные ландшафты и входящие в них ЛАС и ЛАК проектируемых пленэр-центров должны быть безопасны и доступны для всех категорий пользователей, включая маломобильные группы населения.

Пленэр-центры должны быть спроектированы и построены таким образом, чтобы в процессе эксплуатации архитектурных ландшафтов, ландшафтно-архитектурных объектов (ЛАО), ЛАК и входящих в их состав зданий и сооружений исключалась возможность нанесения вреда здоровью пользователей и персонала, причинения ущерба имуществу физических и юридических лиц, затронутому деятельностью объектов ландшафтной архитектуры.

Строительные конструкции и основания лужаеманов и боскетов, их насыпей, валов, террас и ограждений, зданий или сооружений, малых архитектурных форм, каркасы и конструкции скульптур, конструкции пергол, трельяжей и произведений топиари, а также естественные и искусственные укрытия, гроты и зеленые насаждения должны обладать прочностью и устойчивостью [16–20]. Кроме того, должна исключаться возможность возникновения пожара, обеспечиваться предотвращение или ограничение опасности распространения низового или верхового огня и задымления боскетов, лужаеманов, их обитаемых частей, ЛАО, ЛАК, зданий или сооружений в их составе.

Входящие в состав пленэр-центров функциональные места и зоны, естественные или искусственные укрытия, скульптуры и произведения озеленения, в том числе произведения топиари, должны быть спроектированы таким образом, чтобы в процессе их строительства и эксплуатации не возникало угрозы оказания негативного воздействия на окружающую среду.

В заключение отметим, что места деятельности небольших групп художников, скульпторов и дизайнеров могут пластически выделяться в отдельные функциональные зоны в виде полужужеманов, лоджий, лож, балконов, ниш с соответствующей планируемым процессам формой.

Отдельные, хорошо видные группы деревьев следует проектировать так, чтобы по возможности образовывать характерные ориентиры для лучшей ориентации на территории. Близкие по облику ориентиры могут играть роль ландшафтных указателей, обозначая идентичные планировочные элементы и особенности сооружения или окружающей его территории. Это позволит студентам и художникам — участникам пленэров как фестивалей легче ориентироваться в мало знакомом им ландшафтном комплексе.

Выводы

Для создания пленэр-центров могут быть применены особо охраняемые природные территории — участки земли, водной поверхности и воздушного пространства над ними, где располагаются природные комплексы и объекты, которые имеют особое природоохранное, научное, культурное, эстетическое, рекреационное и оздоровительное значение, которые изъяты решениями органов государственной власти полностью или частично из хозяйственного использования и для которых установлен режим особой охраны. Таково гипотетическое расположение пленэр-центра в г. Коломне, эскизный проект которого был приведен в качестве примера: на охраняемой природной территории в исторической части города, куда именно и стремятся многие художники.

Пленэр-центры как произведения ландшафтной архитектуры могут и должны обладать художественной и культурной ценностью, что позволит признавать их объектами культурного наследия (памятниками истории и культуры). К этому авторы стремятся сами и призывают стремиться своих коллег.

Список литературы

- [1] Горкин А.П. Искусство. Современная иллюстрированная энциклопедия / ред. С.А. Романова. М.: Росмэн-Пресс, 2007. 312 с.
- [2] Лясковская О.А. Пленэр в русской живописи XIX в. М.: Искусство, 1966. 190 с.
- [3] Маслов Н.Я. Пленэр. М.: Просвещение, 1984. 112 с.
- [4] Кайдырова Л.Х. Пленэр. Практикум по изобразительному искусству. М.: Владос, 2012. 95 с.
- [5] Ермаков Г.И. Пленэр. М.: Прометей, 2013. 182 с.
- [6] Амелина И.В. Роль пленэра в процессе обучения студентов. Самара: Поволжский пед. институт, 2014. № 3 (4). С. 66–69.
- [7] Лимонад М.Ю. Учебный проект как архитектурное произведение // Актуальные проблемы архитектуры и дизайна: Сб. научных трудов преподавателей и молодых ученых Государственного университета по землеустройству / сост. С.В. Ильвицкая, Е.А. Булгакова. М.: ГУЗ, 2014. 254 с.
- [8] Горохов В.А. Городское зеленое строительство. М.: Стройиздат, 1991. 416 с.
- [9] Синянский И.А., Манешина Н.И. Типология зданий и сооружений. М.: Академия; Московские учебники, 2012. 224 с.
- [10] Лимонад М.Ю., Трубицына Н.А. Словарь современных архитектурно-ландшафтных терминов. М.: ГУЗ, 2014. 526 с.
- [11] Технический регламент о безопасности зданий и сооружений: Федеральный закон Российской Федерации от 30 декабря 2009 г. № 384-ФЗ. URL: http://www.consultant.ru/document/cons_doc_LAW_95720/ (дата обращения 24.05.2018).
- [12] Вершинин В.В. Землеустройство загрязненных территорий (экономика и организация): Дис. ... д-ра экон. наук. М.: ГУЗ, 2005. 359 с.
- [13] Залеская Л.С., Микулина Е.М. Ландшафтная архитектура. М.: Стройиздат, 1979. 237 с.

- [14] Трубицына Н.А., Лимонад М.Ю. О ландшафтном литературном языке // Архитектон. Известия высших учебных заведений, 2014. № 48. С. 30–37.
- [15] Трубицына Н.А., Лимонад М.Ю. Рекомендации начинающему ландшафтному архитектору. М.: ГУЗ, 2015, 316 с.
- [16] Ожегов С.С. История ландшафтной архитектуры: краткий очерк. М.: Стройиздат, 1993, 240 с.
- [17] Рыбалко К.Л. Принцип «интерьера» в дизайне городских садов Японии (на примере крупнейших городов Японии: Токио, Осаки, Саппоро) // Архитектон. Известия высших учебных заведений, 2014. № 45. URL: http://archvuz.ru/2014_1/17 (дата обращения 25.09.2018).
- [18] Сокольская О.Б., Теодоронский В.С., Вергунов А.П. Ландшафтная архитектура: специализированные объекты. М.: Академия, 2008. 224 с.
- [19] Трубицына Н.А. Ландшафты музеев-заповедников как предмет землеустроительной музеефикации // Землеустройство, кадастр и мониторинг земель, 2017. № 1. С. 53–58.
- [20] Лимонад М.Ю. Архитектура — искусство говорящих форм // Землеустройство, кадастр и мониторинг земель, 2017. № 6. С. 23–26.

Сведения об авторах

Лимонад Михаил Юрьевич — д-р архитектуры, профессор кафедры архитектуры архитектурного факультета ФГБОУ ВО «Государственный университет по землеустройству», mlimonad@mail.ru

Харебина Мария Аркадьевна — магистрантка архитектурного факультета ФГБОУ ВО «Государственный университет по землеустройству», mharebina@yandex.ru

Поступила в редакцию 14.08.2018.

Принята к публикации 29.10.2018.

NEW TYPES OF LANDSCAPE COMPLEXES — PLEIN AIR CENTRES

M.Yu. Limonad, M.A. Kharebina

The State University of Land Use Planning, 15, Kazakova st., Moscow, 105064, Russia

mlimonad@mail.ru

The urgency of creating new types of landscape complexes - open-air centers - is stated in the article. It lies in the fact that there are no conditions for open-air works at art education institutes for passing summer university practices, group classes, etc. For these works, special landscape objects with organized open-air studios and open-air polygons should be created. The types of landscape jobs of artists in the open air are proposed. From such places various types of open-air centers and planning elements entering into them are formed.

Keywords: summer practices, landscape complexes, landscape-architectural structures, open-air centers, open-air studios, open-air polygons, artists' jobs in the open-air

Suggested citation: Limonad M.Yu., Kharebina M.A. *Novye tipy landshafinykh kompleksov — plener-tsentry* [New types of landscape complexes — plein air centres]. *Lesnoy vestnik / Forestry Bulletin*, 2018, vol. 22, no. 6, pp. 49–55. DOI: 10.18698/2542-1468-2018-6-49-55

References

- [1] Gorkin A.P. *Iskusstvo. Sovremennaya illyustrirovannaya entsiklopediya* [Modern illustrated encyclopedia]. Ed. S.A. Romanov. Moscow: Rosmen-press, 2007, 312 p.
- [2] Lyaskovskaya O.A. *Plener v russkoy zhivopisi XIX v.* [Plein air in Russian painting XIX century]. Moscow: Iskusstvo [Art], 1966, 190 p.
- [3] Maslov N.Ya. *Plener* [Plein air]. Moscow: Prosveshchenie, 1984, 112 p.
- [4] Kaydyrova L.Kh. *Plener: Praktikum po izobrazitel'nomu iskusstvu* [Plein air Workshop on art]. Moscow: Vlados, 2012, 95 p.
- [5] Ermakov G.I. *Plener* [Plein air]. Moscow: Prometey [Prometheus], 2013, 182 p.
- [6] Amelina I.V. *Rol' plenera v protsesse obucheniya studentov* [The role of the plein air in the process of teaching students]. Samara: Povolzhskiy ped. institute, 2014, no. 3 (4), pp. 66–69.
- [7] Limonad M.Yu. *Uchebnyy projekt kak arkhitekturnoe proizvedenie* [Study project as an architectural work]. Aktual'nye problemy arkhitektury i dizayna: Sbornik nauchnykh trudov prepodavateley i molodykh uchenykh Gosudarstvennogo universiteta po zemleustroystvu [Actual problems of architecture and design: Scientific works of teachers and young scientists of the State University of Land Management]. Comps. S.V. Il'vitskaya, E.A. Bulgakova. Moscow: GUZ, 2014, 254 p.
- [8] Gorokhov V.A. *Gorodskoe zelenoe stroitel'stvo* [City green building]. Moscow: Stroyizdat, 1991, 416 p.
- [9] Sinyanskiy I.A., Maneshina N.I. *Tipologiya zdaniy i sooruzheniy* [Typology of buildings and structures]. Moscow: Akademiya; Moskovskie uchebniki [Academy; Moscow textbooks], 2012, 224 p.
- [10] Limonad M.Yu., Trubitsyna N.A. *Slovar' sovremennykh landshafino-arkhitekturnykh terminov* [Dictionary of modern landscape-architectural terms]. Moscow: GUZ, 2014, 653 p.

- [11] *Tekhnicheskiy reglament o bezopasnosti zdaniy i sooruzheniy: Federal'nyy zakon Rossiyskoy Federatsii ot 30 dekabrya 2009 g. № 384-FZ*. [Technical Regulations on the Safety of Buildings and Structures: Federal Law of the Russian Federation dated December 30, 2009, no. 384-FZ]. URL: http://www.consultant.ru/document/cons_doc_LAW_95720/ (accessed 24.05.2018).
- [12] Vershinin V.V. *Zemleustroystvo zagryaznennykh territoriy (ekonomika i organizatsiya): Dis. ... d-ra ekon. nauk* [Land management of contaminated areas (economics and organization): Diss. ... Dr. Sci. (Econ.)]. Moscow: GUZ, 2005, 359 p.
- [13] Zalesskaya L.S., Mikulina E.M. *Landshaftnaya arkhitektura* [Landscape architecture]. Moscow: Stroyizdat, 1979, 237 p.
- [14] Trubitsyna N.A., Limonad M.Yu. *O landshaftnom literaturnom yazyke* [On the landscape literary language]. Architecton. Izvestiya vysshikh uchebnykh zavedeniy [Architecton. News of Universities], 2014, no. 48, pp. 30–37.
- [15] Trubitsyna N.A., Limonad M.Yu. *Rekomendatsii nachinayushchemu landshaftnomu arkhitektoru* [Recommendations for a novice landscape architect]. Moscow: GUZ, 2015, 316 p.
- [16] Ozhegov S.S. *Istoriya landshaftnoy arkhitektury: kratkiy ocherk* [History of landscape architecture: a brief essay]. Moscow: Stroyizdat, 1993, 240 p.
- [17] Rybalko K.L. *Printsip «inter'era» v dizayne gorodskikh sadov Yaponii (na primere krupneyshikh gorodov Yaponii: Tokio, Osaki, Sapporo)* [The principle of «interior» in the design of urban gardens in Japan (for example, the largest cities in Japan: Tokyo, Osaka, Sapporo)] Architecton. Izvestiya vysshikh uchebnykh zavedeniy [Architecton. News of Universities], 2014, no. 45. URL: http://archvuz.ru/2014_1/17 (accessed 25.09.2018).
- [18] Sokol'skaya O.B., Teodoronskiy V.S., Vergunov A.P. *Landshaftnaya arkhitektura: spetsializirovannye ob'ekty* [Landscape architecture: specialized objects]. Moscow: Akademiya [Academy], 2008, 224 p.
- [19] Trubitsyna N.A. *Landshafty muzeev-zapovednikov kak predmet zemleustroitel'noy muzeifikatsii* [Landscapes of museum-reserves as a subject of land-management museification]. *Zemleustroystvo, kadastr i monitoring zemel'* [Land Management, Cadastre and Monitoring of Lands], 2017, no. 1, pp. 53–58.
- [20] Limonad M.Yu. *Arkhitektura — iskusstvo govoryashchikh form* [Architecture is the art of speaking forms] *Zemleustroystvo, kadastr i monitoring zemel'* [Land Management, Cadastre and Land Monitoring], 2017, no. 6, pp. 23–26.

Authors' information

Limonad Mikhail Yur'evich — Dr. Sci (Architecture), Professor of the State University of Land Use Planning, mlimonad@mail.ru

Kharebina Mariya Arkad'evna — Master student of the Faculty of Architecture of the State University of Land Use Planning, mharebina@yandex.ru

Received 14.08.2018.

Accepted for publication 29.10.2018.

ВЛИЯНИЕ ЭКОЛОГИЧЕСКИХ ФАКТОРОВ НА РОСТ И РАЗВИТИЕ НЕКОТОРЫХ ВИДОВ РОДА *PAEONIA* L., ИСПОЛЬЗУЕМЫХ ДЛЯ ОЗЕЛЕНЕНИЯ ГОРОДОВ

О.А. Рудая

Ботанический сад Биологического факультета МГУ им. М.В. Ломоносова, 119991, г. Москва, Ленинские горы, д. 1/12
olgaalexrud.@yandex.ru

Озеленение городов имеет важное значение не только в России, но и во всех развитых странах мира. Растения способствуют оздоровлению окружающей среды, поглощают пыль и шум, кроме того, обладают эстетическими качествами. На формирование и развитие городских зеленых насаждений оказывают влияние экологические факторы данного региона. В числе климатических характеристик первостепенное значение имеют количество атмосферных осадков, а также температурный, почвенный и водный режимы. С ростом городов и поселков возникает необходимость решения вопросов их декоративного оформления с использованием новых, интродуцированных, растений, адаптированных к конкретным экологическим условиям среды. Примером могут служить сорта и виды рода пион (*Paeonia* L.). В статье приводятся данные о пяти видах рода *Paeonia* L. (*P. tenuifolia* L., *P. suffruticosa* Andrews, *P. lactiflora* Pall., *P. anomala* L., *P. mlokosewitschii* Lomak.), высаженных в юго-западной (гг. Майкоп, Мичуринск) и северо-западной (гг. Петрозаводск, Москва) частях России. Изучено воздействие климатических и эдафических факторов на дикорастущие виды пионов, произрастающих в различных географических регионах. Выявлены перспективные виды рода *Paeonia* L. для озеленения городов: Петрозаводска, Москвы, Мичуринска, Майкопа.

Ключевые слова: экология, экологические факторы среды, озеленение городов, адаптация растений, виды рода *Paeonia* L.

Ссылка для цитирования: Рудая О.А. Влияние экологических факторов на рост и развитие некоторых видов рода *Paeonia* L., используемых для озеленения городов // Лесной вестник / Forestry Bulletin, 2018. Т. 22. № 6. С. 56–64. DOI: 10.18698/2542-1468-2018-6-56-64

Одной из основных проблем современной экологии является изучение адаптации видов к комплексу экологических факторов. В природной и городской среде защитные адаптационные механизмы растений не просто обеспечивают выживание организма, а направляют растения на реализацию онтогенетической программы при длительном воздействии экологических и антропогенных факторов. Экологические факторы оказывают большое влияние на растительный организм, так как воздействуют на растения не каждый сам по себе, а во всей совокупности.

Адаптация растений к различным условиям местообитания проявляется не только в физиологических и анатомических особенностях строения органов, но и во внешних морфологических признаках. В процессе адаптации растения приспосабливаются к новым почвенно-климатическим условиям, агротехническим и биоценотическим факторам, что является составной частью эволюционного развития. Продолжительность и успех адаптационного процесса зависит, в свою очередь, от биологических особенностей вида (способности к различным типам размножения — семенному и вегетативному, разнообразия форм внутривидовой изменчивости), от исходного числа особей при интродукции и степени репрезентативности географических экотипов [1].

Проблема приспособленности растений к различным экологическим факторам изучалась как зарубежными [2–9], так и отечественными учеными [10–14].

Методологической основой исследований адаптации растений к абиотическим и биотическим факторам среды являются синтетическая теория эволюции и вытекающие из этой теории экологические законы, закономерности, правила и явления, а также аксиома Ч. Дарвина [2] о приспособленности вида к экологическим факторам среды и формировании его естественного ареала.

Основами теории адаптации растений можно считать идеи Н.И. Вавилова [10] о виде как подвижной исторически сложившейся системе внутривидовых категорий, локализованных на площади его ареала и изолированных друг от друга экологическим барьером. В процессе эволюции вид расширяет свой ареал и, как указывает Вавилов, «...дифференцируясь в пространстве и подчиняясь действию естественного отбора, основной потенциал линнеевского вида обособляет группу наследственных форм, наиболее соответствующей данной среде» [11].

Влияние климатических факторов на жизнь растений также изучал и выдающийся русский селекционер И.В. Мичурин. Он был убежден, что окружающая среда воздействует на наследственность организма, считая, что это влияние

может быть особенно сильным в определенные моменты жизни растений, а также для определенных типов организма, подобных, например, гибридам. Он писал: «Чем дальше отстоят между собой пары скрещиваемых растений-производителей по месту их родины и условиям их среды, тем легче приспосабливаются к условиям среды новой местности гибридные сеянцы» [12].

А.Л. Тахтаджян в своих работах [13, 14–17] упоминает о влиянии экологических и генетических факторов на происхождение покрытосеменных растений. Он считает, что большинство сохранившихся до наших дней примитивных покрытосеменных, произрастающих в горах тропических и субтропических стран, являются типичными горными растениями.

В настоящее время в связи с ростом и развитием городов становится актуальным изучение адаптации видов к условиям урбанизированной среды. Многие виды рода *Paeonia* L. в результате воздействия лимитирующих факторов находятся под угрозой исчезновения. С целью сохранения генофонда возникает необходимость изучения не только их ценопопуляционных характеристик, но и эколого-физиологических, а также морфологических особенностей.

Исследование воздействия экологических факторов на развитие некоторых видов рода *Paeonia* L. позволит вскрыть механизм экологической устойчивости и возможности корректирования условий их произрастания в городской среде.

Цель работы

Основной целью исследований является поиск диагностических показателей для определения перспективности выращивания некоторых видов рода *Paeonia* L. в условиях урбанизированной среды.

В задачи исследования входит:

1) изучение климатических и почвенных факторов среды при выращивании интродуцентов в различных географических регионах (гг. Петрозаводск, Москва, Мичуринск, Майкоп);

2) изучение адаптационных особенностей некоторых видов рода *Paeonia* L.;

3) оценка экологических признаков видов рода *Paeonia* L., перспективных для выращивания в городской среде.

Объекты и методы исследования

В качестве объектов исследования выбраны пять видов рода *Paeonia* L.: *P. tenuifolia* L., *P. suffruticosa* Andrews, *P. lactiflora* Pall., *P. anomala* L., *P. mlokosewitschii* Lomak.

P. tenuifolia L. — корнеклубнеобразующий стержне-кистекарневой травянистый многолетник, принадлежит к подроду *Paeonia*, секции

Tenuifoliae [18], встречается в Западном и Восточном Предкавказье, на Кавказе, в Крыму, на Украине. Произрастает на сухих травянистых склонах, в степи, зарослях кустарника, светлых дубовых лесах до среднегорного пояса. Вид адаптирован к жаркому и сухому лету.

P. suffruticosa Andrews — геоксильный кустарник, принадлежит к подроду *Moutan*, секции *Moutan* [18], является эндемом Китая, произрастает в горном лесном и субальпийском поясах на высоте 2360...4250 м над уровнем моря. Растения адаптированы к перепаду температуры.

P. lactiflora Pall. — корнеклубнеобразующий стержне-кистекарневой травянистый многолетник, принадлежит к подроду *Albiflora* [18]. Растет в Китае, Восточной Монголии, на Корейском полуострове, в Забайкальском крае, на юго-востоке Хабаровского края, в Читинской и Амурской области, Приморском и Алтайском крае. Распространен в зарослях дуба монгольского, на опушках, открытых склонах, кустарниках, разнотравных лугах, произрастает по берегам рек, сухим каменистым склонам с хорошо дренированной почвой. *P. lactiflora* Pall. адаптирован к низкой температуре и достаточно высокой влажности.

P. anomala L. — травянистое многолетнее растение, принадлежит к подроду *Paeonia*, секции *Paeonia* [18], распространен в лесах северной части Европейской России, Восточной и Западной Сибири, в Восточной Европе, Китае, Монголии, на Алтае, в Средней Азии. *P. anomala* L. — мезофит, морозоустойчив, растет на почвах, богатых гумусом.

P. mlokosewitschii Lomak. — травянистое многолетнее растение, принадлежит к подроду *Paeonia*, секции *Flavonia* [18]. Произрастает на Восточном Кавказе, в Грузии, Азербайджане. Эндемик. Распространен в лесах, на крутых склонах. Предпочитает увлажненные леса и субальпийские луга.

Исследуемые виды были высажены на опытных площадках в четырех зонах умеренного климатического пояса в широтном расположении с севера на юг в пределах Восточно-Европейской равнины, в гг. Петрозаводске, Москве, Мичуринске, Майкопе. Эти регионы различаются по водному режиму и почвенно-климатическим условиям среды [19–29]. Изучение эколого-биологических особенностей растений-интродуцентов проводилось в 2014–2017 гг. В 2014 г. были высажены 5 сеянцев *P. tenuifolia* L., 5 сеянцев *P. suffruticosa* Andrews, в 2015 г. — 10 сеянцев *P. lactiflora* Pall., в 2016 г. — 10 сеянцев *P. anomala* L., а в 2017 г. — 5 сеянцев *P. mlokosewitschii* Lomak. по единой схеме.

Исследования проводились лабораторными и полевыми методами. Была получена информация визуальных наблюдений за состоянием, ростом и

развитием дикорастущих видов пионов с учетом погодных условий и динамики водно-солевого режима почв. Особое внимание уделялось сопоставлению физиологических показателей, изученных у интродуцированных видов, с аналогичными показателями, характерными для представителей природной флоры.

При анализе биологических особенностей представителей рода пион в процессе интродукции в первую очередь рассматривали климатические условия места культивирования. Исследование адаптационных возможностей растений-интродуцентов проводили с учетом почвенно-климатических особенностей регионов.

Г. Петрозаводск расположен в восточной части Балтийского щита. Климат умеренно-континентальный с чертами морского. Территория Петрозаводска относится к зоне избыточного увлажнения. Годовое количество осадков 550...600 мм. Средняя температура воздуха в самом теплом месяце (июле) равна +16...+19,9 °С, средняя температура самого холодного месяца (января) –9...–13 °С. Продолжительность периода активной вегетации растений 75–115 дней.

Почвы на участке, где были высажены пионы, подзолистые, сформировавшиеся на бескарбонатных породах вследствие развития подзолистого процесса. Содержание P_2O_5 в почве 14,89 мг/100 г, K_2O — 13,1 мг/100 г, рН почвы 6,84 (табл. 1).

Т а б л и ц а 1

Характеристики почвы опытных площадок Soil characteristics of test sites

Город	Уровень рН	Содержание в почве, мг/100 г	
		P_2O_5	K_2O
Петрозаводск	6,84	14,89	13,1
Москва	7	104,7	40,6
Мичуринск	6,96	103,58	60,1
Майкоп	7,14	53	48,3

Г. Москва расположен в центре Восточно-Европейской равнины на Смоленско-Московской возвышенности, на стыке с Москворецко-Окской равниной и Мещерской низменностью. Климат умеренно-континентальный, с четкой выраженной сезонностью. Москва относится к зоне достаточного увлажнения. Годовое количество осадков 600...675 мм. Средняя температура воздуха в самом теплом месяце (июле) +17,8...+18,5 °С, в самом холодном месяце (январе) –4...–10 °С. Продолжительность вегетационного периода 170 дней.

Пионы были высажены в Ботаническом саду МГУ. Почвы на участке — урбаноземы с погребенными дерново-подзолами с различной

степенью оглеения и глинистые. Содержание P_2O_5 в почве 104,7 мг/100 г, K_2O — 40,6 мг/100 г, рН почвы 7,0 (см. табл. 1).

Г. Мичуринск расположен в южной части Восточно-Европейской равнины, входит в зону Центрального Черноземного округа. Климат умеренно-континентальный с довольно теплым летом и холодной продолжительной зимой. Мичуринск относится к зоне недостаточного увлажнения. Годовая сумма осадков 500...550 мм. Средняя месячная температура воздуха самого теплого месяца (июля) +19...+20 °С, а самого холодного месяца (января) –10,5...–11,5 °С. Период активной вегетации растений 141...154 дня.

Почвы на участке аллювиальные (луговые черноземы), избыточно увлажнены. Содержание P_2O_5 в почве 103,58 мг/100 г, K_2O — 60,1 мг/100 г, рН почвы 6,96 (см. табл. 1).

Г. Майкоп расположен в южной части Адыгейской Республики в предгорье Большого Кавказа на правом берегу р. Белая (приток р. Кубани). Климат умеренно-континентальный, с мягкой зимой и умеренно жарким летом. Майкоп относится к зоне умеренного увлажнения. Осадков выпадает в среднем около 700 мм. Самая высокая средняя температура — в июле (+22 °С), самая низкая — в январе (–1,7 °С). Большое количество суммарной радиации определяет длительный вегетационный период (242 дня).

Участок, где высажены пионы, расположен на правом берегу р. Белая, на хуторе Грозном. Почвы — луговые (пойменные) черноземы, характерными признаками которых являются: малая мощность гумусового горизонта, незначительная затемненность гумусовых горизонтов, слабая структурность, отсутствие известковых образований, слоистое строение. Содержание P_2O_5 в почве 53 мг/100 г, K_2O — 48,3 мг/100 г, рН почвы 7,14 (см. табл. 1).

Посадив сеянцы разных видов рода *Paeonia* L. (*P. tenuifolia* L., *P. suffruticosa* Andrews, *P. lactiflora* Pall., *P. anomala* L., *P. mlokosewitschii* Lomak.) в разных регионах, за ними наблюдали в течение четырех лет (кроме последнего вида, сеянцы которого были высажены только в 2017 г.). Чтобы приблизить растения к более естественным природным условиям, уход за ними производили минимальный — поливали по мере необходимости, удобрения не вносили, на зиму не укрывали.

Результаты исследования

В г. Петрозаводске приживаемость сеянцев *P. tenuifolia* L., высаженных в 2014 г., составила 80 %. Сеянцы заметно отстают в росте (рис. 1) в отличие от тех сеянцев, которые были высажены в Москве, Мичуринске и Майкопе. *P. suffruticosa* Andrews также был высажен в 2014 г.

По данным на 2017 г., приживаемость растений составила 80 %. Сеянцы *P. suffruticosa* Andrews выглядят угнетенными, листья мелкие (рис. 2). В 2015 г. были высажены растения *P. lactiflora* Pall. Относительно мягкие зимы и нежаркое лето благоприятно сказываются на росте и развитии *P. lactiflora* Pall. (рис. 3), приживаемость равна 100 %. Адаптируемость сеянцев *P. anomala* L. (рис. 4) в Петрозаводске составила 70 % (табл. 2).

В г. Москве всего 60 % сеянцев *P. tenuifolia* L. (рис. 5) адаптировались к данным условиям. Сеянцы зацвели в начале июня 2017 г., доля цветущих растений *P. tenuifolia* L. — всего 33 % общего количества. Приживаемость *P. suffruticosa* Andrews (рис. 6) составила 80 %. В мае 2017 г. все пионы древовидные зацвели (доля цветущих растений 100 %). По данным на 2017 г., сеянцы *P. lactiflora* Pall. (рис. 7) сумели приспособиться к климату Москвы, приживаемость 100 %.

Т а б л и ц а 2

Приживаемость разных видов рода *Paeonia* L., %, в разных городах
The survival rate of different species of the genus *Paeonia* L.,% , in different cities

Вид	Город			
	Петрозаводск	Москва	Мичуринск	Майкоп
<i>P. tenuifolia</i>	80	60	80	60
<i>P. suffruticosa</i>	80	80	100	100
<i>P. lactiflora</i>	100	100	60	40
<i>P. anomala</i>	70	100	100	90

В середине июня 2017 г. зацвели 40 % сеянцев. У *P. anomala* L. (рис. 8) тоже хорошие показатели, приживаемость растений составила 100 %. Итак, умеренно-континентальный климат Москвы подходит для выращивания четырех исследуемых вида рода *Paeonia* L. (см. табл. 2).



Рис. 1. Сеянец *P. tenuifolia* в г. Петрозаводске
 Fig. 1. Seedling *P. tenuifolia* in Petrozavodsk



Рис. 3. Сеянец *P. tenuifolia* в г. Мичуринске
 Fig. 3. Seedling *P. tenuifolia* in the city of Michurinsk



Рис. 2. Сеянец *P. tenuifolia* в г. Москве
 Fig. 2. Seedling *P. tenuifolia* in Moscow



Рис. 4. Сеянец *P. tenuifolia* в г. Майкопе
 Fig. 4. Seedling *P. tenuifolia* in Maikop



Рис. 5. Сеянец *P. suffruticosa* в г. Петрозаводске
Fig. 5. Seedling *P. suffruticosa* in Petrozavodsk



Рис. 8. Сеянец *P. suffruticosa* в г. Майкопе
Fig. 8. Seedling *P. suffruticosa* in Maikop



Рис. 6. Сеянец *P. suffruticosa* в г. Москве
Fig. 6. Seedling *P. suffruticosa* in Moscow



Рис. 9. Сеянец *P. lactiflora* в г. Петрозаводске
Fig. 9. Seedling *P. lactiflora* in Petrozavodsk



Рис. 7. Сеянец *P. suffruticosa* в г. Мичуринске
Fig. 7. Seedling *P. suffruticosa* in the city of Michurinsk



Рис. 10. Сеянец *P. lactiflora* в г. Москве
Fig. 10. Seedling *P. lactiflora* in Moscow



Рис. 11. Сеянец *P. lactiflora* в г. Мичуринске
Fig. 11. Seedling *P. lactiflora* in the city of Michurinsk



Рис. 14. Сеянец *P. anomala* в г. Москве
Fig. 14. Seedling *P. anomala* in Moscow



Рис. 12. Сеянец *P. lactiflora* в г. Майкопе
Fig. 12. Seedling *P. lactiflora* in Maikop



Рис. 15. Сеянец *P. anomala* в г. Мичуринске
Fig. 15. Seedling *P. anomala* in the city of Michurinsk



Рис. 13. Сеянец *P. anomala* в г. Петрозаводске
Fig. 13. Seedling *P. anomala* in Petrozavodsk



Рис. 16. Сеянец *P. anomala* в г. Майкопе
Fig. 16. Seedling *P. anomala* in Maikop

В г. Мичуринске адаптировалось 80 % растений *P. tenuifolia* L. (рис. 9). Сеянцы *P. suffruticosa* Andrews (рис. 10) неплохо чувствуют себя в умеренно-континентальном климате Тамбовской области, приживаемость составила 100 %, из них 40 % зацвели в начале мая 2016 г., а 80 % — в 2017 г. Приживаемость растений *P. lactiflora* Pall. (рис. 11) составила 60 %. Все сеянцы *P. anomala* L. (рис. 12) выжили, приживаемость 100 % (см. табл. 2).

В г. Майкопе прижилось 60 % растений *P. tenuifolia* L. (рис. 13). В 2016 г. 33 % сеянцев *P. tenuifolia* L. зацвели в начале апреля, а в 2017 г. цвели уже 100 %. Приживаемость сеянцев *P. suffruticosa* Andrews (рис. 14) составила 100 %. В 2017 г. зацвели 100 % растений. Адаптируемость *P. lactiflora* Pall. (рис. 15) в Майкопе низкая, выжили 40 % растений, остальные погибли. Предварительно можно предположить, что климат Майкопа не совсем подходит для выращивания *P. lactiflora* Pall. Сухие, малоснежные зимы с резкими перепадами температуры, частые возвратные заморозки весной, очень жаркое лето и зачастую сухая осень негативно сказываются на росте и развитии мезофитного вида *P. lactiflora* Pall. Приживаемость сеянцев *P. anomala* L. (рис. 16) составила 90 % (см. табл. 2).

Что касается *P. mlokosewitschii* Lomak., то его сеянцы во всех четырех городах были высажены только в 2017 г., поэтому пока рано говорить об их адаптации к новым почвенно-климатическим условиям.

Выводы

Адаптация растений во многом зависит от комплексного воздействия экологических факторов. При этом эффективность воздействия каждого отдельного фактора изменяется в зависимости от момента времени. Можно отметить следующие климатические характеристики изученных регионов. Максимальное количество осадков выпадает в Москве (800 мм), минимальное — в Мичуринске (550 мм). Самый холодный январь — в Петрозаводске (–13 °С), самый теплый июль — в Майкопе (+22 °С). Наибольшая продолжительность периода активной вегетации растений — в Майкопе (242 дня), наименьшая — в Петрозаводске (115 дней).

Анализ почвы на исследуемых участках (см. табл. 1) позволил установить, что самое высокое содержание в почве P_2O_5 — в Москве и Мичуринске, высокое содержание K_2O — в Мичуринске, низкое содержание P_2O_5 и K_2O — в Петрозаводске. Измеряя кислотность почвы, можно прийти к выводу, что в Майкопе почва щелочная, в Москве, Мичуринске и Петрозаводске — нейтральная. Таким образом, наиболее плодородная

почва в Мичуринске. В Петрозаводске почвы довольно скудные, как правило, в них содержится небольшое количество микро- и макроэлементов.

Из вышеизложенного следует, что для озеленения Майкопа можно рекомендовать следующие виды пионов: *P. tenuifolia* L., *P. suffruticosa* Andrews и *P. anomala* L.; *P. lactiflora* Pall. и *P. anomala* L. можно попробовать культивировать в Петрозаводске, а для Москвы и Мичуринска, где климат умеренно-континентальный, можно рекомендовать для выращивания все четыре вида — *P. tenuifolia* L., *P. suffruticosa* Andrews, *P. lactiflora* Pall. и *P. anomala* L.

Результаты проведенных исследований дополняют данные об адаптации видов рода *Paeonia* L. Эти сведения помогут при решении общих проблем приспособления растений к различным климатическим условиям. Полученные результаты согласуются с экологией изученных видов рода *Paeonia* L. и, по всей вероятности, являются существенными при оценке перспективности выращивания дикорастущих видов пиона в культуре.

Список литературы

- [1] Григорьев А.И. Эколого-физиологические основы адаптации древесных растений в лесостепи Западной Сибири. Омск: Изд-во ОмГПУ, 2008. 195 с.
- [2] Дарвин Ч. Происхождение видов путем естественного отбора или сохранения благоприятствуемых пород в борьбе за жизнь. М.: АН СССР, 1939. 270 с.
- [3] Rawson H.M., Begg J.E., Woodward R.G. The effect of atmospheric humidity on photosynthesis, transpiration and water use efficiency of leaves of several plant species // *Planta*, 1977, v. 134, pp. 5–10.
- [4] Begg J.E. Morphological adaptations of leaves to water stress // *Adaptation of plants to water and high temperature stress*. Eds. Turner N.C., Kramer P.J. New York: John Wiley and Sons, 1980, pp. 33–43.
- [5] Thompson G.A. Molecular changes in membrane lipids during cold stress // *Environmental stress in plants: Biochemical and Physiological Mechanisms*. Springer, Berlin, 1989, pp. 249–259.
- [6] Fathi-Ettai R.A., Prat D. Variation in organic and mineral components in young seedlings under stress // *Physiol. Plant.*, 1990, v. 79, pp. 479–486.
- [7] Bohnert H.J., Nelson D. E., Jensen R. G. Adaptations to environmental stresses // *The plant cell*, 1995, v. 7, pp. 1099–1111.
- [8] Huang B., Fry J.D. Root anatomical, physiological and morphological responses to drought stress far tall Fescue cultivars // *Crop Science*, 1998, v. 38, no 4, pp. 1017–1022.
- [9] Pessarakli M., Haghghi M., Sheibanrad A. Plant responses under environmental stress conditions // *Advances in plants & Agriculture research*, 2015, v. 2, iss. 6, pp. 276–286.
- [10] Вавилов Н.И. Центры происхождения культурных растений // *Труды по прикладной ботанике и селекции*, 1926. Т. 16. № 2. 248 с.
- [11] Вавилов Н.И. Линнеевский вид как система // *Труды по прикладной ботанике, генетике и селекции*, 1931. Т. 26. Вып. 3. С. 109–134.
- [12] Мичурин И.В. Сочинения. В 4 т. М.: Сельхозгиз, 1948. Т. I. 502 с.

- [13] Тахтаджян А.Л. Происхождение покрытосеменных растений. М.: Советская наука, 1954. 96 с.
- [14] Тахтаджян А.Л. Система и филогения цветковых растений. М.; Л.: Наука, 1966. 610 с.
- [15] Серебряков И.Г. Экологическая морфология растений. М.: Высшая школа, 1962. 378 с.
- [16] Серебряков И.Г., Серебрякова Т.И. Некоторые вопросы эволюции жизненных форм цветковых растений // Ботанический журнал, 1972. Т. 57. № 5. С. 417–433.
- [17] Белюченко И.С. К вопросу о некоторых направлениях в эволюции растений // Бюллетень Ботанического сада им. им И.С. Косенко, 1992. № 4. С. 68–110.
- [18] Hong De-Yuan. Peonies of the world. Stamford: Kew Publishing, 2010. 312 p.
- [19] Чернышенко О.В., Рудая О.А., Ефимов С.В. Состояние вопроса экологической адаптации некоторых видов рода *Paeonia* L. в культуре // Растения в условиях глобальных и локальных природно-климатических и антропогенных воздействий. Всероссийская научная конференция с международным участием и школа для молодых ученых. Петрозаводск, ПетрГУ, 21–26 сентября 2015 г. Петрозаводск: ПетрГУ, 2015. С. 574.
- [20] Kennen K., Kirkwood N. Phyto: principles and resources for site remediation and landscape design. London; New York: Routledge Taylor & Francis Group, 2015. 346 p.
- [21] Алиев Р.А., Авраменко А.А., Базилева Е.Д. Основы общей экологии и международной экологической политики. М.: Аспект-пресс, 2014. 384 с.
- [22] Glass D.J. U.S. and International Markets for Phytoremediation, 1999–2000. Needham; Mass: D. Glass Associates Inc., 1999. 532 с.
- [23] British Columbia Ministry of Environment. Environment Best Management Practices for Urban and Rural Land. Development in British Columbia: Air Quality BMPs and Supporting information. URL: <https://docviewer.yandex.ru/view/35626387> (дата обращения 10.12.2017).
- [24] Forman R.T., Alexander L.E. Roads and their major ecological effects // Annual Review of Ecology and Systematics, 1998, no. 29, pp. 207–231.
- [25] Zhu Y., Hinds W.C., Kim S., Shen S., Sioutas C. Study of ultra-fine particles near a major highway with heavy-duty diesel traffic // Atmospheric Environment, 2002, no. 36, pp. 4323–4335.
- [26] Takahashi M., Higaki A., Nohno M., Kamada M., Okamura Y., Matsui K., Kitani S., Morikawa H. Differential assimilation of nitrogen dioxide by 70 taxa of roadside trees at an urban pollution level // Chemosphere, 2005, no. 61 (5), pp. 633–639.
- [27] Chameides W.L., Lindsay R.W., Richardson J., Kiang C.S. The role of biogenic hydrocarbons in urban photochemical smog: Atlanta as a case study // Science, 1988, no. 241, p. 1473.
- [28] Beattie G., Seibel J. Uptake and localization of gaseous phenol and P-cresol in plant leaves // Chemosphere, 2007, no. 68, pp. 528–536.
- [29] Yang J., Yu Q., Gong P. Quantifying air pollution removal by green roof in Chicago // Atmospheric Environment, 2008, no. 42 (31), pp. 7266–7273.

Сведения об авторе

Рудая Ольга Александровна — инженер-лаборант 1 категории, Ботанический сад Биологического факультета МГУ им. М.В. Ломоносова, olgaalexrud@yandex.ru

Поступила в редакцию 12.08.2018.

Принята к публикации 29.10.2018.

INFLUENCE OF ENVIRONMENTAL FACTORS ON GROWTH AND DEVELOPMENT OF SOME SPECIES OF GENUS *PAEONIA* L. IN URBAN GARDENING

O.A. Rudaya

Botanical Garden Lomonosov Moscow State University, 1/12, Leninskie Gory, 119991, Moscow, Russia

olgaalexrud@yandex.ru

Greening cities is important both in Russia and in all developed countries of the world. Plants contribute to the improvement of the environment, absorb dust and noise and have aesthetic qualities. Environmental factors affect the formation and development of urban green plantations in the region. A great influence on plants is the amount of precipitation, as well as temperature, soil and water regimes. With the growth of cities and towns there is a need to address the issues of their decorative design using new introduced plants, adapted to the specific environmental conditions of the environment. An example is the varieties and species of the genus *Paeonia* L. The article contains data on four species of the genus *Paeonia* L. (*P. tenuifolia* L., *P. suffruticosa* Andrews, *P. lactiflora* Pall., *P. anomala* L., *P. mlokosewitschii* Lomak.) planted in the south-west (Maikop, Michurinsk) and northwest (Petrozavodsk, Moscow) parts of Russia. The influence of climatic and edaphic factors on wild-growing species of pions growing in different geographic regions was studied. Promising species of the genus *Paeonia* L. have been identified for the greening of cities: Maikop, Michurinsk, Petrozavodsk.

Keywords: ecology, ecological factors of environment, gardening of cities, adaptation of plants, species of the genus *Paeonia* L.

Suggested citation: Rudaya O.A. *Vliyaniye ekologicheskikh faktorov na rost i razvitiye nekotorykh vidov roda Paeonia L., ispol'zuemykh dlya ozeleneniya gorodov* [Influence of environmental factors on growth and development of some species of genus *Paeonia* L. in urban gardening]. *Lesnoy vestnik / Forestry Bulletin*, 2018. vol. 22, no. 6, pp. 56–64. DOI: 10.18698/2542-1468-2018-6-56-64

References

- [1] Grigor'ev A.I. *Ekologo-fziologicheskie osnovy adaptatsii drevesnykh rasteniy v lesostepi Zapadnoy Sibiri* [Ecological and physiological basis of adaptation of woody plants in the forest-steppe of Western Siberia]. Omsk: Izd-vo OmGPU [Omsk State Pedagogical University], 2008, 195 p.
- [2] Darwin Ch. *Proiskhozhdenie vidov putem estestvennogo otbora ili sokhraneniya blagopriyatstvuyemykh porod v bor'be za zhizn'* [Origin of species by natural selection or preservation of favored breeds in the struggle for life]. Moscow: AN SSSR, 1939. 270 p.
- [3] Rawson H.M., Begg J.E., Woodward R.G. The effect of atmospheric humidity on photosynthesis, transpiration and water use efficiency of leaves of several plant species. *Planta*, 1977, v. 134, pp. 5–10.
- [4] Begg J.E. Morphological adaptations of leaves to water stress. In: *Adaptation of plants to water and high temperature stress*. Eds. Turner N.C., Kramer P.J. New York: John Wiley and Sons, 1980, pp. 33–43.
- [5] Thompson G.A. Molecular changes in membrane lipids during cold stress // *Environmental stress in plants: Biochemical and Physiological Mechanisms*. Springer, Berlin, 1989, pp. 249–259.
- [6] Fathi-Ettai R.A., Prat D. Variation in organic and mineral components in young seedlings under stress // *Physiol. Plant.*, 1990, v. 79, pp. 479–486.
- [7] Bohner H.J., Nelson D. E., Jensen R. G. Adaptations to environmental stresses // *The plant cell*, 1995, v. 7, pp. 1099–1111.
- [8] Huang B., Fry J.D. Root anatomical, physiological and morphological responses to drought stress far tall Fescue cultivars // *Crop Science*, 1998, v. 38, no 4, pp. 1017–1022.
- [9] Pessarakli M., Haghighi M., Sheibanirad A. Plant responses under environmental stress conditions // *Advances in plants & Agriculture research*, 2015, v. 2, iss. 6, pp. 276–286.
- [10] Vavilov N.I. *Tsentry proiskhozhdeniya kul'turnykh rasteniy* [Centers of origin of cultivated plants] *Trudy po prikladnoy botanike i selektsii* [Proceedings on Applied Botany and Selection], 1926, v. 16, no. 2, p. 248.
- [11] Vavilov N. I. *Linneevskiy vid kak sistema* [Form of Linnaeus as a system] *Trudy po prikladnoy botanike, genetike i selektsii* [Proceedings on Applied Botany Genetics and Selection], 1931, v. 26, no. 3, pp. 109–134.
- [12] Michurin I. V. *Sochineniya. V 4 t.* [Works in 4 volumes]. Moscow: Sel'khozgiz, 1948, v. I, p. 502.
- [13] Takhtadzhyan A.L. *Proiskhozhdenie pokrytosemennykh rasteniy* [The origin of angiosperms]. Moscow: Sovetskaya nauka, 1954, 96 p.
- [14] Takhtadzhyan A.L. *Sistema i filogeniya tsvetkovykh rasteniy* [System and phylogeny of flowering plants]. Moscow; Leningrad: Nauka, 1966, 610 p.
- [15] Serebryakov I.G. *Ekologicheskaya morfologiya rasteniy* [Ecological morphology of plants]. Moscow: Vysshaya shkola [Higher School], 1962, 378 p.
- [16] Serebryakov I.G., Serebryakova T.I. *Nekotorye voprosy evolyutsii zhiznennykh form tsvetkovykh rasteniy* [Some questions on the evolution of the life forms of flowering plants] *Botanicheskiy zhurnal* [Botanical Journal], 1972, v. 57, no. 5, pp. 417–433.
- [17] Belyuchenko I.S. *K voprosu o nekotorykh napravleniyakh v evolyutsii rasteniy* [On the question of some directions in the evolution of plants] *Byulleten' Botanicheskogo sada im. im I.S. Kosenko* [Bulletin of the Botanical Garden. im I.S. Kosenko], 1992, no. 4, pp. 68–110.
- [18] Hong De-Yuan. *Peonies of the world*. Stamford: Kew Publishing, 2010, 312 p.
- [19] Chernyshenko O.V., Rudaya O.A., Efimov S.V. *Sostoyanie voprosa ekologicheskoy adaptatsii nekotorykh vidov roda Paeonia L. v kul'ture* [The state of the issue of ecological adaptation of some species of the genus Paeonia L. in culture]. *Rasteniya v usloviyakh global'nykh i lokal'nykh prirodno-klimaticheskikh i antropogennykh vozdeystviy. Vserossiyskaya nauchnaya konferentsiya s mezhdunarodnym uchastiem i shkola dlya molodykh uchenykh* [Plants in the conditions of global and local climatic and anthropogenic influences. All-Russian and scientific conference with international participation and a school for young scientists]. Petrozavodsk: PetrGU, 2015, p. 574.
- [20] Kennen K., Kirkwood N. *Phyto: principles and resources for site remediation and landscape design*. London; New York: Routledge Teylor & Frensis Group, 2015. 346 p.
- [21] Aliev R.A., Avramenko A.A., Bazileva E.D. *Osnovy obshchey ekologii i mezhdunarodnoy ekologicheskoy politiki* [Fundamentals of general ecology and international environmental policy]. Moscow: Aspect-press, 2014, 384 p.
- [22] Glass D.J. *U.S. and International Markets for Phytoremediation, 1999–2000*. Needham; Mass: D. Glass Associates Inc., 1999. 532 c.
- [23] British Columbia Ministry of Environment. *Environment Best Management Practices for Urban and Rural Land. Development in British Columbia: Air Quality BMPs and Supporting information*. URL: <https://docviewer.yandex.ru/view/35626387> (accessed 10.12.2017).
- [24] Fomman R.T., Alexander L.E. Roads and their major ecological effects. *Annual Review of Ecology and Systematics*, 1998, no. 29, pp. 207–231.
- [25] Zhu Y., Hinds W.C., Kim S., Shen S., Sioutas C. Study of ultrafine particles near a major highway with heavy-duty diesel traffic. *Atmospheric Environment*, 2002, no. 36, pp. 4323–4335.
- [26] Takahashi M., Higaki A., Nohno M., Kamada M., Okamura Y., Matsui K., Kitani S., Morikawa H. Differential assimilation of nitrogen dioxide by 70 taxa of roadside trees at an urban pollution level. *Chemosphere*, 2005, no. 61 (5), pp. 633–639.
- [27] Chameides W.L., Lindsay R.W., Richardson J., Kiang C.S. The role of biogenic hydrocarbons in urban photochemical smog: Atlanta as a case study. *Science*, 1988, no. 241, p. 1473.
- [28] Beattie G., Seibel J. Uptake and localization of gaseous phenol and P-cresol in plant leaves. *Chemosphere*, 2007, no. 68, pp. 528–536.
- [29] Yang J., Yu Q., Gong P. Quantifying air pollution removal by green roof in Chicago. *Atmospheric Environment*, 2008, no. 42 (31), pp. 7266–7273.

Author's information

Rudaya Ol'ga Aleksandrovna — laboratory engineer of the first category at the Botanical Garden of the Lomonosov Moscow State University, olgaalexrud@yandex.ru

Received 12.08.2018.

Accepted for publication 29.10.2018.

УДК 712:911.375

DOI: 10.18698/2542-1468-2018-6-65-69

ПЕРСПЕКТИВЫ СОЗДАНИЯ ФИТОРЕМЕДИАЦИОННЫХ ГАЗОНОВ НА ПОЧВАХ С НИЗКИМ И СРЕДНИМ УРОВНЕМ ЗАГРЯЗНЕНИЯ ТЯЖЕЛЫМИ МЕТАЛЛАМИ

О.П. Лаврова

ФГБОУ ВО «Нижегородский государственный архитектурно-строительный университет» (ННГАСУ), 603950, г. Нижний Новгород, ул. Ильинская, д. 65

olg.lavrv2010@yandex.ru

Рассмотрены перспективы создания фиторемедиационных газонов в городской среде. Городские почвы загрязнены большим количеством поллютантов, в основном тяжелыми металлами. На территории городов формируются зоны, характеризующиеся постоянным поступлением тяжелых металлов в почву. Это зоны влияния промышленных предприятий, городские транспортные магистрали, несанкционированные свалки мусора. Почвы таких зон имеют низкий или средний уровень загрязнения. Для их очищения наиболее перспективным и эффективным способом является фиторемедиация. В настоящее время активно ведется поиск местных растений — аккумуляторов тяжелых металлов. На основании обзора литературных данных среди видов со способностью к фиторемедиации выделена группа многолетних травянистых растений, которые используются или могут использоваться для создания садово-парковых и луговых газонов в городской среде. К таким видам относятся овсяница красная *Festuca rubra* L., овсяница луговая *Festuca pratensis* Huds., райграс пастбищный *Lolium perenne* L., ежа сборная *Dactylis glomerata* L., костер безостый *Bromus inermis* Leys., вейник наземный *Calamagrostis epigeios* (L.) Roth., клевер луговой *Trifolium pratense* L., донник желтый *Melilotus officinalis* (L.) Pall., люцерна серповидная *Medicago falcata* L. Перечисленные виды-фиторемедианты способны произрастать на загрязненных почвах без потери декоративности, устойчивы к периодическому скашиванию. Из них можно создавать постоянно работающие фиторемедиационные газоны. Для этого необходимо составлять травосмеси из разных видов фиторемедиантов с учетом специфики загрязнения почв. Такие газоны могут служить очищению почв с низким и средним уровнем загрязнения на территориях с постоянным поступлением поллютантов в почву в городской среде.

Ключевые слова: загрязнение почв, фиторемедиация, фиторемедиационные газоны в городской среде

Ссылка для цитирования: Лаврова О.П. Перспективы создания фиторемедиационных газонов на почвах с низким и средним уровнем загрязнения тяжелыми металлами // Лесной вестник / Forestry Bulletin, 2018. Т. 22. № 6. С. 65–69. DOI: 10.18698/2542-1468-2018-6-65-69

Важнейшей экологической проблемой городских урбоэкосистем является загрязнение почв. Наличие многочисленных источников загрязнения приводит к тому, что в почвы городских ландшафтов поступает большое количество поллютантов. Кроме того, в городских почвах нарушено нормальное протекание почвообразовательных процессов, скорость самоочищения почв очень мала, и только небольшая часть поллютантов, попавших в почву, окисляется и нейтрализуется, а большинство их накапливается в почве и сохраняется там длительное время. Таким образом, почвы в городах поглощают, удерживают и накапливают разнообразные загрязняющие вещества, препятствуя их проникновению в грунтовые воды [1–3]. Основными видами поллютантов являются тяжелые металлы, такие как кобальт, никель, медь, цинк, кадмий, хром, свинец и др., а также другие неорганические вещества (сера, фтор, цементная пыль) и разнообразные органические соединения.

В крупных промышленных центрах источниками тяжелых металлов являются предприятия металлургической и машиностроительной отрасли, предприятия по производству удобрений, пластмасс, строительных материалов, полигра-

фической промышленности. Зона накопления поллютантов в почве вокруг таких предприятий, по разным данным, может составлять от 3 до 20 км [1–4]. Также источником тяжелых металлов являются свалки твердых бытовых отходов [4]. До 80 % загрязняющих веществ в городах поступает от автотранспорта. Городские транспортные магистрали являются источником более 170 токсичных ингредиентов [4]. Это тяжелые металлы, пестициды, нефть и нефтепродукты, фенолы, бензапирен, оксид свинца, продукты износа резины, дорожного покрытия, движущихся частей и механизмов автомобилей, пластмассы, краска. Основная масса выбросов оседает на удалении 10...20 м от дороги, а более мелкие частицы могут рассеиваться на расстоянии 150...300 м. [1–4].

Таким образом, на территории городов выделяются зоны, характеризующиеся постоянным непрерывным поступлением в почву поллютантов неорганической и органической природы, основная масса которых накапливается в верхнем слое почвы (до 10 см). Это зоны влияния промышленных предприятий, городские транспортные магистрали, свалки мусора на городских пустырях, по оврагам, вдоль малых рек. Почвы

таких зон имеют низкий или средний уровень загрязнения [2, 3]. Применять инженерные методы рекультивации и очищения почв на таких территориях нецелесообразно.

Цель работы

Цель работы — рассмотреть перспективы создания фиторемедиационных газонов в городской среде.

Материалы и методы

Одним из перспективных способов очищения почв уже традиционно считается фиторемедиация — очищение почвы с помощью высших растений. Технологию фиторемедиации рекомендуют применять только при низком и среднем уровне загрязнения почв подвижными формами тяжелых металлов. При высоком уровне загрязнения травянистые растения угнетаются, снижается накопление фитомассы и применение этого метода становится нецелесообразным. Для фиторемедиации используют растения, устойчивые к повышенному содержанию поллютантов и способные

экстрагировать их из почвы и аккумулировать в своих тканях [5, 6]. Этот метод в настоящее время широко применяется для ликвидации ранее накопленного экологического ущерба — для очищения почв сельскохозяйственных угодий, свалок твердых бытовых отходов, военных полигонов [1]. При этом практически не рассматривается перспектива его применения на территориях с постоянным поступлением поллютантов в почву в городской среде.

В связи с возросшим интересом к фиторемедиации в России активно ведется поиск растений — аккумуляторов тяжелых металлов. Путем лабораторных и полевых исследований такая способность выявлена у большого количества однолетних и многолетних, культурных, сорных и дикорастущих, древесных, кустарниковых и травянистых растений. Разработаны методы активной (с ежегодным посевом и полным удалением однолетних растений — фиторемедиантов) и пассивной (выращивание многолетних фиторемедиантов с регулярным удалением только надземной фитомассы) фиторемедиации.

Накопление тяжелых металлов и фтора растениями-фиторемедиантами, мг/кг сухой массы, по данным разных авторов

Accumulation of heavy metals and fluoride by plant phytoremediates, mg / kg dry weight, according to different authors

Растение	Поллютанты										Источник
	Pb	Zn	Cd	Cu	Fe	Cr	Co	Ni	Mn	F	
Костер	–	–	–	–	–	–	–	–	–	+	[7]
	–	–	–	–	–	–	–	–	–	75	[8]
Люцерна	+	–	–	–	–	–	–	–	–		[9]
		–	–	–	–	–	–	–	–	61	[8]
Овсяница луговая	+	–	–	–	–	–	–	–	–	–	[9]
Овсяница красная	–	–	–	600	–	–	–	750	–	–	[17]
Клевер луговой	–	+	–	24,9– 23,5	1623,3– 1156,5	1,1–1,7	+	+	+	–	[14]
	–	157,5	3,7	150,7	–	–	65,3	8,2	–	–	[15]
Клевер	3,6	42	–	180	–	–	–	–	–	–	[10]
Донник желтый	2,8/ 11,6	–	19,6/ 152	–	–	–	–	59,8/ 363,1	–	–	[13]
Ежа сборная	–	+		+	1623,3– 1156,5	1,1–1,7	+	+	–	–	[14]
Одуванчик	+	–	+	–	–	–	–	–	–	–	[11]
Горец птичий	+	–	+	–	–	–	–	–	–	–	
Тысячелистник обыкновенный	+	+	+	+	–	+	+	+	+	–	
Цикорий	–	+	–	+	–	+	+	+	+	–	
Подорожник средний	–	+	–	+	–	+	+	+	+	–	
Вейник наземный	–	–	–	–	–	–	–	703	–	–	[16]
Райграс пастбищный	+	–	–	–	–	–	–	–	–	–	[12]
	–	–	–	–	–	–	–	–	–	30	[8]

Примечание. Плюсом отмечена способность к накоплению поллютанта без указания его содержания в растениях; – не выявлено.

Результаты и обсуждение

На основании анализа и обобщения результатов многочисленных исследований разных авторов из значительного списка видов с выявленной способностью к фиторемедиации можно выделить многолетние травянистые растения, которые используются или могут использоваться для создания садово-парковых и луговых газонов в городской среде. К таким видам относятся овсяница красная *Festuca rubra* L., овсяница луговая *Festuca pratensis* Huds., райграс пастбищный *Lolium perenne* L., ежа сборная *Dactylis glomerata* L., коостер безостый *Bromus inermis* Leys., вейник наземный *Calamagrostis epigeios* (L.) Roth., клевер луговой *Trifolium pratense* L., донник желтый *Melilotus officinalis* (L.) Pall., люцерна серповидная *Medicago falcata* L. [7–17]. Обобщенные данные представлены в таблице.

Перечисленные виды-фиторемедианты способны произрастать на почвах со слабым и средним уровнем загрязнения без потери декоративности, образуя значительную биомассу и вынося из загрязненной почвы, по некоторым данным [16], порядка 1000 мг/кг тяжелых металлов. Кроме того, они устойчивы к периодическому скашиванию. На загрязненных территориях из таких видов можно создавать постоянно работающие фиторемедиационные газоны, которые необходимо регулярно скашивать, фитомассу удалять и соответствующим образом перерабатывать. Такие газоны способны будут очищать почву на глубину своих корней, в среднем около 0,7 м [6], чего вполне достаточно для фиторемедиации городских почв.

Растений — концентраторов всех металлов не выявлено, каждое растение накапливает два-три реже четыре элемента [14]. Поэтому для создания фиторемедиационных газонов необходимо составлять травосмеси из разных видов-фиторемедиантов с учетом специфики загрязнения почв. Например, на почвах, где загрязняющими веществами в основном являются цинк, свинец и медь (почвы Нижнего Новгорода) [3], можно создавать луговые фиторемедиационные газоны, в состав которых войдут овсяница красная, овсяница луговая, райграс пастбищный, ежа сборная, донник желтый, клевер луговой, тысячелистник обыкновенный.

Выводы

Целенаправленного изучения фиторемедиационной способности различных видов газонных трав к настоящему времени не проводилось. Возможно, при проведении таких исследований ассортимент трав, пригодных для создания фиторемедиационных газонов на почвах с различным видом загрязнений, будет расширен. Целесоо-

бразно провести и апробацию таких газонов в городской среде. В целом создание фиторемедиационных газонов может быть перспективным для очищения почв с низким и средним уровнем загрязнения тяжелыми металлами и фтором на территориях с постоянным поступлением таких поллютантов в почву в городской среде.

Список литературы

- [1] Мозолевская Е.Г., Липаткин В.А., Шарапа Т.В. Оценка состояния насаждений лесопарков Московского городского управления лесами на территориях, примыкающих к Московской кольцевой автомобильной дороге (лесопатологический мониторинг). М.: МГУЛ, 1999. 48 с.
- [2] Муравьев А.Г., Каррыев Б.Б., Ляндзберг А.Р. Оценка экологического состояния почвы / под ред. А.Г. Муравьева. Санкт-Петербург: Крисмас+, 2008. 216 с.
- [3] Дабахов М.В. Экологическая оценка техногенно загрязненных почв урбанизированных территорий и промышленных зон г. Нижнего Новгорода: автореф. дис. ... д-ра биол. наук. 2012. URL: <http://www.dissercat.com/content/ekologicheskaya-otsenka-tehnogenno-zagryaznennykh-pochv-urbanizirovannykh-territorii-i-prom> (дата обращения 14.04.2016).
- [4] Джувеликян Х.А. Экологическое состояние природных и антропогенных ландшафтов центрального черноземья: автореф. дис. ... д-ра биол. наук. Петрозаводск, 2007. URL: <http://www.sevin.ru/fundecology/news/DDisDzhuvelikyan.pdf> (дата обращения 14.04.2016).
- [5] Серегин И.В., Кожевникова А.Д. Механизмы гипераккумуляции и устойчивости растений к тяжелым металлам // Всероссийский симпозиум «Экология мегаполисов: фундаментальные основы и инновационные технологии». Москва, Институт физиологии растений им. К.А. Тимирязева РАН, 21–25 ноября 2011 г. М.: Лесная страна, С. 131. URL: http://www.ippras.ru/society_physiologists_plants/ssk/ecomeg2011/Book_ecomeg2011.pdf (дата обращения 14.04.2016).
- [6] Агибаева А.К., Алтынсариев А.Ж., Сембиева А.А. Фиторемедиация почв, загрязненных токсичными отходами металлургического производства. URL: <http://vestnik.kazntu.kz/files/newspapers/57/1860/1860.pdf> (дата обращения 14.04.2016).
- [7] Крупкин П.И. Пути рационального использования почв, загрязненных фтором // Агрохимия, 2005. № 3. С. 79–87.
- [8] Полонский В.И., Полонская Д.Е. Фторидное загрязнение почвы и фиторемедиация // Сельскохозяйственная биология, 2013. № 1. С. 3–14.
- [9] Линдиман А.В. Процессы миграции свинца и кадмия в системе «почва-растение»: автореф. дис. ... канд. хим. наук. URL: http://discollection.ru/article/17032009_lindiman_anastasija_vasil_evna_85955/2 (дата обращения 14.04.2016).
- [10] Николаева Н.С., Семиколенова Л.Г. Оценка возможности использования разных видов растений для очистки почвы, загрязненной тяжелыми металлами. URL: <http://shmain.ru/nauchnye-stati/nikolaeva-n-s-semikolenova-l-g-ocenka-vozmozhnosti-ispolzovaniya-raznykh-vidov-rastenij-dlya-ochistki-pochvy-zagryaznennoj-tyazhelymi-metallami.html> (дата обращения 14.04.2016).
- [11] Васильева Т.Н. Фиторемедиационные аспекты загрязнения урбанизированных почв Оренбурга: автореф. дис. ... канд. биол. наук. Оренбург, 2011. URL: <http://earthpapers.net/fitoremediatsionnye-aspekty-zagryazneniya-urbanizirovannyh-pochv-orenburga> (дата обращения 24.04.2016).

- [12] Бганцова М.В. Использование горчицы сарептской и райграсса пастбищного для фиторемедиации загрязненных свинцом почв // Вестник Томского государственного университета, 2009. № 324. С. 350–353.
- [13] Андреева И.В., Байбеков Р.Ф., Злобина М.В. Фиторемедиация почв, загрязненных тяжелыми металлами // Природообустройство, 2009. № 5. С. 5–10.
- [14] Кудряшова В.И. Аккумуляция тяжелых металлов дикорастущими растениями: автореф. дис. ... канд. биол. наук. Саранск, 2003. URL: <http://earthpapers.net/akkumulyatsiya-tyazhelyh-metallov-dikorastuschimi-rastenyami> (дата обращения 24.04.2016).
- [15] Пырина И.В., Назаров А.В., Плюснин С.Д. Фиторемедиация нефтезагрязненной почвы с высоким содержанием тяжелых металлов // Вестник Пермского национального исследовательского политехнического университета. Сер. Химическая технология и биотехнология, 2009. Т. 10. С. 72–77.
- [16] Маджугина Ю.Г., Кузнецов В.В., Шевякова Н.И. Растения полигонов захоронения бытовых отходов мегаполисов как перспективные виды для фиторемедиации // Физиология растений, 2008. Т. 55. № 3. С. 453–463.
- [17] Трибис Л.И. Фитоэкстракция никеля и меди и респирометрические показатели состояния микробных сообществ в техногенных грунтах и почвах, загрязненных тяжелыми металлами: автореф. дис. ... канд. биол. наук. Москва, 2016. URL: <http://www.timacad.ru/catalog/disser/kd/tribis/avtoref.pdf> (дата обращения 24.04.2016).

Сведения об авторе

Лаврова Ольга Петровна — канд. биол. наук, доцент, заведующая кафедрой ландшафтной архитектуры и садово-паркового строительства ФГБОУ ВО «Нижегородский государственный архитектурно-строительный университет», olg.lavrv2010@yandex.ru

Поступила в редакцию 03.09.2018.

Принята к публикации 22.10.2018.

PROSPECTS FOR CREATION OF PHYTOREMEDIATIVE LAWNS IN SOILS WITH LOW AND MEDIUM LEVEL POLLUTION BY HEAVY METALS

O.P. Lavrova

Nizhny Novgorod State University of Architecture and Civil Engineering, 65, Ilyinskaya st., 603950, Nizhny Novgorod, Russia

olg.lavrv2010@yandex.ru

The article describes the prospects of creating of phytoremediation lawns in the urban environment. Urban soil contaminated with large amounts of pollutants, the principal of which are heavy metals. On the territory of cities areas are formed where heavy metals are constantly coming into the soil. They are areas of influence of industrial enterprises, areas along thoroughfares, areas in places of unauthorized dumps of garbage. Soils of such areas have low or medium level of pollution. Phytoremediation is the most promising and effective method for the purification of such soils. Currently, scientists are actively looking for local plants which are accumulators of heavy metals. Based on the review of the literature, among the species that have the ability to phytoremediation, a group of perennial herbaceous plants was allocated, which are used or can be used for the creation of common and meadow lawns in the urban environment. Such species include *Festuca rubra* L., *Festuca pratensis* Huds., *Lolium perenne* L., *Dactylis glomerata* L., *Bromus inermis* Leys., *Calamagrostis epigeios* (L.) Roth., *Trifolium pratense* L., *Melilotus officinalis* (L.) Pall., *Medicago falcata* L. These species-phytoremediators are able to grow in contaminated soils without a loss of decorative qualities, they are resistant to periodic mowing. They can be used to create continuously running phytoremediation lawns. For this purpose it is necessary to make mixtures of different species of phytoremediators, taking into account the specifics of soil pollution. Such lawns can be promising for the purification of soils with low and medium level of pollution in areas with continuous flow of pollutants in the soil in the urban environment.

Keywords: soil pollution, phytoremediation, phytoremediative lawns in urban environment

Suggested citation: Lavrova O.P. *Perspektivy sozdaniya fitoremediatsionnykh gazonov na pochvakh s nizkim i srednim urovnem zagryazneniya tyazhelymi metallami* [Prospects for creation of phytoremediative lawns in soils with low and medium level pollution by heavy metals]. *Lesnoy vestnik / Forestry Bulletin*, 2018, vol. 22, no. 6, pp. 65–69. DOI: 10.18698/2542-1468-2018-6-65-69

References

- [1] Mozolevskaya E.G., Lipatkin V.A., Sharapa T.V. *Otsenka sostoyaniya nasazhdeniy lesoparkov Moskovskogo gorodskogo upravleniya lesami na territorii, primykayushchikh k Moskovskoy kol'tsevoy avtomobil'noy doroge (lesopatologicheskii monitoring)* [Assessment of planting condition of forest parks of Moscow urban forest management on the territories adjacent to the Moscow ring road (forest pest monitoring)]. Moscow: [MSFU], 1999. 48 p.
- [2] Murav'ev A.G., Karryev B.B., Lyandzberg A.R. *Otsenka ekologicheskogo sostoyaniya pochvy* [Evaluation of the ecological state of the soil]. Ed. A.G. Murav'ev. Saint-Petersburg: Krismas+, 2008. 216 p.

- [3] Dabakhov M.V. *Ekologicheskaya otsenka tekhnogenno zagryaznennykh pochv urbanizirovannykh territoriy i promyshlennykh zon g. Nizhnego Novgoroda: avtoref. dis. d-ra biol. nauk* [Ecological assessment of technogenic contaminated soils in urbanized areas and industrial zones in Nizhny Novgorod: autoabstract diss. Dr. Sci. (Biol.)]. 2012. Available at: <http://www.dissercat.com/content/ekologicheskaya-otsenka-tekhnogenno-zagryaznennykh-pochv-urbanizirovannykh-territorii-i-prom> (accessed 14.04.2016).
- [4] Dzhuvelikyan Kh. A. *Ekologicheskoe sostoyanie prirodnykh i antropogennykh landshaftov tsentral'nogo chernozem'ya: avtoref. dis. d-ra biol. nauk* [The ecological condition of natural and anthropogenic landscapes of Central Chernozem region: autoabstract diss. Dr. Sci. (Biol.)]. Petrozavodsk, 2007. Available at: <http://www.sevin.ru/fundecology/news/DDisDzhuvelikyan.pdf> (accessed 14.04.2016).
- [5] Seregin I.V., Kozhevnikova A.D. *Mekhanizmy giperakkumulyatsii i ustoychivosti rasteniy k tyazhelym metallam* [Mechanisms of hyperaccumulation and plant tolerance to heavy metals]. Vserossiyskiy simpozium «Ekologiya megapolisov: fundamental'nye osnovyi innovatsionnye tekhnologii» [All-Russian Symposium «Ecology of big cities: the fundamental basis and innovation technology»]. Moscow, Institute of Plant Physiology them K.A. Timiryazev RAN, November 21–25, 2011. Moscow: Lesnaya strana, p. 131. Available at: http://www.ippras.ru/society_physiologists_plants/ssk/ecomeg2011/Book_ecomeg2011.pdf (accessed 14.04.2016).
- [6] Agibaeva A.K., Altynsariev A.Zh., Sembieva A.A. *Fitoremediatsiya pochv, zagryaznennykh toksichnymi otkhodami metallurgicheskogo proizvodstva* [Phytoremediation of soils contaminated with toxic wastes of metallurgical production]. Available at: <http://vestnik.kazntu.kz/files/newspapers/57/1860/1860.pdf> (accessed 14.04.2016).
- [7] Krupkin P.I. *Puti ratsional'nogo ispol'zovaniya pochv, zagryaznennykh fluorom* [The ways of rational use of soils contaminated with fluorine]. *Agrokhimiya* [Agro-chemicals], 2005, no. 3, pp. 79–87.
- [8] Polonskiy V.I., Polonskaya D.E. *Ftoridnoe zagryaznenie pochvy i fitoremediatsiya* [Soil pollution with fluorine and phytoremediation]. *Sel'skokhozyaystvennaya biologiya* [Agricultural biology], 2013, no. 1, pp. 3–14.
- [9] Lindiman A.V. *Protsessy migratsii svintsa i kadmiya v sisteme «pochva-rastenie»: avtoref. dis. kand. khim. nauk* [The processes of migration of lead and cadmium in the system «soil-plant»: autoabstract diss. Cand. Sci. (Chem.)]. Available at: http://discollection.ru/article/17032009_lindiman_anastasija_vasil_evna_85955/2 (accessed 14.04.2016).
- [10] Nikolaeva N.S., Semikolenova L.G. *Otsenka vozmozhnosti ispol'zovaniya raznykh vidov rasteniy dlya ochistki pochvy, zagryaznennoy tyazhelymi metallami* [Assessment of possibility of usage of different types of plants for cleaning soils contaminated with heavy metals]. Available at: <http://shmain.ru/nauchnye-stati/nikolaeva-n-s-semikolenova-l-g-ocenka-vozmozhnosti-ispolzovaniya-raznyx-vidov-rastenij-dlya-ochistki-pochvy-zagryaznennoj-tyazhelymi-metallami.html> (accessed 14.04.2016).
- [11] Vasil'eva T.N. *Fitoremediatsionnye aspekty zagryazneniya urbanizirovannykh pochv Orenburga: avtoref. dis. kand. biol. nauk* [Phytoremediative aspects of contaminated urban soils of Orenburg: autoabstract diss. Cand. Sci. (Biol.)]. Orenburg, 2011. Available at: <http://earthpapers.net/fitoremediatsionnye-aspekty-zagryazneniya-urbanizirovannykh-pochv-orenburga> (accessed 24.04.2016).
- [12] Bgantsova M.V. *Ispol'zovanie gorchitsy sareptskoy i raygrasa pastbishchnogo dlya fitoremediatsii zagryaznennykh svintsom pochv* [The usage of brassica juncea and perennial ryegrass for the phytoremediation of soils contaminated with lead]. *Vestnik Tomskogo gosudarstvennogo universiteta* [Bulletin of the Tomsk state University], 2009, no. 324, pp. 350–353.
- [13] Andreeva I.V., Baybekov R.F., Zlobina M.V. *Fitoremediatsiya pochv, zagryaznennykh tyazhelymi metallami* [Phytoremediation of soils contaminated with heavy metals]. *Prirodoobustroystvo* [Environmental engineering], 2009, no. 5, pp. 5–10.
- [14] Kudryashova V.I. *Akkumulyatsiya tyazhelykh metallov dikorastushchimi rasteniyami: avtoref. dis. kand. biol. nauk* [Accumulation of heavy metals by wild plants: autoabstract diss. Cand. Sci. (Biol.)]. Saransk, 2003. Available at: <http://earthpapers.net/akkumulyatsiya-tyazhelykh-metallov-dikorastuschimi-rasteniyami> (accessed 24.04.2016).
- [15] Pyrina I.V., Nazarov A.V., Plyusnin S.D. *Fitoremediatsiya nefezagryaznennoy pochvy s vysokim sodержaniem tyazhelykh metallov* [Phytoremediation of contaminated soil with a high content of heavy metals]. *Vestnik Permskogo natsional'nogo issledovatel'skogo politekhnicheskogo universiteta. Ser. Khimicheskaya tekhnologiya i biotekhnologiya* [Bulletin of Perm national research Polytechnic University. Ser. Chemical technology and biotechnology], 2009, v. 10, pp. 72–77.
- [16] Madzhugina Yu.G., Kuznetsov V.V., Shevyakova N.I. *Rasteniya poligonov zakhoroneniya bytovykh otkhodov megapolisov kak perspektivnye vidy dlya fitoremediatsii* [Plants growing on the landfill of household waste of the cities, which are promising for phytoremediation]. *Fiziologiya rasteniy* [Plant physiology], 2008, v. 55, no. 3, pp. 453–463.
- [17] Tribis L. I. *Fitoekstraksiya nikelya i medi i respirometricheskie pokazateli sostoyaniya mikrobykh soobshchestv v tekhnogennykh gruntakh i pochvakh, zagryaznennykh tyazhelymi metallami: avtoref. dis. kand. biol. nauk* [Phytoextraction of Nickel and copper and respirometric indicators of microbial communities in technogenic soils and soils contaminated with heavy metals: autoabstract diss. Cand. Sci. (Biol.)]. Moscow, 2016. Available at: <http://www.timacad.ru/catalog/disser/kd/tribis/avtoref.pdf> (accessed 24.04.2016).

Author's information

Lavrova Ol'ga Petrovna — Cand. Sci. (Biol.), Associated Professor, Head of the Department of Landscape Architecture and Landscape Construction at the Nizhny Novgorod State University of Architecture and Civil Engineering (NNSAGU), olg.lavrv2010@yandex.ru

Received 03.09.2018.

Accepted for publication 22.10.2018.

МОДЕЛИРОВАНИЕ И ОЦЕНКА ЭФФЕКТИВНОСТИ ПРОКЛАДКИ ТРЕЛЕВОЧНЫХ ВОЛОКОВ НА ЛЕСОСЕКЕ

А.В. Макаренко

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

Рассмотрены принципы разработки имитационной модели проектирования сети трелевочных волоков и выполнения трелевки древесины при определении критериев эффективности рассматриваемых и рассчитываемых вариантов. В модели используются следующие критерии эффективности: объем грузовой работы, среднее расстояние трелевки, количество собираемых трелевочных групп (пачек) с одной пасеки, количество проходов техники по одному волоку и по одному месту. Исследованы основные элементы предлагаемой имитационной модели, позволяющие детально характеризовать распределение древостоя по лесосеке, задавать и определять координаты границ лесосеки и располагаемых на ней магистральных и пасечных волоков, выполнять перебор вариантов расположения сети волоков, производить последовательный расчет сбора трелевочных групп (пачек), рассчитывать выбранный набор критериев эффективности. В качестве результатов работы имитационной модели, построенной по изложенной методике, приведены некоторые полученные зависимости в виде графиков. Представлена зависимость значения грузовой работы на трелевке от последовательно изменяемого угла наклона магистральных волоков для четырех рассматриваемых лесосек, различных по форме и площади. Далее для одной из лесосек дана зависимость грузовой работы от схемы прокладки волоков и запаса древесины на единицу площади. Рассмотрены графики распределения числа пасек по количеству собираемых с них пачек в зависимости от варианта прокладки трелевочных волоков (угла наклона магистральных волоков). Для каждого варианта распределения числа пасек определены статистические характеристики: среднее значение и среднее квадратическое отклонение, которые также представлены в виде графиков. Сделаны выводы и даны рекомендации по применению разработанных методик и модели для проектирования рациональных технологических схем разработки лесосек на основании особенностей распределения древостоя по ее территории.

Ключевые слова: трелевочный волок, пасека, лесосека, распределение древостоя, грузовая работа, сеть волоков

Ссылка для цитирования: Макаренко А.В. Моделирование и оценка эффективности прокладки трелевочных волоков на лесосеке // Лесной вестник / Forestry Bulletin, 2018. Т. 22. № 6. С. 70–78. DOI: 10.18698/2542-1468-2018-6-70-78

Для оценки эффективности прокладки сети трелевочных волоков на лесосеке используются различные наборы критериев, отражающих производственно-экономические показатели технологического процесса, степень лесохозяйственного и экологического воздействия. Такими критериями являются: грузовая работа по трелевке лесоматериалов, среднее расстояние трелевки, площадь лесосеки, занимаемая трелевочными волоками, нагрузка на пасечные и магистральные волоки в зависимости от количества проходов техники по одному месту [1–8]. Следует отметить, что некоторые критерии могут иметь противоречия друг с другом. Например, увеличение ширины пасек, приводящее к уменьшению доли площади лесосеки занятой волоками, повышает нагрузку на каждый волок и воздействие на почво-грунты лесосеки.

Цель работы

При постановке задачи оптимального проектирования сети трелевочных волоков по территории лесосеки с учетом перечисленных критериев возникает необходимость разработки различных математических моделей, описывающих кон-

кретные элементы технологического процесса лесосечных работ и исходные данные природно-производственных условий лесосеки. Такими моделями являются: математическое описание распределения древостоя на лесосеке [3], распределение параметров деревьев древостоя [9, 10], структурированные данные координат границ лесосеки, трелевочных волоков и пасек, запрограммированные методы расчета этих координат [5], имитационные модели выполнения технологических операций и др.

Комплекс таких моделей и методов расчета образует общую математическую модель сложной динамической системы технологического процесса разработки лесосеки, которая позволяет выполнить поиск оптимальной сети трелевочных волоков для конкретной лесосеки и системы машин.

Цель статьи — разработка имитационной математической модели расположения трелевочных волоков на лесосеке, на которой задано распределение древостоя по ее территории, и определение зависимостей отдельных указанных критериев эффективности проектируемой сети трелевочных волоков от варьируемых параметров условий выполнения технологических операций лесосечных работ.

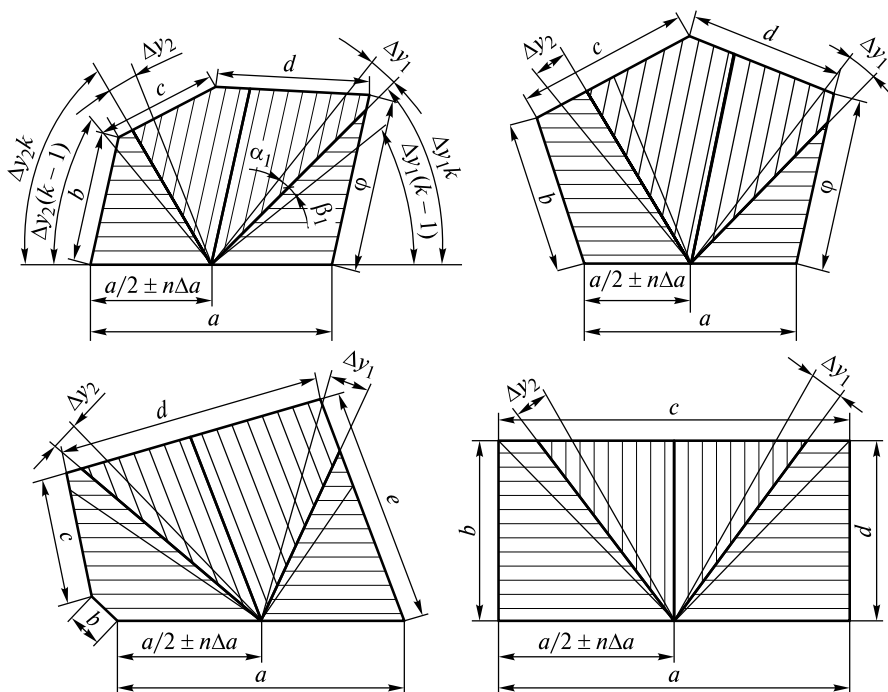


Рис. 1. Основные геометрические параметры трелевочной сети на примерах лесосек различной конфигурации

Fig. 1. The main geometrical parameters of the logging network using examples of logging sites of various configurations

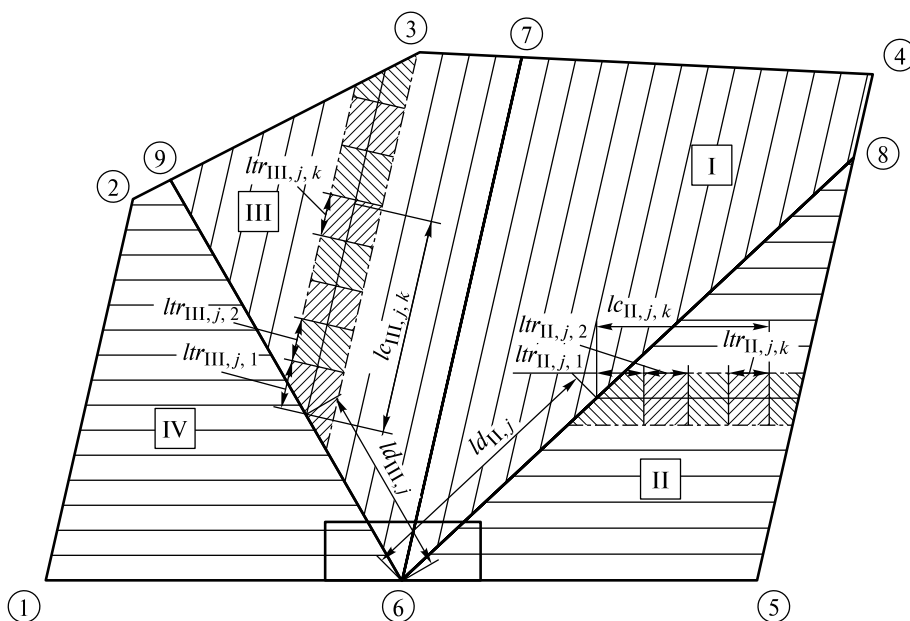


Рис. 2. Схема лесосеки для определения критериев эффективности прокладки сети трелевочных волоков: I-IV — номера участков лесосеки; 1-9 — номера точек пересечения границ лесосеки и магистральных волоков; i, j, k — номера участка, пасеки и трелевочной группы (пачки) соответственно; lc — расстояние трелевки по j -му пасечному волоку i -го участка для k -й трелевочной группы; ld — расстояние трелевки для j -й пасеки по магистральному волоку i -го участка; ltr — расстояние сбора k -й трелевочной группы по j -й пасеке для i -го участка

Fig. 2. The cutting area diagram to determine the criteria for the effectiveness of laying a network of logging trails: I-IV — the numbers of sections of the cutting area; 1-9 — numbers of points of intersection of the boundaries of the cutting area and main portages; i, j, k — numbers of the site, apiary and skidding group (pack), respectively; lc — is the distance of skidding along the j -th beehive fiber of the i -th site for the k -th skidding group; ld — is the skidding distance for the j -th apiary along the trunk fiber of the i -th segment; ltr — collection distance of the k -th skidder along the j -th apiary for the i -th leg

Материалы и методы

Проектирование сети трелевочных волоков на лесосеке [9–14] производится на основании неизменных геометрических параметров самой лесосеки и переменных геометрических параметров, определяющих расположение волоков. Последовательное изменение переменных геометрических параметров расположения волоков позволяет преобразовывать всю сеть волоков и на основании используемых критериев эффективности определять наиболее оптимальный или компромиссный вариант прокладки для данной лесосеки. Такими переменными параметрами могут являться расположение погрузочного пункта на лесосеке как место начала магистральных трелевочных волоков, углы наклона магистральных волоков относительно базовой стороны лесосеки (стороны, где находится погрузочный пункт), углы примыкания пасечных волоков к магистральным, ширина пасек, места и углы искривления магистральных волоков, если такие есть [6, 8, 10, 11]. Примеры прокладки сети трелевочных волоков с указанием изменяемых геометрических параметров представлены на рис. 1 для нескольких вариантов конфигураций лесосек.

Определение значений критериев эффективности сети трелевочных волоков при известных геометрических параметрах сети, параметрах лесосеки и распределения древостоя по территории лесосеки требует детального рассмотрения технологических операций по трелевке древесины, что возможно при использовании имитационного моделирования. Данный подход предусматривает выделение отдельных площадей лесосеки для сбора каждой трелевочной группы (трелеваемой пачки лесоматериалов) и определение расстояния трелевки для этой группы. Общий объем грузовой работы и среднее расстояние трелевки на лесосеке [15] определяется на основании суммирования грузовой работы и расстояния трелевки каждой трелевочной группы. Пример использования изложенного подхода для определения применяемых критериев эффективности сети трелевочных волоков показан на рис. 2 применительно к первой лесосеке (см. рис. 1) с задаваемыми размерами длин ее сторон.

При компьютерной программной реализации имитационного моделирования трелевки с рассмотрением выполнения данной операции по каждой трелевочной группе (пачки) выражения для определения общей грузовой работы на лесосеке и среднего расстояния трелевки выглядят следующим образом:

$$R = \sum_{i=1}^M \sum_{j=1}^{N_i} \sum_{k=1}^{K_{ij}} \left[q_{i,j,k} \left(ltr_{i,j,k} + \sum_{n=1}^{k-1} ltr_{i,j,n} - lmcpr + ld_{i,j} \right) \right];$$

$$L_{ср} = \frac{R}{Q_i},$$

где M — количество однородных участков лесосеки с параллельным набором пасек, стыкующихся с одним магистральным волоком;

N_i — количество пасек на i -м однородном участке;

K_{ij} — количество формируемых трелевочных групп (пачек) на j -й пасеке i -го участка;

$q_{i,j,k}$ — объем k -й трелевочной группы, собранной на j -й пасеке i -го участка;

ltr — расстояние сбора k -й трелевочной группы по j -й пасеке для i -го участка;

$lmcpr$ — расстояние от места крайней стоянки трелевочного трактора при наборе пачки до места окончания набора этой пачки;

ld — расстояние трелевки для j -й пасеки по магистральному волоку i -го участка;

Q_i — общий запас древесины на лесосеке.

Важной отличительной особенностью определения критериев эффективности прокладки сети трелевочных волоков с применением имитационного моделирования от использования общих аналитических формул [2] является подход к показателям, характеризующим распределение лесонасаждения по территории лесосеки. В аналитических выражениях принято делать допущение, что лесонасаждение распределено по площади лесосеки равномерно, с одинаковой плотностью. Таким образом, среднее расстояние трелевки и объем грузовой работы будут зависеть только от формы территории лесосеки и расположения трелевочных волоков. При имитационном моделировании, когда набор деревьев для формирования трелевочной группы с текущей части пасеки производится индивидуально, существует необходимость учитывать расположение и объем каждого дерева или, в усредненном виде, изменчивость плотности распределения древостоя по территории лесосеки.

Длина участка пасеки, с которого собирается полная трелевочная группа (пачка) при известных исходных данных — расположения деревьев на лесосеке, их диаметре и объеме, породе, классе товарности, а также используемого способа рубки (выборочная рубка или сплошная), определяется из выражения

$$ltr_{i,j,k} = Yd_{i,j,ii} - (lc_{i,j,k-1} + lmcpr),$$

$$ii = \max \left\{ ii \geq 0 : \sum_{ii=(k-1)_i+1}^{k_{ii}} q_{ii} \leq Q_T \right\},$$

где $Yd_{i,j,ii}$ — расстояние до последнего дерева k -й трелевочной группы от начала пасеки до перпендикуляра от дерева к пасечному волоку;

$lc_{i,j,k}$ — расстояние по пасечному волоку от окончания сбора k -й трелевочной группы для j -й пасеки i -го участка лесосеки до места примыкания пасеки к магистральному волоку;

ii — порядковый номер дерева на пасеке;

k_{ii} — последний номер дерева для k -й трелевочной группы;

q_{ii} — объем ii -го дерева;

Q_T — максимальный объем трелевочной пачки для данного типа трактора.

Отражение индивидуальных особенностей распределения лесонасаждения по территории конкретной лесосеки в имитационной модели возможно либо при использовании аэрофото-съемки, космической съемки или непосредственного перечета деревьев, либо в исследовательских целях, при разыгрывании расположения деревьев и их качественных характеристик. Параллельное использование двух этих способов в имитационной модели требует разработки двух различных процедур для обработки по-разному заданной информации и подготовки к дальнейшему ее использованию в расчетах. В результате данные о распределении лесонасаждения по территории лесосеки должны представлять собой общий массив, элементами которого являются записи о размерно-качественных характеристиках конкретных деревьев и их координат относительно какой-либо стороны лесосеки.

На следующем этапе, когда данные о лесонасаждении подготовлены и собраны в общий массив, задается исследуемая схема прокладки трелевочных волоков [16–19], выделяются границы пасек и производится разбивка общего массива на подмассивы, элементами которых являются характеристики деревьев, расположенных в пределах одной пасеки. Совмещенные схемы разработки лесосеки с нанесением рассматриваемой сети трелевочных волоков и особенностей распределения лесонасаждения по территории лесосеки представлены на рис. 3.

Для отражения распределения лесонасаждения на представленных схемах территория лесосеки разбита на квадраты с длиной стороны 10 м. В зависимости от количества попавших деревьев цвет квадрата меняется от белого к темно-зеленому. Белый цвет показывает отсутствие деревьев в данном квадрате. Для окрашенных квадратов тональность зеленого цвета усиливается с приращением количества попавших деревьев в квадрат на одно дерево. Квадраты темно-зеленого цвета соответствуют попаданию в них более 9 деревьев.

При известном распределении лесонасаждения по лесосеке и заданной схеме расположения трелевочных волоков может быть определено количество проходов трелевочных машин по одному месту трелевочного волока в зависимости от текущего расстояния от начала волока. При использовании имитационного моделирования [20] и поштучном комплектовании каждой трелевочной группы (пачки) количество проходов техники по одному месту волока определяется из формулы

$$N_{ip}(l) = 2(K_{ip} - k + 1):$$

$$: l \in [lc_{k-1}, lc_{k-1} + ltr_k - lmc_p],$$

где l — текущее расстояние по пасечному волоку;

K_{ip} — количество трелевочных групп (пачек лесоматериалов), собираемых с рассматриваемой пасеки и определенных ранее;

k — номер трелевочной группы (участка пасеки, с которой собирается полная пачка для трелевки);

lc_{k-1} — расстояние по пасечному волоку от его начала до места окончания сбора $(k - 1)$ -й трелевочной группы;

ltr_k — длина пасеки, на которой собирается трелевочная группа.

В последней формуле у переменных lc и ltr приведено только одно значение индекса — k (номер трелевочной группы), так как расчет количества проходов техники N_{ip} производится для конкретного участка лесосеки и конкретной пасеки.

Количество трелевочных групп K_{ip} , значение которых используется в предыдущей формуле, можно определить двумя способами. При первом способе значение K_{ip} определяется как частное от деления запаса ликвидной древесины на пасеке на средний объем трелевочной пачки. Однако в этом случае возникновение даже небольшой ошибки может привести к неправильной работе всей имитационной модели.

Второй способ предусматривает непосредственный подсчет трелевочных групп (пачек) при их последовательном комплектовании спиленными деревьями или полученными сортаментами на конкретной пасеке при имитации производственного процесса на разработанной модели. Данный способ выражается формулой

$$K_{ip} = \max \left\{ K_{ip} \geq 0 : \sum \max \{ k_i \geq 0 : \sum q_j \leq Q_T \} \sum = K_P \right\},$$

где K_P — количество деревьев на пасеке, определяемое на основании данных по конкретной лесосеке или разыгранное при помощи имитационного моделирования.

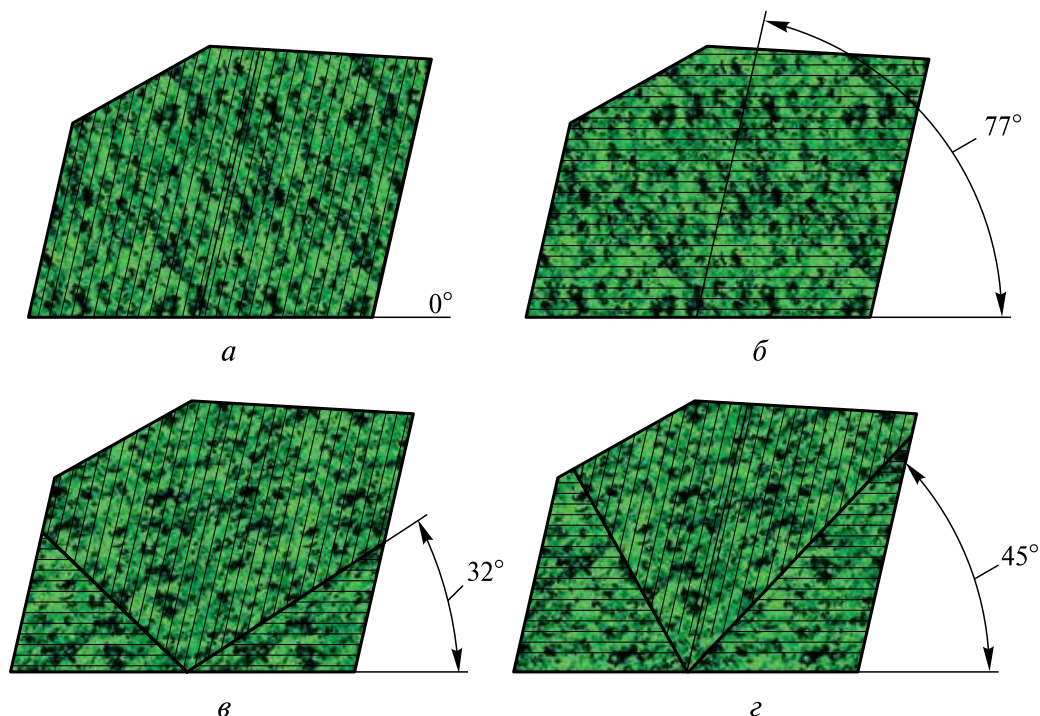


Рис. 3. Варианты схем прокладки трелевочных волоков при обозначении распределения лесонасаждения по территории лесосеки: а — шаг 1; б — шаг 13; в — шаг 6; г — шаг 8

Fig. 3. Options for the construction of skidding dies for designating the distribution of afforestation throughout the cutting area: а — step 1; б — step 13; в — step 6; г — step 8

Результаты и обсуждение

Определение рассматриваемых параметров эффективности схем прокладки трелевочных волоков по представленным выражениям (грузовой работы, среднего расстояния трелевки, количества проходов техники по волоку) выполнялось с помощью разработанной имитационной модели [8, 20]. Исходные условия моделирования приняты следующие: запас на гектаре изменялся в диапазоне от 180 до 250 м³ с шагом 10 м³, ширина пасеки — от 16 до 21 м с шагом 0,5 м, средний диаметр деревьев — 26 см при среднем квадратическом отклонении 4,5. Объем дерева определялся для сосны первого разряда высот. В модели были произведены расчеты для четырех типов лесосек, представленных на рис. 1, и для 13 вариантов прокладки трелевочных волоков по схемам на рис. 3.

Некоторые результаты расчета параметров эффективности сети трелевочных волоков на имитационной модели представлены на рис. 4–6.

На рис. 4 показано изменение грузовой работы для четырех рассмотренных типов лесосек в зависимости от вариантов прокладки трелевочных волоков при ширине пасеки 20 м, среднем запасе на гектаре 200 м³ и максимальной зоне собираемых лесоматериалов перед машиной до 4 м. Значение грузовой работы представлено в виде относительной величины в долях от среднего значения. Как

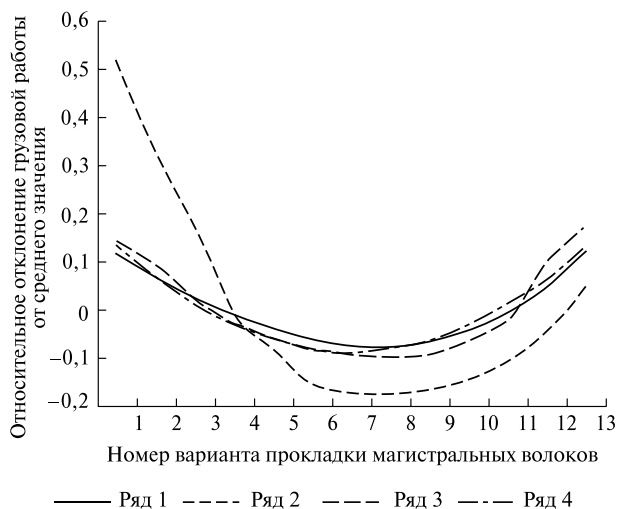


Рис. 4. Отклонение значений грузовой работы от среднего значения

Fig. 4. The deviation of the values of freight work from the average

видно из графиков, параметр грузовой работы достигает минимума при прокладке магистрального трелевочного волока по диагонали к дальней части лесосеки, причем конкретное значение угла наклона магистрального волока определяется индивидуально для каждой лесосеки. В среднем, отклонение значения грузовой работы от среднего значения составляет от +15...18 % до -8...10 %. Наиболее сильные отклонения значения грузовой

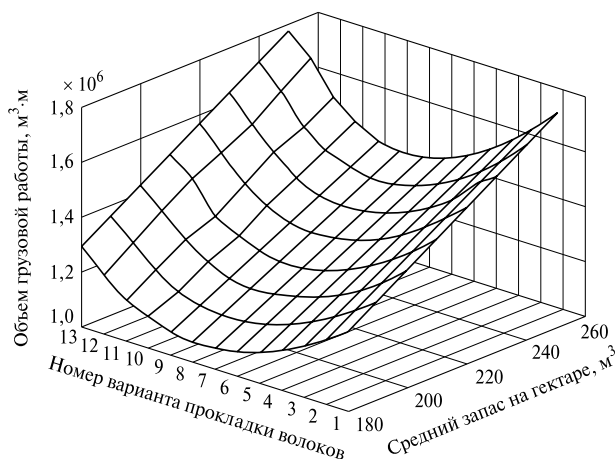


Рис. 5. Объем грузовой работы для первой лесосеки
Fig. 5. The amount of freight work for the first cutting area

работы характерны для лесосек неправильной формы и вытянутых в глубину от базовой стороны лесосеки, на которой расположен погрузочный пункт (рис. 4, ряд 2).

На рис. 5 представлен трехмерный график изменения грузовой работы на трелевке древесины для первой лесосеки (см. рис. 1) в зависимости от двух параметров: варианта прокладки сети трелевочных волоков и среднего запаса на гектаре. Каждое сечение графика при фиксированном запасе на гектаре близко по форме к графику той же лесосеки на рис. 4. Изменение значения грузовой работы по вариантам прокладки волоков приблизительно пропорционально изменению запаса на гектаре при условии, что характер распределения древостоя по территории лесосеки не имеет существенных отличий.

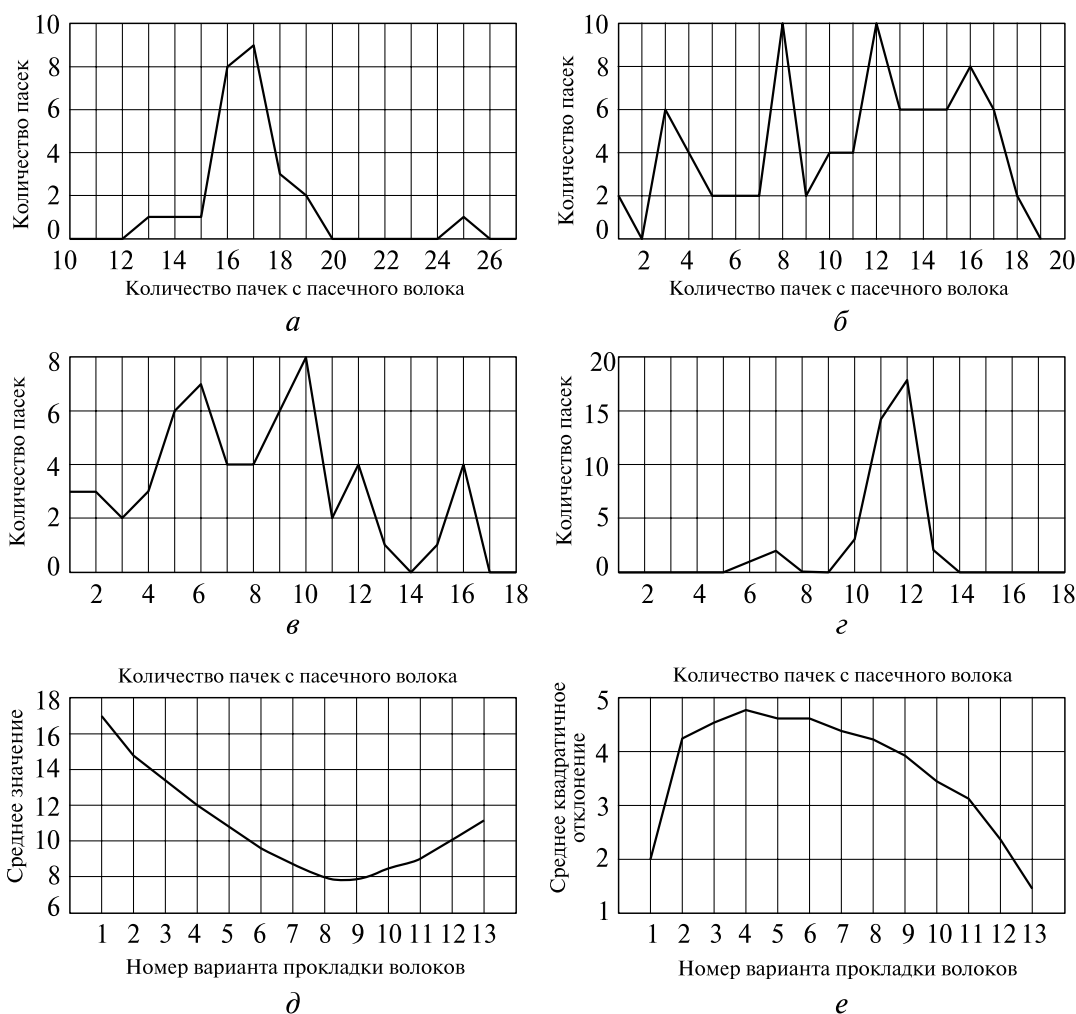


Рис. 6. Графики распределения количества пасек по максимальному числу собираемых с них трелевочных групп (пачек) для нескольких вариантов прокладки трелевочных волоков (а, б, в, г), среднего (д) и среднего квадратического отклонений (е) количества трелевочных групп по пасекам в зависимости от варианта прокладки трелевочных волоков

Fig. 6. Graphs of the distribution of the number of apiaries by the maximum number of skidding groups (packs) collected from them for several options for laying skidding dies (а, б, в, г), average (д) and standard deviation (е) depending on the option of laying skidding tracks

На рис. 6 представлены графики распределения количества пасек по максимальному числу собираемых с них трелевочных групп (пачек) для нескольких вариантов прокладки трелевочных волоков (*a*, *b*, *в*, *г*), среднего (*д*) и среднего квадратического отклонений (*е*) количества трелевочных групп по пасекам в зависимости от варианта прокладки трелевочных волоков. Графики на рис. 6, *a*, *г* построены для 1-го и 13-го вариантов прокладки трелевочных волоков, при которых все пасечные волока располагаются параллельно одной из сторон лесосеки. Графики *б* и *в* построены для промежуточных вариантов прокладки трелевочных волоков 5 и 9.

Заметные отличия между графиками *a*, *г* и *б*, *в* на рис. 6 объясняются особенностями распределения длин пасечных волоков для разных вариантов их прокладки. Для вариантов 1 и 13 длины пасечных волоков имеют небольшой разброс значений, что хорошо видно из рис. 3, и количество формируемых на этих пасеках трелевочных групп примерно одинаково. У промежуточных вариантов прокладки трелевочных волоков 5 и 9 магистральные волока находятся вблизи диагоналей фигуры лесосеки, соединяющих погрузочный пункт и дальние углы сторон лесосеки. Это приводит к тому, что длины пасечных волоков имеют существенный разброс значений и, поэтому, количество собираемых с них трелевочных групп также различно.

По графикам (см. рис. 6, *д*, *е*) видно, что среднее количество трелевочных групп, собираемых с пасек, а значит и количество двойных проходов трелевочных машин, приближается к минимуму для промежуточных вариантов прокладки трелевочных волоков по диагональной схеме, но разброс количества трелевочных групп, напротив, увеличивается. Наименьшее среднее количество трелевочных групп с пасек приходится на 8-й и 9-й варианты схем прокладки трелевочных волоков, для которых среднее квадратическое отклонение приблизительно на 20 % меньше максимального.

Выводы

Разработанная имитационная модель процесса трелевки древесины с детальным рассмотрением распределения древостоя по территории лесосеки, прокладки сети трелевочных волоков и последовательного сбора трелевочных групп (пачек) позволяет комплексно и достоверно оценить спроектированный технологический процесс на основании набора расчетных критериев эффективности. При этом выбранный набор критериев может быть расширен для лучшего отражения экологического и лесоводственного воздействия технологии лесосечных работ на лесную среду и

оценки производственно-экономических показателей. В результате значения расчетного набора критериев эффективности позволяют выбрать лучшие комбинации вариантов организации технологического процесса лесосечных работ при их большом разнообразии.

Список литературы

- [1] Рукомойников К.П., Царев Е.М., Анисимов С.Е. Обоснование среднего расстояния трелевки лесоматериалов при комплексном освоении лесных участков // Лесной журнал, 2017. № 4. С. 95–105.
- [2] Ширнин Ю.А. Технология и оборудование лесопромышленных производств. Ч. 1. Лесосечные работы. М.: МГУЛ, 2004. 445 с.
- [3] Григорьев И.В., Жукова А.И. Координатно-объемная методика трассирования при освоении лесосек трелевкой // Лесной журнал, 2004. № 4. С. 40–44.
- [4] Сюнев В.С. Сравнение технологий лесосечных работ в лесозаготовительных компаниях Республики Карелия. Йоенсуу: НИИ леса Финляндии METLA, 2008. 126 с.
- [5] Герц Э.Ф. Оценка технологии лесопользования на лесосечных работах. Екатеринбург: Уральский гос. лесотех. ун-т, 2003. 120 с.
- [6] Средоадаптивные технологии разработки лесосек в условиях северо-западного региона Российской Федерации / И.В. Григорьев, А.И. Жукова, О.И. Григорьева, А.В. Иванов. СПб.: СПбГЛТА, 2008. 174 с.
- [7] Макаренко А.В., Быковский М.А., Лаптев А.В. Эффективность выполнения технологических операций при проведении выборочных рубок леса // Актуальные проблемы развития лесного комплекса. Материалы 13-й Международной научно-технической конференции, 01–02 декабря 2015 г. Вологодский государственный университет. Вологда: ВГТУ, 2016. С. 32–37.
- [8] Макаренко, А.В. Оптимизация размещения сети трелевочных волоков на лесосеке // Лесозаготовительное производство: проблемы и решения. Материалы международной научно-технической конференции, Минск, БГТУ, 26–28 апреля 2017 г. Минск: БГТУ, 2017. С. 233–237.
- [9] Салминен Э.О., Гуров С.В., Большаков Б.М. Размещение волоков на заболоченных участках // Лесная промышленность, 1988. № 3. С. 32–33.
- [10] Барановский В.А., Некрасов Р.М. Системы машин для лесозаготовок. М.: Лесная пром-ть, 1977. 248 с.
- [11] Виногоров Г.К. Лесосечные работы. М.: Лесная пром-сть, 1981. 272 с.
- [12] Karpachev S.P., Zaprudnov V.I., Bykovskiy M.A., Scherbacov E.N. Quantitative estimation of logging residues by line-intersectmethod // Croatian journal of forest engineering, 2017, v. 38, no. 1, pp. 33–45.
- [13] Григорьев И.В. Снижение отрицательного воздействия на почву колесных тракторов обоснованием режимов их движения и технологического оборудования. СПб.: СПбГЛТА, 2006. 236 с.
- [14] Пискунов М.А. Распределение проходов форвардера и построение оптимальных схем расположения трелевочных волоков на лесосеке // Вестник Поволжского государственного технологического университета. Сер.: Лес. Экология. Природопользование, 2017. № 2 (34). С. 37–48.
- [15] Кузнецов В.И. Представляем фирму «Лестехком» — новое качество лесозаготовительной техники // Лесная промышленность, 2006. № 1. С. 12–14.
- [16] Азаренок В.А. Экологизированные рубки леса. Екатеринбург: УГЛТА, 1998. 99 с.

- [17] Скурихин В.И., Корпачев В.П. Техника и технология лесозаготовок скандинавских стран. Красноярск: СГТУ, 2001. 148 с.
- [18] Галактионов О.Н. Технологический процесс лесозаготовок и ресурсы лесосечных отходов. Петрозаводск: ПетрГУ, 2007. 95 с.
- [19] Petkovic V., Potocnic I. Planning forest road network in natural forest areas: a case study in northern Bosnia and Herzegovina // Croatian Journal of Forest Engineering, 2018, v. 39, no. 1, pp. 45–56.
- [20] Скиена С. Алгоритмы. Руководство по разработке. СПб.: БХВ-Петербург, 2013. 719 с.

Сведения об авторе

Макаренко Андрей Владимирович — канд. техн. наук, доцент кафедры «Технология и оборудование лесопромышленного производства» МГТУ им. Н.Э. Баумана (Мытищинский филиал), makarenko@mgul.ac.ru

Поступила в редакцию 10.02.2018.

Принята к публикации 08.08.2018.

MODELING AND EVALUATION OF LAYING SKIDDING TRAILS EFFICIENCY IN CUTTING AREA

A.V. Makarenko

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

makarenko@mgul.ac.ru

The article considers the principles of a simulation model development for the design of a network of skidding trails and the performance of wood skidding at definition of criteria of efficiency options of the considered and calculated options. The model uses the following efficiency criteria: the volume of cargo work, the average distance of skidding, the number of skidding groups (packs) collected from one cutting strip, the number of passes of equipment for one skid and one place. The basic elements of the proposed simulation model are considered, which allows to characterize in detail the distribution of the stand on the cutting area, to set and determine the coordinates of the boundaries of the cutting area and the main and skidding trails located on it, to perform a search of the options for the location of the trails network, to make a sequential calculation of the collection of skidding groups (packs), to calculate the selected set of efficiency criteria. As the results of the simulation model, built on the above method, the article presents some of the obtained dependencies in the form of graphs. The dependence of the value of the load work on the skidding on the consistently changing angle of inclination of the main trails for the four cutting areas under consideration, different in shape and area, is shown. Further, for one of the cutting areas, the dependence of the cargo work on the scheme of laying the trails and wood stock per unit area is presented. Also, there are the graphs of distribution of the number of cutting strips by the number of packs collected from them, depending on the option of laying skidding trails (the angle of inclination of the main trails). For each variant of the distribution of the number of cutting strips, statistical characteristics are determined: the mean and the standard deviation, which are also presented in the form of graphs. In the end, the article draws conclusions and provides recommendations on the application of the developed methods and models for the design of rational technological schemes of development of cutting areas on the basis of the features of the distribution of forest stand on its territory.

Keywords: skidding trail, cutting strip, cutting area, distribution of the stand, volume of cargo work, network of skidding trails

Suggested citation: Makarenko A.V. *Modelirovanie i otsenka effektivnosti prokladki trelevochnykh volokov na lesoseke* [Modeling and evaluation of laying skidding trails efficiency in cutting area]. *Lesnoy vestnik / Forestry Bulletin*, 2018, vol. 22, no. 6, pp. 70–78. DOI: 10.18698/2542-1468-2018-6-70-78

References

- [1] Rukomoynikov K.P., Tsarev E.M., Anisimov S.E. *Obosnovanie srednego rasstoyaniya trelevki lesomaterialov pri kompleksnom osvoenii lesnykh uchastkov* [Justification of the average distance of timber logging in the integrated development of forest areas] *Lesnoy zhurnal [Forest Journal]*, 2017, no. 4, pp. 95–105.
- [2] Shirnin Yu.A. *Tekhnologiya i oborudovanie lesopromyshlennykh proizvodstv. Ch. 1. Lesosechnye raboty* [Technology and equipment of forest industry. Part 1. Logging work]. Moscow: MGUL, 2004, 445 p.
- [3] Grigor'ev I.V., Zhukova A.I. *Koordinatno-ob'emnaya metodika trassirovaniya pri osvoenii lesosek trelevkoy* [Coordinate-volumetric tracing technique in the development of skidding sites] *Lesnoy zhurnal [Forest Journal]*, 2004, no. 4, pp. 40–44.
- [4] Syuney V.S. *Sravnenie tekhnologiy lesosechnykh rabot v lesozagotovitel'nykh kompaniyakh Respubliki Kareliya* [Comparison of logging technologies in logging companies of the Republic of Karelia]. Joensuu: Finnish Forest Research Institute METLA, 2008, 126 p.
- [5] Gerts E.F. *Otsenka tekhnologii lesopol'zovaniya na lesosechnykh rabotakh* [Evaluation of forest technology in logging work]. Ekaterinburg: Ural State. forestry. Univ., 2003, 120 p.

- [6] Grigor'ev I.V., Zhukova A.I., Grigor'eva O.I., Ivanov A.V. *Sredoshchadyashchie tekhnologii razrabotki lesosek v usloviyakh severo-zapadnogo regiona Rossiyskoy Federatsii* [Mediating technologies for the development of cutting areas in the north-western region of the Russian Federation]. SPb.: SPbGLTA, 2008, 174 p.
- [7] Makarenko A.V., Bykovskiy M.A., Laptev A.V. *Effektivnost' vypolneniya tekhnologicheskikh operatsiy pri provedenii vyborochnykh rubok lesa* [The efficiency of technological operations during selective logging] Aktual'nye problemy razvitiya lesnogo kompleksa. Materialy 13-y Mezhdunarodnoy nauchno-tekhnicheskoy konferentsii, 01–02 dekabrya 2015 g. Vologodskiy gosudarstvennyy universitet [Actual problems of the development of the forest complex. Materials of the 13th International Scientific and Technical Conference, December 01–02, 2015 Vologda State University]. Vologda: VSTU, 2016, pp. 32–37.
- [8] Makarenko A.V. *Optimizatsiya razmeshcheniya seti trelevochnykh volokov na lesoseke* [Optimizing the placement of a network of skidding trails in the cutting area // Logging production: problems and solutions]. Lesozagotovitel'noe proizvodstvo: problemy i resheniya. Materialy mezhdunarodnoy nauchno-tekhnicheskoy konferentsii, Minsk, BGTU, 26–28 aprelya 2017 g. [Materials of the international scientific and technical conference, Minsk, BSTU, April 26–28, 2017]. Minsk: BSTU, 2017, pp. 233–237.
- [9] Salminen E.O., Gurov S.V., Bol'shakov B.M. *Razmeshchenie volokov na zabolochennykh uchastkakh* [Placement of portages on wetlands] Lesnaya promyshlennost' [Forestry], 1988, no. 3, pp. 32–33.
- [10] Baranovskiy V.A., Nekrasov R.M. *Sistemy mashin dlya lesozagotovok* [Systems of machines for logging]. Moscow: Lesnaya prom-t' [Forest industry], 1977, 248 p.
- [11] Vinogorov G.K. *Lesosechnye raboty* [Logging work]. Moscow: Lesnaya prom-t' [Forest industry], 1981, 272 p.
- [12] Karpachev S.P., Zaprudnov V.I., Bykovskiy M.A., Scherbacov E.N. *Quantitative estimation of logging residues by line-intersectmethod* [Quantitative estimation of logging residues by line-intersectmethod] Croatian journal of forest engineering, 2017, v. 38, no. 1, pp. 33–45.
- [13] Grigor'ev I.V. *Snizhenie otritsatel'nogo vozdeystviya na pochvu kolesnykh traktorov obosnovaniem rezhimov ikh dvizheniya i tekhnologicheskogo oborudovaniya* [Reducing the negative impact on the soil of wheeled tractors by justifying the modes of their movement and technological equipment]. St. Petersburg: SPbGLTA, 2006, 236 p.
- [14] Piskunov M.A. *Raspredelenie prokhodov forvardera i postroenie optimal'nykh skhem raspolozheniya trelevochnykh volokov na lesoseke* [Distribution of forwarder passes and the construction of optimal layouts of skidding tracks in the cutting area]. Vestnik Volga State University of Technology. Ser.: Les. Ekologiya. Prirodopol'zovanie [Forest. Ecology. Nature use], 2017, no. 2 (34), pp. 37–48.
- [15] Kuznetsov V.I. *Predstavlyam firmu «Lestekkom» — novoe kachestvo lesozagotovitel'noy tekhniki* [We represent Lestekkom, a new quality of logging equipment] Lesnaya promyshlennost' [Forest Industry], 2006, no. 1, pp. 12–14.
- [16] Azarenok V.A. *Ekologizirovannye rubki lesa* [Eco-friendly logging]. Ekaterinburg: UGLTA, 1998, 99 p.
- [17] Skurikhin V.I., Korpachev V.P. *Tekhnika i tekhnologiya lesozagotovok skandinavskikh stran* [Technique and technology logging Scandinavian countries]. Krasnoyarsk: SSTU, 2001, 148 p.
- [18] Galaktionov O.N. *Tekhnologicheskij protsess lesozagotovok i resursy lesosechnykh otkhodov* [Technological process of logging and resources of logging waste]. Petrozavodsk: PetrSU, 2007, 95 p.
- [19] Petkovic V., Potocnic I. *Planning forest road network in natural forest areas: a case study in northern Bosnia and Herzegovina* [Planning a forest road in natural forest areas: Bosnia and Herzegovina] Croatian journal of forest engineering, 2018, v. 39, no. 1, pp. 45–56.
- [20] Skiena S. *Algoritmy. Rukovodstvo po razrabotke* [Algorithms. Development Guide]. St. Petersburg: BHV-Petersburg, 2013, 719 p.

Author's information

Makarenko Andrey Vladimirovich — Cand. Sci. (Tech.), Associated Professor of Chair of Technology and Equipment of Timber Production of BMSTU (Mytishchi branch), makarenko@mgul.ac.ru

Received 10.02.2018.

Accepted for publication 08.08.2018.

ИССЛЕДОВАНИЕ ВЕРОЯТНОСТНЫХ ЗАВИСИМОСТЕЙ, ОБУСЛОВЛИВАЮЩИХ ПЛАНИРОВАНИЕ РИТМИЧНОГО СТРОИТЕЛЬСТВА ЛЕСОВОЗНЫХ АВТОМОБИЛЬНЫХ ДОРОГ

Ю.А. Сафонова¹, Е.В. Чирков², В.В. Самцов¹, М.А. Абасов¹,
А.В. Скрыпников¹, Д.В. Бурмистров³, В.В. Никитин⁴

¹Воронежский государственный университет инженерных технологий, 394036, г. Воронеж, проспект Революции, д. 19

²Воронежский государственный лесотехнический университет им. Г.Ф. Морозова, 394087, г. Воронеж, ул. Тимирязева, д. 8

³Ухтинский государственный технический университет, 169300, Республика Коми, г. Ухта, ул. Первомайская, д. 13

⁴МГТУ им. Н.Э. Баумана (Мытищинский филиал), 141005, Московская область, г. Мытищи, ул. 1-я Институтская, д. 1

nikitinvv@bmstu.ru

На основе определения влияния годовой прибыли и распределения объемов работ по отдельным периодам возможно выявление условий наиболее эффективного ритмичного планирования строительства лесовозных автомобильных дорог, что позволит охарактеризовать фактическую ритмичность строительства лесовозных автомобильных дорог. Установлено, что зависимость между прибылью, полученной при распределении работ за установленный период, и степенью годовой ритмичности может быть описана параболическим законом. Определены виды уравнений и найдены оптимальные значения годовой ритмичности выполнения монтажных работ при строительстве лесовозных автомобильных дорог. Анализ полученных зависимостей показал, что с течением времени степень годовой ритмичности и уровень прибыли возрастают. Это можно объяснить тем, что за счет применения новой совершенной строительной техники и материалов, позволяющих расширить строительный сезон, а также современных технологий рост годовой ритмичности строительства лесовозных автомобильных дорог по периодам выравнивается, т. е. стремится к постоянной, а это в свою очередь вызывает увеличение годовой прибыли. Представлен аналитический и графический вид полученных зависимостей между Π , P_r и T по каждой из классификационных групп (по дорожно-климатическим зонам), позволяющий решать ряд важных задач, связанных с планированием строительства лесовозных автомобильных дорог в течение года. Особую актуальность приобретает оперативное календарное планирование работ, которое связано с организацией производства в пределах строительного потока, рабочих мест и т. д. Таким образом, критерием оптимальности принятия решений по оперативному календарному планированию и организации производства дорожно-строительных работ целесообразно принять показатель производственной ритмичности.

Ключевые слова: ритмичное строительство, лесовозные автомобильные дороги, эффективность планирования, статистический анализ

Ссылка для цитирования: Сафонова Ю.А., Чирков Е.В., Самцов В.В., Абасов М.А., Скрыпников А.В., Бурмистров Д.В., Никитин В.В. Исследование вероятностных зависимостей, обусловливающих планирование ритмичного строительства лесовозных автомобильных дорог // Лесной вестник / Forestry Bulletin, 2018. Т. 22. № 6. С. 79–87. DOI: 10.18698/2542-1468-2018-6-79-87

Изучение влияния прибыли и распределения объемов работ на эффективность ритмичного планирования строительства лесовозных автомобильных дорог дает возможность получения фактических значений ритмичности строительства.

Цель работы

Цель работы — выявить условия наиболее эффективного планирования строительства лесовозных автомобильных дорог в течение всего года.

Материалы и методы

В качестве критерия оптимальности годового планирования объемов строительства лесовозных автомобильных дорог наиболее целесообразно принять максимально ожидаемую прибыль, а равномерность распределения объемов работ как выполняемых, так и планируемых (в тыс. руб.) по отдельным периодам (кварталам) оценивать степенью годовой ритмичности.

С целью определения зависимостей между степенью годовой ритмичности P_r , отвечающей определенному распределению объемов работ по кварталам, и прибылью — Π , полученной при квартальном распределении работ, собраны данные, характеризующие производственно-хозяйственную деятельность предприятий лесного комплекса республики Коми в период с 2014 по 2017 гг. Сбор данных о годовом распределении объемов работ и годовой прибыли произведен по годовым отчетам организаций [1–6].

Для удобства сопоставления и проведения общего анализа исходных данных годовая прибыль преобразована в удельную. Под удельной прибылью организации следует понимать общую годовую прибыль, отнесенную на 1 млн руб. строительно-монтажных работ, выполненных собственными силами этой же организации за анализируемый период [7–12].

Исследование условий наиболее эффективного ритмичного планирования строительства лесовозных автомобильных дорог базируется на определении зависимостей между годовой прибылью и распределением объемов работ по отдельным периодам (1/2 квартала, в году 8 периодов), что характеризует фактическую ритмичность строительства лесовозных автомобильных дорог.

Результаты и обсуждение

На основе анализа производственно-хозяйственной деятельности лесопромышленных предприятий республики Коми с 2014 по 2017 гг. установлено 144 зависимости между удельной прибылью и фактической ритмичностью.

Характер корреляционных полей, образованных систематизированными по установленным классификациям и годам данными, характеризующим степень годовой ритмичности работы и полученную при этом прибыль, дает наглядное представление о том, что между Π и P_r каждого анализируемого года существует зависимость, которая может быть описана параболическим законом (рис. 1) [13–16].

Исходя из этого, функциональные зависимости между Π и P_r каждого исследуемого года представлены в виде аппроксимирующего полинома 4-й степени. В общем случае уравнение полинома 4-й степени имеет вид

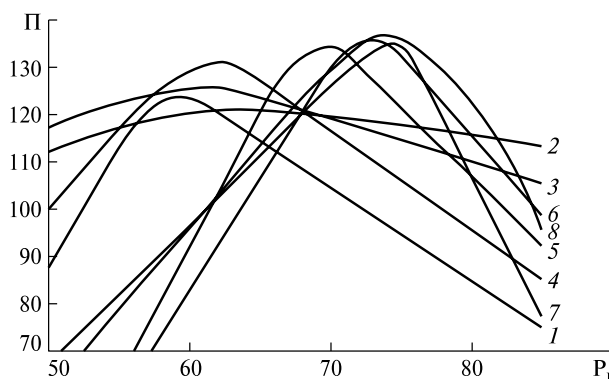


Рис. 1. Графики зависимости удельной годовой прибыли от ритмичности по анализируемым периодам

Fig. 1. Graphs of the dependence of the specific annual profit on rhythmicity for the analyzed periods

$$\Pi = a_0 + a_1 P_r + a_2 P_r^2 + a_3 P_r^3 + a_4 P_r^4, \quad (1)$$

где a_0, a_1, \dots, a_4 — коэффициенты регрессии.

Определение функциональных зависимостей между Π и P_r типа (1) для установленных классификаций по годам проведено с использованием современных информационных технологий [17–19]. Полученные при этом коэффициенты регрессии и показатели, характеризующие зависимость $\Pi = f(P_r)$, приведены в табл. 1.

Т а б л и ц а 1

Результаты расчета коэффициентов уравнений, описывающих зависимость $\Pi = f(P_r)$, и статистического анализа

The results of calculating the coefficients of the equations describing the dependence $\Pi = f(P_r)$ and statistical analysis

Анализируемый период	Коэффициенты регрессии					Средне-квadraticеская ошибка аппроксимации по максимальному отклонению, %	Оптимальная годовая ритмичность, %	Оптимальная годовая прибыль, тыс. руб.
	a_0	a_1	a_2	a_3	a_4			
А. II–III дорожно-климатические зоны								
67	–2484	164,5	–3,74	$0,36 \cdot 10^{-1}$	$22 \cdot 10^{-1}$	8,16	47,26	1170,63
68	648,4	–64,4	2,32	$–0,33 \cdot 10^{-1}$	$0,16 \cdot 10^{-3}$	5,50	53,50	1120,04
69	–1651	60,5	–0,064	$–0,15 \cdot 10^{-1}$	$1,21 \cdot 10^{-4}$	5,70	53,73	1230,88
70	2071	–145,5	3,79	$–0,42 \cdot 10^{-1}$	$1,59 \cdot 10^{-4}$	3,60	59,90	1240,65
71	1718	–104,8	2,33	$–0,2 \cdot 10^{-1}$	$0,52 \cdot 10^{-4}$	5,41	60,48	1280,25
72	–1190	44,57	–0,12	$–0,82 \cdot 10^{-2}$	$0,66 \cdot 10^{-4}$	7,88	62,21	1260,12
73	–915	61,2	–1,45	$1,61 \cdot 10^{-2}$	$–0,70 \cdot 10^{-4}$	3,19	64,69	1260,73
74	89,17	–1,97	–0,244	$0,6413 \cdot 10^{-2}$	$–0,428 \cdot 10^{-4}$	5,14	64,72	1270,10
Б. IV дорожно-климатическая зона								
67	–1774	51,85	0,30	$–1,8 \cdot 10^{-2}$	$1,2 \cdot 10^{-4}$	8,08	58,48	1210,56
68	56,42	–3,31	0,21	$–0,32 \cdot 10^{-2}$	$1,48 \cdot 10^{-5}$	4,67	60,64	1200,10
69	–617,1	36,36	–0,66	$0,53 \cdot 10^{-2}$	$–1,64 \cdot 10^{-5}$	3,74	61,64	1250,95
70	–3857	140,4	–1,01	$–1,01 \cdot 10^{-2}$	$1,06 \cdot 10^{-4}$	2,95	61,95	1310,14
71	5659	188,8	–1,34	$–0,95 \cdot 10^{-2}$	$1,00 \cdot 10^{-4}$	4,70	68,69	1360,36
72	–3849	–38,7	5,47	$0,87 \cdot 10^{-1}$	$0,40 \cdot 10^{-3}$	4,07	72,37	1360,00
73	–4426	223	–4,25	$3,79 \cdot 10^{-2}$	$–1,35 \cdot 10^{-4}$	1,33	73,50	1360,40
74	–1421	–52,04	0,3538	$6,099 \cdot 10^{-3}$	$–0,14 \cdot 10^{-4}$	6,49	74,39	1370,25

Оптимальные значения годовой ритмичности выполнения строительно-монтажных работ установлены путем экстраполяции функций типа (1) [6, 20], которая после преобразования имеет вид

$$4a_4P_r^3 + 3a_3P_r^2 + 2a_2P_r + a_1 = 0. \quad (2)$$

Определение корней уравнений типа (2) проведено с использованием современных информационных технологий нахождения корней многочлена с действительными коэффициентами по методу Хичкока [21–23]. Значения корней уравнений типа (2), которые попадают в анализируемые периоды годовой ритмичности ($P_r = 40–80\%$), являются оптимальными значениями годовой ритмичности соответствующего периода (см. табл. 1). Путем подстановки оптимальных значений P_r в соответствующие уравнения $\Pi = f(P_r)$ типа (1) получены значения максимальной годовой прибыли, которые занесены в табл. 2.

Графическое представление зависимостей $\Pi = f(P_r)$ (см. рис. 1) по классификациям для каждого анализируемого периода производственно-хозяйственной деятельности наглядно показывает, что существуют связи как между Π и P_r определенного года, так и между максимальными значениями прибыли Π_m и оптимальными величинами годовой ритмичности $P_{r,0}$ с течением времени T , т. е. рост годовой ритмичности влечет за собой рост удельной прибыли.

Характер расположения точек парных зависимостей Π_m и $P_{r,0}$, Π_m и T , $P_{r,0}$ и T , образующих корреляционные поля, указывает на целесообразность описания зависимостей по линейному закону (рис. 2), т. е. аппроксимирующими полиномами 1-й степени, которые в общем случае имеют вид

$$\begin{aligned} \Pi_m &= a_{01} + a_{11}P_{r,0}; \quad P_{r,0} = a_{02} + a_{12}T; \\ \Pi_m &= a_{03} + a_{13}T. \end{aligned} \quad (3)$$

Обработка статистических данных проведена с использованием современных информационных технологий. При этом за базовый период ($T = 1$) принят 2014 г. Для каждой из установленных классификаций А и Б (см. табл. 1) уравнения парной зависимости между Π_m , $P_{r,0}$ и T имеют вид:

$$\left. \begin{aligned} \text{А. } \Pi &= 83,11 + 0,69P_r \\ \text{Б. } \Pi &= 64,57 + 0,99P_r \end{aligned} \right\}; \quad (4)$$

$$\left. \begin{aligned} \text{А. } P_r &= 47,38 + 2,43T \\ \text{Б. } P_r &= 54,96 + 2,55T \end{aligned} \right\}; \quad (5)$$

$$\left. \begin{aligned} \text{А. } \Pi &= 115,26 + 1,79T \\ \text{Б. } \Pi &= 118,45 + 2,70T \end{aligned} \right\}. \quad (6)$$

Т а б л и ц а 2

Характеристика зависимостей между удельной прибылью и ритмичностью с течением времени

Characteristics of the relationship between the specific profit and rhythmicity over time

Тип парных зависимостей	А. II–III дорожно-климатические зоны		Б. IV дорожно-климатическая зона	
	Среднеквадратическая ошибка аппроксимации, L^2	Коэффициенты парной корреляции, r	Среднеквадратическая ошибка аппроксимации, L^2	Коэффициенты парной корреляции, r
$\Pi = f(T)$	0,0515	0,62	0,0278	0,87
$\Pi = f(P_r)$	0,0508	0,55	0,0370	0,78
$P_r = f(T)$	0,0410	0,90	0,0510	0,90

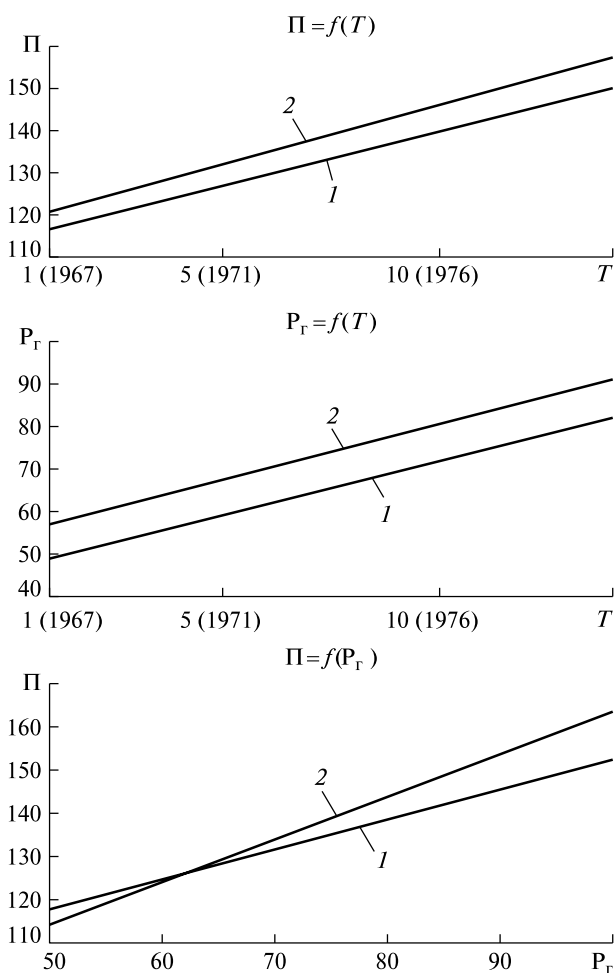


Рис. 2. Графики парных зависимостей между Π , P_r и T (1 — I–III дорожно-климатические зоны; 2 — IV дорожно-климатическая зона)
Fig. 2. Graphs of paired dependences between Π , P_r and T (1 — I, II, III — road and climatic zones, 2 — IV — road and climatic zones)

О точности описания линейным законом зависимостей между годовой удельной прибылью, ритмичностью по анализируемым периодам (годам) строительства можно судить по среднеквадратическим погрешностям аппроксимации, значения которых сведены в табл. 2.

Как видно из табл. 2, среднеквадратические ошибки аппроксимации уравнений (4)–(6) невысоки и составляют в среднем 4,6 %, что подтверждает правильность описания зависимостей между Π , P_r и T линейным законом.

Значимость уравнений (5), (6) проверена путем определения коэффициентов парной корреляции между Π и $T - r_{\Pi-T}$, Π и $P_r - r_{\Pi-P_r}$, P_r и $T - r_{P_r-T}$.

Определение коэффициентов парной корреляции выполнено с применением современных информационных технологий по программе построения многофакторных регрессионных моделей. При этом число факторов принималось равным двум, т. е. $N = 2$, а в качестве исходных данных брали максимальные значения прибыли и соответствующую им степень ритмичности из табл. 2.

Значения коэффициентов парной корреляции для различных видов зависимостей (4)–(6) применительно к классификациям по дорожно-климатическим зонам приведены в табл. 2.

Как видно из табл. 2, коэффициенты парной корреляции уравнений (5), (6) довольно высоки и составляют в среднем 0,7, что говорит о значимости рассмотренных зависимостей между Π , P_r и T , т. е. они существенны и взаимно определяют друг друга.

Так как между Π , P_r и T есть парные связи, то в общем виде должна соблюдаться зависимость

$$\Pi = f(P_r, T). \quad (7)$$

Уравнения множественной зависимости типа (7) для каждой из установлены классификаций А и Б нетрудно получить, если над системами уравнений (5), (6) проделать соответствующие операции. Сложение уравнений А.(4) и А.(6), а также уравнений Б.(4) и Б.(6) позволяет получить уравнения множественной регрессии типа (7), которые имеют вид

$$\left. \begin{aligned} \text{А. } \Pi &= 99,18 + 0,895T + 0,345P_r \\ \text{Б. } \Pi &= 91,51 + 1,35T + 0,495P_r \end{aligned} \right\} \quad (8)$$

Кроме того, определение множественных зависимостей между Π , P_r и T , имеющее большое значение для планирования строительства лесовозных автомобильных дорог, проведено по программе построения многофакторных регрессионных моделей с применением современных информационных технологий. В конечном итоге получены уравнения множественной регрессии типа $\Pi = f(T, P_r)$, которые применительно к уста-

новленным классификациям по дорожно-климатическим зонам имеют вид

$$\left. \begin{aligned} \text{А. } \Pi &= 111,13 + 0,57T + 0,087P_r \\ \text{Б. } \Pi &= 112,85 + 2,44T + 0,102P_r \end{aligned} \right\} \quad (9)$$

Статистический анализ уравнений (9) свидетельствует о том, что они значимы, так как коэффициенты множественной корреляции (R) соответственно равны 0,810 и 0,864. Коэффициенты множественной детерминации (R^2), равные соответственно 0,66 и 0,748, показывают, что уровень годовой прибыли определяется удельным весом исследуемых факторов (T и P_r) для уравнений (9) на 66 % и 74,8 %.

Полученные при статистическом анализе уравнений коэффициенты частной корреляции для факторов T и P_r , которые соответственно равны: $r_T = 0,756$; $r_{P_r} = 0,958$ для уравнения А.(9), $r_T = 0,929$; $r_{P_r} = 0,966$ для уравнения Б.(9), показывают каков удельный вес каждого фактора влияния (T и P_r) на уровень годовой прибыли организации.

Анализ уравнений (8) и (9) позволяет сделать выводы о том, что с течением времени (с увеличением T) степень годовой ритмичности и уровень прибыли растут. Рост годовой ритмичности строительства лесовозных автомобильных дорог может быть объяснен тем, что вследствие создания новой, улучшенной строительной техники и материалов, позволяющих расширить строительный сезон, более совершенной технологии, ритмичность строительства по кварталам выравнивается, т. е. стремится к постоянной, а это в свою очередь вызывает увеличение годовой прибыли.

Аналитическое и графическое представление зависимостей между Π , P_r и T по каждой из классификационных групп (по дорожно-климатическим зонам) позволяет решать ряд важных задач, связанных с планированием строительства лесовозных автомобильных дорог в течение года.

К наиболее важным задачам, решаемым с помощью установленных зависимостей, относятся:

- установление оптимальных объемов работ путем определения перспективной годовой ритмичности строительства лесовозных автомобильных дорог;
- определение оптимального плана по величине максимальной годовой прибыли, получаемой при различных вариантах планирования производства;
- определение перспективной годовой прибыли предприятия лесопромышленного комплекса на определенный планируемый год.

При планировании квартальных объемов работ рассматриваются варианты распределения дорожно-строительных работ при выполнении их собственными силами или путем привлечения субподрядных организаций. При этом рассматри-

ваются варианты приобретения новой техники, изменения технологии и т.д.

На основе анализа уравнений (8) и (9), исходных данных, характеризующих производственно-хозяйственную деятельность предприятия, и по графикам зависимостей между удельной прибылью и годовой ритмичностью (см. рис. 2) установлено наиболее рациональное распределение объемов работ по кварталам для определенных классификационных групп в настоящее время (табл. 3)

Т а б л и ц а 3
Распределение объемов работ по выделенным периодам времени для выбранных классификационных групп
Distribution of work volumes for selected time periods for selected classification groups

Классификационные группы	Кварталы			
	I	II	III	IV
А. II–III дорожно-климатические зоны	Распределение объемов работ, %			
	19	28	31	22
Б. IV дорожно-климатическая зона	22	27	28	33

Выводы

Как видно из табл. 3, основные объемы дорожного строительства (55–60 %) выполняются во II–III кварталах. Однако из анализа уравнений (8) и (9) следует, что годовой объем работ по кварталам, вследствие роста ритмичности дорожно-строительного производства, будет распределяться равномерно, т. е. по 25 % в каждом квартале. В связи с этим особую актуальность приобретает непрерывное внутриквартальное планирование работ — оперативное календарное планирование, которое непосредственно связано с организацией производства в пределах строительного потока, рабочих мест и т. д.

В качестве критерия оптимальности принятия решений по оперативному календарному планированию и организации производства дорожно-строительных работ, как было обосновано выше, целесообразно принять показатель производственной ритмичности.

Список литературы

- [1] 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.
- [2] Method of Individual Forecasting of Technical State of Logging Machines / V.G. Kozlov, V.A. Gulevsky, A.V. Skrypnikov, V.S. Logoyda, A.S. Menzhulova // IOP Conference Series: Materials Science and Engineering, 2018, v. 327(4), p. 042056. DOI: 10.1088/1757-899X/327/4/042056
- [3] Модель режимов движения транспортных потоков на лесовозных автомобильных дорогах / В.К. Курьянов, А.В. Скрыпников, Е.В. Кондрашова, В.А. Морковин // Известия высших учебных заведений. Лесной журнал, 2014. № 2 (338). С. 61–67.
- [4] Техногенное воздействие мобильных сельскохозяйственных машин на почву / А.В. Скрыпников, Е.В. Кондрашова, Ю.И. Трофимов, М.Н. Леонова // Вестник Воронежского государственного аграрного университета, 2013. № 1. С. 51–56.
- [5] Dorokhin S.V. Mathematical model of statistical identification of car transport informational provision // ARPN Journal of Engineering and Applied Sciences, 2017. Т. 12. № 2. С. 511–515.
- [6] Курьянов В.К., Скрыпников А.В., Борисов В.А. Лесотранспорт как система водитель-автомобиль-дорога-среда. М.: МГУЛ, 2010. 370 с.
- [7] Kozlov V.G. Mathematical modeling of damage function when attacking file server // Journal of Physics: Conference Series, 2018, v. 1015, pp. 032069.
- [8] Повышение удобства и безопасности движения лесовозных автопоездов на кривых малого радиуса / В.К. Курьянов, Д.Н. Афоничев, О.Н. Бурмистрова, А.В. Скрыпников // Вестник Центрально-Черноземного регионального отделения наук о лесе Российской академии естественных наук Воронежской государственной лесотехнической академии, 2002. Т. 4. № 1. С. 178–187.
- [9] Скворцова Т.В., Скрыпников А.В., Кондрашова Е.В. Обоснование ресурсных показателей при строительстве лесовозных автомобильных дорог // В мире научных открытий, 2011. № 9–6 (21). С. 1841–1848.
- [10] Выбор критерия принятия решений при управлении информационным обеспечением автомобильного транспорта / А.В. Скрыпников, В.Г. Козлов, Е.В. Кондрашова, Д.В. Бурмистров // Международный журнал прикладных и фундаментальных исследований, 2016. № 4–4. С. 686–689.
- [11] Обоснование необходимого минимального уровня видимости дорожной разметки / А.В. Скрыпников, Е.В. Кондрашова, С.В. Дорохин, В.Н. Логачев, А.Г. Чистяков // Современные проблемы науки и образования, 2014. № 6. С. 48.
- [12] Моделирование влияния проектируемых дорожных условий на эмиссию токсичных веществ / В.К. Курьянов, О.В. Рябова, А.В. Скрыпников, Е.В. Кондрашова, А.В. Тарарыков // Вопросы современной науки и практики. Университет им. В.И. Вернадского, 2008. Т. 2. № 3 (13). С. 180–184.
- [13] Применение цифровых моделей местности для трассирования лесных автомобильных дорог / М.М. Умаров, А.В. Скрыпников, Е.В. Чернышова, Е.Ю. Микова // Известия высших учебных заведений. Лесной журнал, 2018. № 2 (262). С. 58–69.
- [14] Рябова О.В., Курьянов В.К., Скрыпников А.В. Обеспечение безопасности на различных участках автомобильных дорог // Известия высших учебных заведений. Северо-Кавказский регион. Сер.: Технические науки, 2004. № S9. С. 198–202.
- [15] Скрыпников А.В. Методы построения эпюр скорости как основы оценки соответствия проекта дороги требованиям движения. Воронеж: ВГЛТУ им. Г.Ф. Морозова, 2001. 17 с.
- [16] Поляков Ю.А., Курьянов В.К., Скрыпников А.В. Оценка транспортно-эксплуатационных качеств горных лесовозных автомобильных дорог в системе автоматизированного проектирования. Воронеж: ВГЛТУ им. Г.Ф. Морозова, 2001. 149 с.

- [17] Математическая модель процессов загрязнения почв и растений придорожной полосы лесных автомобильных дорог / Е.В. Кондрашова, Т.В. Скворцова, А.В. Скрыпников, В.Н. Логачев // Международный журнал прикладных и фундаментальных исследований, 2012. № 5. С. 117–119.
- [18] Методика определения влияния природных факторов на стоимость строительства земляного полотна лесовозных дорог / А.В. Скрыпников, В.Г. Козлов, Д.В. Ломакин, В.С. Логойда // Современные наукоемкие технологии, 2016. № 11–2. С. 305–309.
- [19] Автоматизированный расчет уровня параметрического загрязнения окружающей среды объектами автомобильно-транспортного комплекса. / В.К. Курьянов, А.В. Скрыпников, Т.В. Скворцова, Е.В. Кондрашова. Воронеж: ВГЛУ им. Г.Ф. Морозова, 2003. 20 с.
- [20] Скворцова Т.В. Автоматизированный расчет уровня загрязнения поверхностного стока на автомобильной дороге. Воронеж: Воронеж. гос. лесотехн. акад., 2003. 26 с.
- [21] Заець О.С., Скрыпников А.В., Чернышова Е.В. Оценка эффективности системы защиты информации автоматизированной системы проектирования сложных многокомпонентных продуктов // Междисциплинарные исследования в области математического моделирования и информатики: сб. тр. 5-й науч.-практ. интернет-конф., Тольятти, Тольяттинский гос. ун-т 27-28 января 2015 г. Ульяновск: SIMJET, 2015. С. 31–38.
- [22] Скрыпников А.В., Курьянов В.К. Современные методики анализа загрязнения воздушного бассейна почв и растений соединениями свинца // Лесопромышленная логистика и информационные системы лесного комплекса: сб. тр. Междунар. науч.-техн. конф., посвящ. 200-летию Санкт-Петербургской государственной лесотехнической академии, 11 апреля 2003 г. Санкт-Петербургская государственная лесотехническая академия. СПб.: СПбГЛТА, 2003. С. 203.
- [23] Михайлулов Е.А., Курьянов В.К., Скрыпников А.В. Учет ровности и шероховатости покрытий в тяговых расчетах // Лесное хозяйство Поволжья. Межвузовский сборник научных работ, Саратов: Саратовский гос. аграр. ун-т им. Н.И. Вавилова, 2002. С. 583–586.

Сведения об авторах

Сафонова Юлия Александровна — канд. техн. наук, доцент кафедры высшей математики и информационных технологий Воронежского государственного университета инженерных технологий, kulakova7@yandex.ru.

Чирков Евгений Викторович — аспирант кафедры автомобилей и сервиса Воронежского государственного лесотехнического университета им. Г.Ф. Морозова, dsvvvn@yandex.ru.

Абасов Максим Александрович — научный сотрудник ФГБОУ ВО «Воронежский государственный университет инженерных технологий», burmistrdv@mail.ru

Самцов Вадим Викторович — научный сотрудник ФГБОУ ВО «Воронежский государственный университет инженерных технологий», burmistrdv@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

Бурмистров Дмитрий Валерьевич — канд. техн. наук, ассистент кафедры инжиниринга технологических машин и оборудования Ухтинского государственного технического университета, г. Ухта, Северо-Западный федеральный округ, Республика Коми, Российская Федерация.

Никитин Владимир Валентинович — канд. техн. наук, начальник отдела международного научно-образовательного сотрудничества МГТУ им. Н.Э. Баумана (Мытищинский филиал), nikitinvv@bmstu.ru.

Поступила в редакцию 22.09.2018.

Принята к публикации 29.10.2018.

INVESTIGATION OF PROBABILISTIC DEPENDENCIES, ADJUSTING PLANNING OF RHYTHMIC LOGGING ROADS CONSTRUCTION

Yu.A. Safonova¹, E.V. Chirkov², V.V. Samtsov¹, M.A. Abasov¹,
A.V. Skrypnikov¹, D.V. Burmistrov³, V.V. Nikitin⁴

¹Voronezh State Technical University, 84, 20 years of October st., 394006, Voronezh, Russia

²Voronezh State University of Engineering Technologies, 19, Revolution av., 394036, Voronezh, Russia

³Ukhta State Technical University, 13, Pervomaiskaya st., 169300, Ukhta, Republic of Komi, Russia

⁴BMSTU (Mytishchi branch), 1, 1st Institutskaya st., 141005, Mytishchi, Moscow reg., Russia

nikitinvv@bmstu.ru

On the basis of determining the impact of annual profits and the distribution of work volumes for individual periods, it is possible to identify the conditions for the most effective rhythmic planning of the construction of logging roads, which will allow us to characterize the actual rhythm of the construction of forest roads. It is established that the relationship between the profit obtained in the distribution of works for a specified period and the degree of annual rhythmicity can be described by a parabolic law. The types of equations were determined and the optimal values of the annual rhythm of the assembly work during the construction of logging roads were found. Analysis of the obtained dependencies has shown that over time, the annual rhythm and the level of profit increase. This can be explained by the fact that due to the use of new advanced construction equipment and materials that allow expanding the construction season, as well as modern technologies, the annual rhythm of the construction of logging roads is equalized by periods, i. e. strive for a permanent, and this in turn causes an increase in annual profits. The analytical and graphical view of the obtained dependences between P, P_g and T for each of the classification groups (for road-climatic zones) presented in the publication allows solving a number of important tasks related to planning the construction of logging roads during the year. The operational scheduling of works, which is connected with the organization of production within the limits of the construction stream, workplaces, etc., becomes especially urgent. Thus, the criterion of the optimality of making decisions on operational scheduling and organizing the production of road construction works, it is advisable to take the indicator of production rhythm.

Keywords: rhythmic construction, timber roads, planning efficiency, statistical analysis

Suggested citation: Safonova Yu.A., Chirkov E.V., Samtsov V.V., Abasov M.A., Skrypnikov A.V., Burmistrov D.V., Nikitin V.V. *Issledovanie veroyatnostnykh zavisimostey, obuslavlivayushchikh planirovanie ritmichnogo stroitel'stva lesovoznykh avtomobil'nykh dorog* [Investigation of probabilistic dependencies, adjusting planning of rhythmic logging roads construction]. *Lesnoy vestnik / Forestry Bulletin*, 2018, vol. 22, no. 6, pp. 79–87. DOI: 10.18698/2542-1468-2018-6-79-87

References

- [1] Gulevskiy V.A., Skrypnikov A.V., Kozlov V.G., Lomakin D.V., Mikova E.Yu. *Eksperimental'naya otsenka stsepykh kachestv i rovnosti pokrytiy pri razlichnykh sostoyaniyakh avtomobil'nykh dorog i pogodnykh usloviyakh* [Experimental evaluation of coupling qualities and evenness of coatings under various conditions of highways and weather conditions]. *Vestnik Voronezhskogo gosudarstvennogo agrarnogo universiteta* [Bulletin of the Voronezh State Agrarian University], 2018, v. 11, no. 1 (56), pp. 112–118.
- [2] Kozlov V.G., Gulevskiy 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), p. 042056. DOI: 10.1088/1757-899X/327/4/042056
- [3] Kuryanov V.K., Skrypnikov A.V., Kondrashova E.V., Morkovin V.A. *Model' rezhimov dvizheniya transportnykh potokov na lesovoznykh avtomobil'nykh dorogah* [A model of traffic flow regimes on logging roads]. *Izvestiya vysshikh uchebnykh zavedeniy. Lesnoy zhurnal* [Bulletin of higher educational institutions. Lesnoy zhurnal], 2014, no. 2 (338), pp. 61–67.
- [4] Skrypnikov A.V., Trofimov Yu.I., Leonova M.N., Kondrashova E.V. *Tekhnogennoe vozdeystvie mobil'nykh sel'skokozyaystvennykh mashin na pochvu* [Technogenic impact of mobile agricultural machines on soil]. *Vestnik Voronezhskogo gosudarstvennogo agrarnogo universiteta* [Bulletin of the Voronezh State Agrarian University], 2011, no. 1, pp. 51–56.
- [5] Dorokhin S.V. *Mathematical model of the statistical identification of car transport informational provision*. *ARPN Journal of Engineering and Applied Sciences*, 2017, v. 12, no. 3, pp. 185–199.
- [6] Kuryanov V.K., Skrypnikov A.V., Borisov V.A. *Lesotransport kak sistema voditel'-avtomobil'-doroga-sreda* [Lesotransport as a driver-car-road-environment system: training manual for universities]. Moscow: MSFU Publ., 2010. 370 p.
- [7] Kozlov V.G. *Mathematical modeling of damage function when attacking file server*. *Journal of Physics: Conference Series*, 2018, v. 1015, p. 032069.
- [8] Kuryanov V.K., Afonichev D.N., Burmistrova O.N., Skrypnikov A.V. *Povyshenie udobstva i bezopasnosti dvizheniya lesovoznykh avtopoezdov na krivykh malogo radiusa* [Increase of convenience and safety of movement of logging road trains on curves of small radius]. *Vestnik Central'no-Chernozemnogo regional'nogo otdeleniya nauk o lese Rossiyskoy akademii estestvennykh nauk Voronezhskoy gosudarstvennoy lesotekhnicheskoy akademii* [Bulletin of the Central Black Earth Regional Division of Forest Sciences of the Russian Academy of Natural Sciences, Voronezh State Forestry Academy], 2002, v. 4, no. 1, pp. 178–187.
- [9] Skvortsova T.V., Skrypnikov A.V., Kondrashova E.V. *Obosnovanie resursnykh pokazateley pri stroitel'stve lesovoznykh avtomobil'nykh dorog* [Justification of resource indicators in the construction of logging roads]. *V mire nauchnykh otkrytiy* [In the world of scientific discoveries], 2011, no. 9-6 (21), pp. 1841–1848.

- [10] Skrypnikov A.V., Kozlov V.G., Kondrashova E.V., Burmistrov D.V. *Iybor kriteriya prinyatiya resheniy pri upravlenii informatsionnym obespecheniem avtomobil'nogo transporta* [Choice of the criterion for decision-making in the management of information support of motor transport]. *Mezhdunarodnyy zhurnal prikladnyh i fundamental'nyh issledovaniy* [International Journal of Applied and Fundamental Research], 2016, no. 4–4, pp. 686–689.
- [11] Skrypnikov A.V., Kondrashova E.V., Dorokhin S.V., Logachev V.N., Chistyakov A.G. *Obosnovanie neobhodimogo minimal'nogo urovnya vidimosti dorozhnoy razmetki* [Justification of the required minimum visibility level of the road marking]. *Sovremennye problemy nauki i obrazovaniya* [Modern problems of science and education], 2014, no. 6, p. 48.
- [12] Kuryanov V.K., Ryabova O.V., Skrypnikov A.V., Kondrashova E.V., Tararykov A.V. *Modelirovanie vliyaniya proektiruemyyh dorozhnykh usloviy na ehmissiyu toksichnykh veshchestv* [Modeling the influence of projected road conditions on the emission of toxic substances]. *Voprosy sovremennoy nauki i praktiki. Universitet im. V.I. Vernadskogo* [Questions of modern science and practice. University of. IN AND. Vernadsky], 2008, v. 2, no. 3 (13), pp. 180–184.
- [13] Umarov M.M., Skrypnikov A.V., Chernyshova E.V., Mikova E.Yu. *Primenenie cifrovyyh modeley mestnosti dlya trassirovaniya lesnykh avtomobil'nykh dorog* [Application of digital terrain models for tracing forest roads]. *Izvestiya vysshikh uchebnykh zavedeniy. Lesnoy zhurnal* [Bulletin of higher educational institutions. Lesnoy zhurnal], 2018, no. 2 (262), pp. 58–69.
- [14] Ryabova O.V., Kuryanov V.K., Skrypnikov A.V. *Obespechenie bezopasnosti na razlichnykh uchastkakh avtomobil'nykh dorog* [Providing security on various sections of highways]. *Izvestiya vysshikh uchebnykh zavedeniy. Severo-Kavkazskiy region. Seriya: Tekhnicheskie nauki* [Izvestiya Vysshikh Uchebnykh Zavedenii. North-Caucasian region. Series: Engineering], 2004, no. S9, pp. 198–202.
- [15] Skrypnikov A.V. *Metody postroeniya ehpyur skorosti kak osnovy ocenki sootvetstviya proekta dorogi trebovaniyam dvizheniya* [Methods for constructing speed diagrams as a basis for assessing the compliance of a road project with traffic requirements]. *Voronezh: Voronezh. gos. lesotekhn. un-t im. G.F. Morozova*, 2001, p. 17.
- [16] Polyakov A.A., Kuryanov V.K., Skripnikov A.V. *Ocenka transportno-ehkspluatatsionnykh kachestv gornyykh lesovoznykh avtomobil'nykh dorog v sisteme avtomatizirovannogo proektirovaniya* [Estimation of transport-operational qualities of mountain forest roads in the computer-aided design system]. *Voronezh: Voronezh. gos. lesotekhn. un-t im. G.F. Morozova*, 2001, 149 p.
- [17] Kondrashova E.V., Skvortsova T.V., Skripnikov A.V., Logachev V.N. *Matematicheskaya model' processov zagryazneniya pochv i rasteniy pridorozhnoy polosy lesnykh avtomobil'nykh dorog* [Mathematical model of processes of pollution of soils and plants of a roadside strip of forest highways]. *Mezhdunarodnyy zhurnal prikladnyh i fundamental'nyh issledovaniy* [International Journal of Applied and Fundamental Research], 2012, no. 5, pp. 117–119.
- [18] Skrypnikov A.V., Kozlov V.G., Lomakin D.V., Logoida V.S. *Metodika opredeleniya vliyaniya prirodnyykh faktorov na stoimost' stroitel'stva zemlyanogo polotna lesovoznykh dorog* [Methodology for determining the influence of natural factors on the cost of building roadbeds of logging roads]. *Sovremennye naukoemkie tekhnologii* [Modern science-intensive technologies], 2016, no. 11–2, pp. 305–309.
- [19] Kuryanov V.K., Skrypnikov A.V., Skvortsova T.V., Kondrashova E.V. *Avtomatizirovannyi raschet urovnya parametricheskogo zagryazneniya okruzhayushchey sredey ob'ektami avtomobil'no-transportnogo kompleksa* [Automated calculation of the level of parametric pollution of the environment by the objects of the automotive transport complex]. *Voronezh: Voronezh. gos. lesotekhn. akad*, 2003, no. 20.
- [20] Kuryanov V.K., Skrypnikov A.V., Skvortsova T.V., Kondrashova E.V. *Avtomatizirovannyi raschet urovnya zagryazneniya poverhnostnogo stoka na avtomobil'noy doroge* [Automated calculation of the level of pollution of surface runoff on an automobile road]. *Voronezh: Voronezh. gos. lesotekhn. akad*, 2003, p. 26.
- [21] Zaets O.S., Skripnikov A.V., Chernyshova E.V. *Ocenka ehffektivnosti sistemy zashchity informatsii avtomatizirovannoy sistemy proektirovaniya slozhnykh mnogokomponentnykh produktov* [Evaluation of the effectiveness of the information protection system of the automated system for designing complex multi-component products]. *Trudy 5 nauch.-prakt. internet-konf. «Mezhdisciplinarnye issledovaniya v oblasti matematicheskogo modelirovaniya i informatiki»* [5th scientific-practical. conf. «Interdisciplinary research in the field of mathematical modeling and informatics»]. *Tolyatti*, 2015, pp. 31–38.
- [22] Skrypnikov A.V., Kuryanov V.K. [Modern methods of analyzing air pollution of soils and plants with lead compounds] *Lesopromyshlennaya logistika i informatsionnye sistemy lesnogo kompleksa: sb. tr. Mezhdunar. nauch.-tekhn. konf., posvyashch. 200-letiyu Sankt-Petersburgskoy gosudarstvennoy lesotekhnicheskoy akademii* [Timber Industry Logistics and Information Systems of the Forest Complex: Collection of articles. tr. International scientific and technical conf., dedicated. The 200th anniversary of the St. Petersburg State Forestry Academy], April 11, 2003. *St. Petersburg State Forestry Academy. St. Petersburg: SPbGLTA*, 2003, pp. 203.
- [23] Mikhailusov E.A., Kuryanov V.K., Skrypnikov A.V. *Uchet rovnosti i sherohovatosti pokrytiy v tyagovykh raschetakh* [Allowance for the roughness and roughness of coatings in traction calculations]. *Lesnoe hozyaystvo Povolzh'ya. Mezhvuzovskiy sbornik nauchnykh rabot* [Forestry of the Volga region. Intercollegiate collection of scientific works], 2002, pp. 583–586.

Authors' information

Safonova Yulia Aleksandrovna — Cand. Sci. (Tech.), Associate Professor of the Department of Higher Mathematics and Information Technologies of the Voronezh State University of Engineering Technologies, email: kulakova7@yandex.ru.

Chirkov Evgeniy Viktorovich — Post-graduate student of the Department of Automobiles and Service of the Voronezh State Forestry University. G.F. Morozova, dsvvrn@yandex.ru.

Samtsov Vadim Viktorovich — Scientific Worker at the Voronezh State University of Engineering Technologies, burmistrdv@mail.ru

Abasov Maksim Aleksandrovich — Scientific Worker at the Voronezh State University of Engineering Technologies, burmistrdv@mail.ru

Skrypnikov Aleksey Vasil'yevich — Dr. Sci. (Tech.), Dean of the Faculty «Management and Informatics in Technological Systems» at the Voronezh State University of Engineering Technologies, skrypnikovvsafe@mail.ru

Burmistrov Dmitriy Valerevich — Cand. Sci. (Tech.), Assistant of the Department of Engineering of Technological Machines and Equipment «Ukhta State Technical University».

Nikitin Vladimir Valentinovich — Cand. Sci. (Tech.), Head of the Department of International Scientific and Educational Cooperation BMSTU (Mytishchi branch), nikitinvv@bmstu.ru.

Received 22.09.2018.

Accepted for publication 29.10.2018.

УДК 630.378

DOI: 10.18698/2542-1468-2018-6-88-94

ОБОСНОВАНИЕ КОНСТРУКЦИИ ПЛОСКОЙ СПЛОТЧНОЙ ЕДИНИЦЫ ДЛЯ ПЕРВОНАЧАЛЬНОГО ЛЕСОСПЛАВА

П.Ф. Войтко, Е.М. Царев, И.Г. Гайсин, М.М. Рощина

Поволжский государственный технологический университет, 424000, Россия, Республика Марий Эл, г. Йошкар-Ола, пл. Ленина, 3

VojtkoPF@volgatech.net

Обоснована конструкция формируемых плоских сплочных единиц на приречных лесных складах Республики Коми для первоначального лесосплава по реке Вычегде и поставки древесного сырья в речных плотах на ОАО «Монди Сыктывкарский ЛПК» в меженный период навигации. Разработана новая конструкция плоской сплочной единицы, содержащей выровненный ряд круглых лесоматериалов, соединенных между собой канатными обвязками и вертикальными стяжками, на концах которых смонтированы грузовые петли. Определены габариты плоских сплочных единиц и их состав. Предлагаемая плоская сплочная единица проста по конструкции, менее трудоемка в изготовлении, сокращает расходы сплочного такелажа и в то же время обладает достаточной прочностью, плавучестью и управляемостью при первоначальном лесосплаве по лесосплавным рекам с малыми глубинами.

Ключевые слова: плоская сплочная единица, круглые лесоматериалы, первоначальный лесосплав

Ссылка для цитирования: Войтко П.Ф., Царев Е.М., Гайсин И.Г., Рощина М.М. Обоснование конструкции плоской сплочной единицы для первоначального лесосплава // Лесной вестник / Forestry Bulletin, 2018. Т. 22. № 6. С. 88–94. DOI: 10.18698/2542-1468-2018-6-88-94

Особенностью лесного комплекса России является большая удаленность лесосырьевой базы от лесопотребителей и отсутствие там магистральных видов лесотранспорта. Большинство лесоперерабатывающих предприятий спроектированы на прием древесного сырья с воды и располагаются в устьях больших рек. Необходимо восстановить водный транспорт лесоматериалов в плотах малой осадки и повышенного объема на внутренних водных путях взамен запрещенного молевого лесосплава. Наиболее целесообразно на лесосплаве применять плоты, сформированные из плоских сплочных единиц (ПСЕ) малой осадки и с высоким коэффициентом полнодревесности, что будет способствовать увеличению объема транспортировки древесного сырья по малым и средним рекам из труднодоступных регионов на лесоперерабатывающие предприятия.

Цель работы

Цель работы — обосновать конструкцию ПСЕ малой осадки и повышенного объема, формируемых на приречных лесных складах Республики Коми для поставки древесного сырья в плотах на ОАО «Монди Сыктывкарский ЛПК» по реке Вычегде при низких меженных горизонтах воды.

Материалы и методы

На основе анализа водных поставок древесного сырья по реке Вычегде в I период навигации — с 8 по 28 мая на ОАО «Монди Сыктывкарский ЛПК» разработан способ продления первоначального лесосплава на 150 дней во II период навигации на реке Вычегде в речных плотах из ПСЕ конструкции ПГТУ [1].

Составлена гидрологическая и лесотранспортная характеристики верхнего участка реки Вычегды с 805 км до 395 км от устья для плотового лесосплава во II период навигации с 28 мая по 30 октября. На верхнем участке реки Вычегды установлены 19 лимитирующих створов для проектирования первоначального лесосплава речных плотов из ПСЕ малой осадки и повышенного объема во второй период навигации. Дана техническая характеристика лимитирующих створов и их минимальные лесосплавные габариты: глубина 0,6 м, ширина 30 м, радиус закругления 120 м. Установлены препятствия на лимитирующих створах реки Вычегды в меженный период навигации для проведения плотового лесосплава, а также сформулированы предупреждения об опасных гидравлических, русловых или технических явлениях на реке Вычегде.

На основе литературного [2–6] и патентного [7, 8] поиска разработана новая конструкция многорядной ПСЕ из круглых лесоматериалов (рис. 1) малой осадки и повышенного объема, защищенная патентом РФ № 2477698 [1], для формирования речных плотов и буксировки их лесопотребителям по лесосплавным рекам с малыми глубинами. Плоская сплочная единица (рис. 1) содержит выровненный ряд круглых лесоматериалов 1, соединенных между собой двумя тросовыми обвязками 2, 3 и вертикальными стяжками 4, зафиксированными стопорными сжимами 5, 9. Обвязка ПСЕ выполнена в виде гибкой

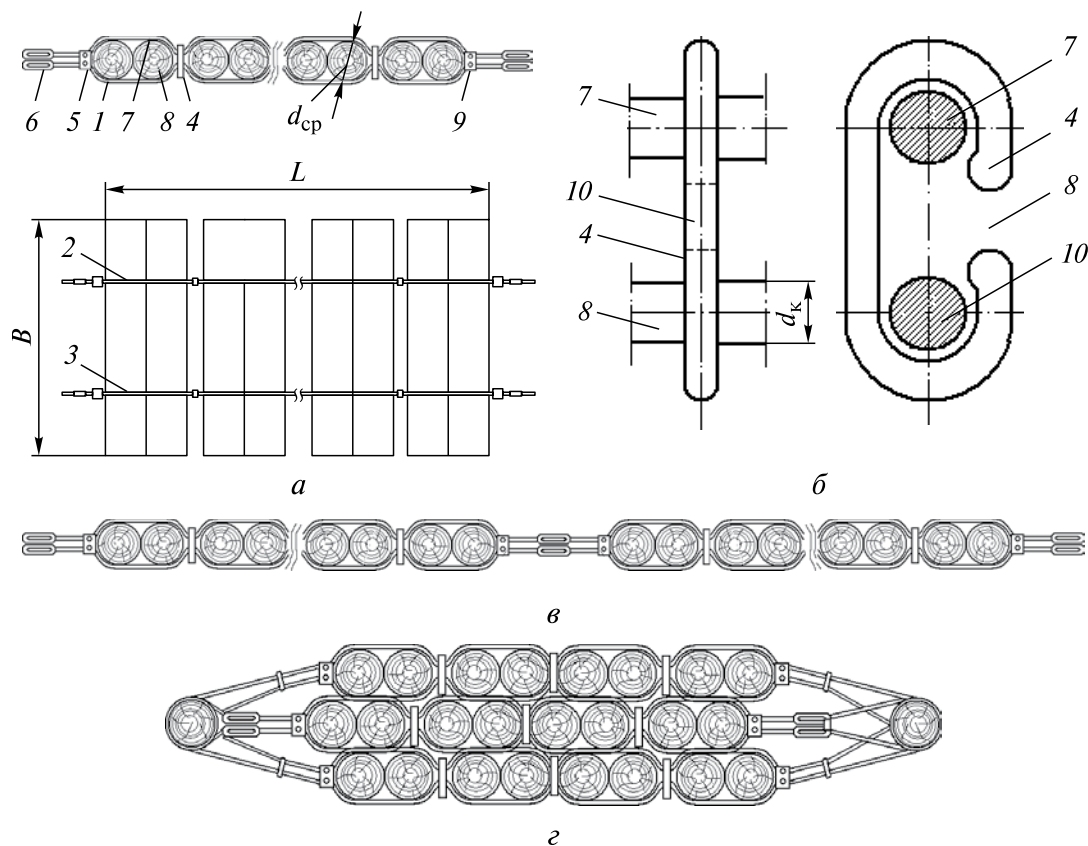


Рис. 1. Плоская сплочная единица малой осадки: *а* — вид сбоку и план; *б* — вертикальная стяжка (вид спереди и сбоку); *в* — лента из ПСЕ; *з* — многорядная ПСЕ; 1 — выровненный ряд круглых лесоматериалов, 2, 3 — тросовые обвязки, 4 — вертикальные стяжки, 5, 9 — стопорные сжимы, 6 — грузовая петля, 7, 8 — верхняя и нижняя ветви обвязок); 10 — паз для заводки обвязки в вертикальную стяжку

Fig. 1. Flat rafting unit of small draft: *a* — side view and plan; *б* — vertical tie (front and side view); *в* — ribbon from PSE; *з* — multi row PSE; 1 — leveled row of round timber, 2, 3 — cable ties, 4 — vertical ties, 5, 9 — lock clamps, 6 — cargo loop, 7, 8 — upper and lower branches of strapping); 10 — groove for inserting a tie to a vertical tie

нити 7, 8, на свободных концах которой смонтированы грузовые петли 6 (рис. 2), при этом на верхней ветви нити 7 обвязки подвижно установлены вертикальные стяжки 4 и стопорные сжимы 5, 9. Вертикальная стяжка 4 (рис. 1, б, в) изготовлена из стального прутка в виде скобы длиной, равной 0,75 среднего диаметра бревен. В средней части стяжки образован паз 10 шириной, равной диаметру гибкой нити для заводки в нее нижней ветви нити 8 обвязки. При этом обе ветви гибкой нити 7, 8 охватывают каждые два бревна в ряду круглых лесоматериалов 1, которые на концах нитей стопорятся дуговыми сжимами 5 и 9 (рис. 3).

Согласно «Правилам (техническим условиям) сплотки, формирования и оснастки плотов для буксировки в Северодвинском бассейне» [9–14] ПСЕ должна включать круглые лесоматериалы длиной 4 или 6 м повышенной плавучести хвойных пород 30 % и лесоматериалы ограниченной плавучести лиственных пород 70 %, а также сплочный такелаж. Прочность ПСЕ зависит от прочности

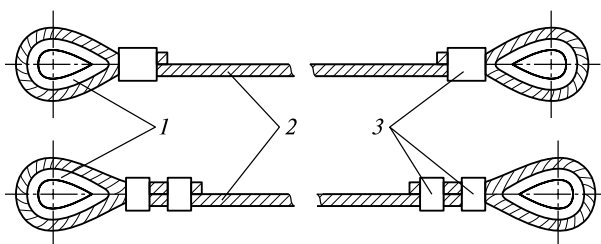


Рис. 2. Грузовые петли на свободных концах обвязок диаметром $d_1 = 13,5$ мм и $d_1 = 18,5$ мм: 1 — коуш; 2 — канат стальной; 3 — сжим гильзовый

Fig. 2. Cargo loops on the free ends of the straps with a diameter of $d_1 = 13.5$ mm and $d_1 = 18.5$ mm: 1 — couch; 2 — steel rope; 3 — compressed sleeve

сплочного такелажа (рис. 1): верхней и нижней ветвей обвязок из стального каната и вертикальных стальных стяжек, фиксирующих две обвязки на поперечной щети круглых лесоматериалов. Выбираем метод расчета ПСЕ по предельному состоянию [10, 15–18].

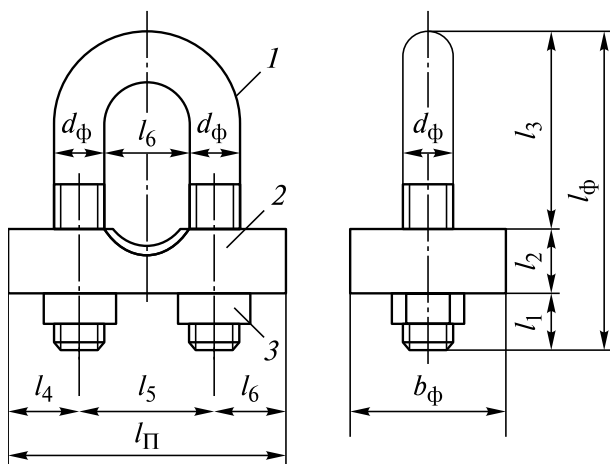


Рис. 3. Сжим дуговой: 1 — дуга; 2 — пластина; 3 — гайка
 Fig. 3. Arc clip: 1 — arc; 2 — plate; 3 — nut

Окончание таблицы

Параметры	Значения	
Вертикальные стяжки	18	28
Минимальный диаметр стяжки, d_{\min} , см	1,26	1,67
Максимальный изгибающий момент в точке B, M_{\max}^B , кН·см	21,5	43,3
Максимальный диаметр стяжки, d_{\max} , см	1,86	2,35
Длина вертикальной стяжки, l_c , м	0,15	0,15
Ширина стяжки b_c , м	0,05	0,07
Объем стяжки W_c , см ³	76,67	85,27
Масса разрезной стяжки m_c , кг	0,6	0,66
Общая масса стяжек $\sum m_c$, кг	10,76	18,62
Дуговые сжимы	4	4
Длина, l_ϕ , см	10,8	14,8
Ширина, b_ϕ , см	2,7	3,7
Диаметр, d_ϕ , см	0,84	1,16
Длина пластины, l_n , см	4,39	6,01
Ширина пластины, b_n , см	2,7	2,7
Объем дугового сжима, W_{cp} , см ³	16,9	43,49
Масса сжима, m_ϕ , кг	0,132	0,340
Масса дуговых сжимов, $\sum m_\phi$, кг	0,527	1,357
Грузовые петли	4	4
Масса гильзовых сжимов, m_r , кг	0,283	0,364
Масса стальных коушей, $m_{ск}$, кг	0,420	1,184
Общая масса сплоточного такелажа ПСЕ m, кг	26,65	58,66

Результаты расчета прочности ПСЕ
 The calculation results of the PSE strength

Параметры	Значения	
ПСЕ	I	II
Длина круглых лесоматериалов, $l_{бр}$, м	4,0	6,0
Средний диаметр бревен, d_{cp} , м	0,2	0,2
Длина ПСЕ, L , м	4,0	6,0
Ширина ПСЕ, B , м	4,0	6,0
Количество бревен в ПСЕ, n , шт.	20	30
Объем древесины в ПСЕ, W , м ³	2,51	5,65
Вес однорядной ПСЕ, G , кН	27,6	62,2
Стальные канаты обвязок	2	2
Разрывная нагрузка каната, R , кН	110,4	236,2
Диаметр каната, d , мм	13,5	18,5
Число проволок в канате, n_n , шт.	126	126
Диаметр проволок, δ , мм	0,9	1,2
Площадь сечения всех проволок, F , мм ²	85,1	151,8
Маркировочная группа, M , Н/мм ²	1670	1670
Временное сопротивление разрыву проволоки, σ , кг/см ²	167	196
Расчетное разрывное усилие, R_0 , кН	113	238
Диаметр барабана или блока, D , мм	400	400
Ориентировочная масса 1000 м смазанного каната, m_0 , кг	763,5	1365
Максимальное напряжение в канатах обвязок ПСЕ, σ_{\max} , кг/мм ²	50,4	64,9
Допускаемое максимальное напряжение в канатах обвязок, $[\sigma_{\max}]$, кг/мм ²	83,5	98,0
Длина канатов для верхней и нижней обвязок, l , м	19,2	27,2
Масса стальных канатов для изготовления обвязок, m_k , кг	14,7	37,1
Вертикальные стяжки	18	28
Растягивающая нагрузка, P_c , кН	2,78	4,17
Разрывная нагрузка R_c , кН	11,12	16,69
Минимальный изгибающий момент в точке A, M_{\min}^A , кН·см	7,51	15,44

Принимаем следующие допущения:

1) ПСЕ состоит из выровненного ряда круглых лесоматериалов одинаковой длины 4 или 6 м и средним диаметром $d_{cp} = 0,2$ м;

2) сплоточная единица включает бревна повышенной плавучести хвойных пород 30 % и лесоматериалы ограниченной плавучести лиственных пород 70 %;

3) масса древесины ПСЕ равномерно распределяется и удерживается двумя тросовыми обвязками сверху и снизу поперечной щети круглых лесоматериалов, скрепленных вертикальными стяжками и дуговыми сжимами.

Результаты и обсуждение

Определим количество бревен в однорядных ПСЕ прямоугольной формы при длине бревен 4 м и 6 м

$$n_1 = B_1/d_{cp}; n_2 = B_2/d_{cp},$$

где $B = L$ — ширина и длина ПСЕ, м;
 d_{cp} — средний диаметр круглых лесоматериалов в ПСЕ, м.

Вычислим объем древесины в однорядной ПСЕ с габаритами 4 × 4 м и 6 × 6 м

$$W_1 = L_1 n_1 \pi d_{cp}^2 / 4; W_2 = L_2 n_2 \pi d_{cp}^2 / 4.$$

Определим максимальный вес однорядной ПСЕ с габаритами 4×4 м и 6×6 м, перемещаемой по лесосплавной реке или береговому плотбищу приречного склада:

$$G_1 = g(W_{\text{П1}}\rho_{\text{П1}} + W_{\text{О1}}\rho_{\text{О1}} + m_1);$$

$$G_2 = g(W_{\text{П2}}\rho_{\text{П2}} + W_{\text{О2}}\rho_{\text{О2}} + m_2),$$

где g — ускорение свободного падения, м/с^2 ;

$W_{\text{П1}}, W_{\text{О1}}$ — объем лесоматериалов повышенной и ограниченной плавучести, м^3 ;

$\rho_{\text{П1}}, \rho_{\text{О1}}$ — плотность лесоматериалов повышенной и ограниченной плавучести, кг/м^3 ;

m_1 — масса сплottedного такелажа, кг .

Прочность ПСЕ зависит от ее веса и прочности формирующего такелажа из стальных канатов, которые работают на растяжение и испытывают изгибающие нагрузки от вертикальных стяжек. Стальные канаты, вследствие винтовой формы прядей, работают также и на скручивание [10]. При работе троса его проволоки нажимают друг на друга и создают трение, которое вызывает в проволоке еще дополнительное напряжение. Вычислим разрывную нагрузку на стальные канаты обвязок ПСЕ с габаритами 4×4 м и 6×6 м

$$R_1 = k_6 P_1; \quad R_2 = k_6 P_2,$$

где k_6 — коэффициент безопасности (3...5);

P — статическая растягивающая нагрузка, принятая для однорядной ПСЕ, кН , $P = G$.

По стандарту на стальные канаты (ГОСТ 3067-88) выбираем канаты двойной свивки типа ТК конструкции $6 \cdot 19(1 + 6 + 12) + 1 \cdot 19(1 + 6 + 12)$:

1) для $R_1 = 110,924$ кН диаметром $d_1 = 13,5$ мм, имеющий расчетное разрывное усилие $R_0 = 113$ кН и временное сопротивление разрыву проволоки $\sigma_1 = 167$ кг/см^2 ;

2) для $R_2 = 249,12$ кН диаметром $d_2 = 18,5$ мм, имеющий расчетное разрывное усилие $R_0 = 258$ кН и временное сопротивление разрыву проволоки $\sigma_2 = 196$ кг/см^2 (см. таблицу).

Для выбранных канатов производим проверочный расчет результирующего напряжения в обвязках от растяжения и изгиба в канатах. Максимальное напряжение в канатах [10] равно для ПСЕ габаритами 4×4 м и 6×6 м:

$$\sigma_{\text{max1}} = \frac{G_1}{F_1} + 8000 \frac{\delta_1}{D_1}; \quad \sigma_{\text{max2}} = \frac{G_2}{F_2} + 8000 \frac{\delta_2}{D_2},$$

где δ_1, δ_2 — диаметры проволок в канатах, мм ;

D_1, D_2 — диаметры блоков, мм ;

F_1, F_2 — площади сечения всех проволок, мм^2 .

Для безопасной работы троса необходимо, чтобы максимальное напряжение в тросовых обвязках ПСЕ удовлетворяло условию:

$$\sigma_{\text{max}} \leq \frac{\sigma_1}{n_1}; \quad 50,52 \leq \frac{167}{2} = 83,5, \text{ кг/мм}^2;$$

$$\sigma_{\text{max}} \leq \frac{\sigma_2}{n_2}; \quad 64,94 \leq \frac{196}{2} = 98, \text{ кг/мм}^2,$$

где σ_1, σ_2 — временные сопротивления разрыву проволоки тросов, кг/мм^2 ;

n_1, n_2 — коэффициенты безопасности тросовых обвязок от разрыва при учете одновременного действия растяжения и изгиба $n_1 = n_2 = 2$.

Определим длину стальных канатов диаметрами $d_1 = 13,5$ мм и $d_2 = 18,5$ мм для изготовления верхней и нижней обвязок ПСЕ с габаритами 4×4 м и 6×6 м (см. рис. 1, а):

$$l_1 = 4(d_{\text{cp}1} n_1 + 4d_{\text{cp}}); \quad l_2 = 4(d_{\text{cp}2} n_2 + 4d_{\text{cp}}),$$

где n_1, n_2 — количество бревен в сплottedных единицах, шт.

Вычислим массу стальных канатов двойной свивки типа ТК конструкции $6 \cdot 19(1 + 6 + 12) + 1 \cdot 19(1 + 6 + 12)$ для изготовления обвязок диаметрами $d_1 = 13,5$ мм и $d_2 = 18,5$ мм по формулам:

$$m_{\text{к1}} = \frac{m_{01} l_1}{1000}; \quad m_{\text{к2}} = \frac{m_{02} l_2}{1000}.$$

Расчет разрезных вертикальных стяжек из стали 40 (рис. 4) ПСЕ ведем на разрывную нагрузку R_c по формулам:

$$R_{c1} = n_c P_{c1}, \text{ кН}; \quad R_{c2} = n_c P_{c2}, \text{ кН},$$

где n_c — коэффициент безопасности;

P_{c1}, P_{c2} — растягивающие нагрузки от канатов d_1, d_2 для однорядной ПСЕ, кН .

Растягивающую нагрузку P_c в вертикальной стяжке (см. рис. 4) создают каждые два бревна n_6 в поперечной щети лесоматериалов, которую определим по формулам:

$$P_{c1} = \frac{\pi d_{\text{cp}}}{4} L_1 n_6 \rho g; \quad P_{c2} = \frac{\pi d_{\text{cp}}}{4} L_2 n_6 \rho g.$$

Рассмотрим вертикальную разрезную стяжку круглого сечения диаметром d_c (см. рис. 4) на которую действуют два изгибающих момента в точках A и B . Определим изгибающий момент в точке A :

$$M_{u\text{min1}}^A = \frac{R_{c1} d_1}{2}; \quad M_{u\text{min2}}^A = \frac{R_{c2} d_2}{2},$$

где R_{c1}, R_{c2} — разрывная нагрузка вертикальной стяжки для ПСЕ с габаритами 4×4 м и 6×6 м;

d_1, d_2 — диаметры стального каната тросовых обвязок ПСЕ с габаритами 4×4 м и 6×6 м, см .

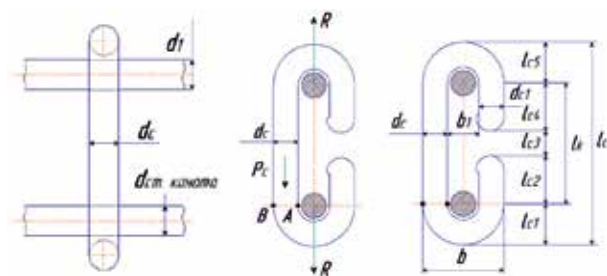


Рис. 4. Расчетная схема вертикальной стяжки ПСЕ
Fig. 4. The design scheme of the vertical tie PSE

Определим минимальные диаметры вертикальных стяжек для формирования ПСЕ с габаритами 4×4 м и 6×6 м:

$$d_{\min 1} = \sqrt[3]{\frac{M_{u\min 1}^A}{0,1[\sigma_u]}}; \quad d_{\min 2} = \sqrt[3]{\frac{M_{u\min 2}^A}{0,1[G_u]}}$$

Вычислим максимальный изгибающий момент в точке B (см. рис. 4):

$$M_{u\max 1}^B = R_{c1} \left(\frac{d_1}{2} + d_{\min 1} \right);$$

$$M_{u\max 2}^B = R_{c2} \left(\frac{d_2}{2} + d_{\min 2} \right).$$

Определим максимальные диаметры круглых вертикальных стяжек из стали 40 для формирования ПСЕ с габаритами 4×4 м и 6×6 м:

$$d_{\max 1} = \sqrt[3]{\frac{M_{u\max 1}^B}{0,1[G_u]}}; \quad d_{\max 2} = \sqrt[3]{\frac{M_{u\max 2}^B}{0,1[\sigma_u]}}$$

Следовательно, для формирования ПСЕ габаритами 4×4 м необходимо $n_1 = 20$ бревен $d_{cp} = 0,2$ м, 4 тросовых обвязки из стального каната с диаметром $d_1 = 13,5$ мм и 18 вертикальных стяжек круглого сечения с диаметром $d_{c1} = 1,86$ см со следующими геометрическими параметрами (см. рис. 4):

- 1) длиной $l_c = 0,75d_{cp}$
или $l_c = l_{c1} + l_{c2} + l_{c3} + l_{c4} + l_{c5}$,
где $l_{c1} = l_{c5} = 1,2d_1 / 2 + d_{c1}$; $l_{c3} = 1,5d_1$;
 $l_{c2} = l_{c4} = (l_k - l_{c3}) / 2$ (здесь $l_k = l_c - (l_{c1} - l_{c5})$);
- 2) шириной $b = 2d_{c1} + b_1 = 2d_{c1} + 1,2d_1$.

Определим объем разрезной вертикальной стяжки диаметром $d_{c1} = 1,86$ см

$$W_{c1} = \pi d_{c1}^2 \left(\frac{l_k + l_{c2} + l_{c4} + \pi(b - d_{c1})}{4} \right).$$

Найдем массу разрезной вертикальной стяжки диаметром $d_{c1} = 1,86$ см из стали 40

$$m'_{c1} = W_{c1} \cdot \gamma.$$

Вычислим общую массу 18 вертикальных стяжек для формирования ПСЕ с габаритами 4×4 м (см. таблицу)

$$m_{c1} = m'_{c1} n_{c1}.$$

Для формирования ПСЕ с габаритами 6×6 м необходимо $n_2 = 30$ бревен с $d_{cp} = 0,2$ м, 4 тросовых обвязки из стального каната с диаметром $d_2 = 18,5$ мм и 28 вертикальных стяжек круглого сечения с диаметром $d_{c2} = 2,35$ см и геометрическими параметрами: длиной 0,15 м; шириной 0,07 м.

Выводы

Обоснована новая конструкция ПСЕ из круглых лесоматериалов малой осадки и повышенного объема (см. рис. 1) для первоначального лесосплава по реке Вычегде в меженный период навигации и поставки древесного сырья в речных плотах на ОАО «Монди Сыктывкарский ЛПК» (см. таблицу). Определены габариты ПСЕ и их состав: форма — квадратная, тип — двухрядная, высота — 0,4 м, длина и ширина, равные длине заготавливаемых сортиментов 4 м или 6 м, удовлетворяющих требованиям лесосплавного пути на верхнем участке реки Вычегды в меженный период навигации. Составлена гидрологическая и лесотранспортная характеристики верхнего участка реки Вычегды с 805 км до 395 км от устья для плотового лесосплава во II период навигации с 28 мая по 30 октября. На верхнем участке реки Вычегды установлены 19 лимитирующих створов для проектирования первоначального лесосплава речных плотов из ПСЕ малой осадки и повышенного объема. Дана техническая характеристика лимитирующих створов и их минимальные лесосплавные габариты: глубина 0,6 м, ширина 30 м, радиус закругления 120 м.

Список литературы

- [1] Плоская сплочная единица. Пат. 2477698. Российская Федерация, МПК В63В, В65В. П.Ф. Войтко, Е.М. Царев, С.В. Ерин; заявитель и патентообладатель ПГТУ. № 201128866/11. Заявл. 12.07.11; опубл. 20.03.13, бюл. № 8. 5 с.
- [2] Васильев В.В. Повышение эффективности и экологической безопасности плотового сплава лесоматериалов: дис. ... канд. техн. наук. Воронеж, 2013. 259 с.
- [3] Камусин А.А., Минаев А.Н., Полищук В.П. Водный транспорт леса: учебник / под ред. А.А. Камусина. Красноярск: Научно-инновационный центр, 2017. 434 с.
- [4] Митрофанов А.А. Лесосплав. Новые технологии, научное и техническое обеспечение. Архангельск: АГТУ, 2007. 492 с.
- [5] Legendre C. Le travailleur forestier québécois: transformations technologiques, socioéconomiques et organisationnelles. Québec: Presses de l'Université du Québec, 2005. 397 p.
- [6] Flottage des bois. URL: http://musiquesenvauxdyoune.free.fr/REGION/PU_Flottage.htm.
- [7] Плоская сплочная единица. Пат. 2166467 Российская Федерация, МПК В 65 В 35/02, 27/10, В 65 G 69/20. А.А. Митрофанов; заявитель и патентообладатель Митрофанов А.А. № 99119633/28. Заявл. 14.09.99; опубл. 10.05.01, бюл. № 13. 5 с.

- [8] Сплоточная единица. Пат. 2456200 Российская Федерация, МПК В 63 В 35/62. В.В. Васильев; заявитель и патентообладатель ВГЛТА. № 2011108194/11. Заявл. 02.03.11; опубл. 20.07.12, бюл. № 20. 6 с.
- [9] Правила (технические условия) сплотки, формирования и оснастки плотов из плоских сплоточных единиц конструкции АГТУ, ООО «Сомэкс» и ОАО «Онежское лесосплавное предприятие» для буксировки по р. Онеге. Архангельск: АГТУ, 1999. 16 с.
- [10] Ануриев В.И. Справочник конструктора-машиностроителя. М.: Машиностроение, 2006. 928 с.
- [11] Войтко П.Ф., Гайсин И.Г. Первоначальный лесосплав по малым рекам / под ред. П.Ф. Войтко. Йошкар-Ола: ПГТУ, 2016. 436 с.
- [12] Устройство для выгрузки плоских сплоточных единиц с воды на берег. Пат. 2476366. Российская Федерация, МПК В65G, В66С. П.Ф. Войтко, И.Г. Гайсин; заявитель и патентообладатель ПГТУ. № 2011109985/11. Заявл. 16.03.11; опубл. 27.02.13, бюл. № 6. 6 с.
- [13] Yemshanov D., McKenney D.W., Fraleigh S., McConkey B., Huffman T., Smith S. Cost estimates of postharvest forest biomass supply for Canada // *Biomass and Bioenergy*, 2014, v. 69, pp. 80–94.
- [14] Karpachev S.P., Zaprudnov V.I., Bykovskiy M.A., Scherbakov E.N. Quantitative Estimation of Logging Residues by Line – Intersect Method // *Croatian journal of forest engineering*, 2017, v. 38, no. 1, p. 33–45.
- [15] Hillring B. National strategies for stimulating the use of bioenergy. Policy instruments in Sweden // *Biomass and Bioenergy*, 1998, v. 14 (5/6), pp. 425–437.
- [16] Митрофанов А.А. Научное обоснование и разработка экологически безопасного плотового лесосплава. Архангельск: АГТУ, 1999. 288 с.
- [17] Перфильев П.Н., Митрофанов А.А. Исследования гидродинамических характеристик линейек из плоских сплоточных единиц // *Известия вузов. Лесной журнал*, 2009. № 1. С. 44–51.
- [18] Афоничев Д.Н., Папонов Н.Н., Васильев В.В. Сплоточная единица стабилизированной плавучести // *Известия вузов. Лесной журнал*, 2010. № 6. С. 114–120.

Сведения об авторах

Войтко Петр Филиппович — д-р техн. наук, профессор кафедры «Лесопромышленные и химические технологии» Поволжского государственного технологического университета, VojtkoPF@volgatech.net

Царев Евгений Михайлович — д-р техн. наук, профессор кафедры «Лесопромышленные и химические технологии» Поволжского государственного технологического университета, CarevEM@volgatech.net

Гайсин Ильшат Гилязтинович — канд. техн. наук, доцент кафедры «Лесопромышленных и химических технологий Поволжского государственного технологического университета», GaisinIG@volgatech.net

Рощина Марина Михайловна — ассистент кафедры «Лесопромышленные и химические технологии» Поволжского государственного технологического университета, Roschinamm@volgatech.net

Поступила в редакцию 29.05.2018.

Принята к публикации 10.08.2018.

FEASIBILITY OF CONSTRUCTION FLAT RAFT SECTION FOR INITIAL WOOD FLOATING

P.F. Voitko, E.M. Tsarev, I.G. Gaisin, M.M. Roshchina

Volga State University of Technology, 3, Lenin Square, 424000, Yoshkar-Ola, Republic of Mari El, Russia

VojtkoPF@volgatech.net

The article is devoted to the basis of construction of forming flat raft section in the river log storage of Komi Republic for its initial floating on the river Vychegda and delivery of log raw material in rafts at OJSC «Mondi Syktyvkar LPK» in the period of low level water. The new construction of flat raft section of rectangular form included square row of timber material joined together by rope ties with load loops at their ends is worked out. Dimensions of flat raft sections and their composition as shape — square; row — double; height — 0.4 m; length and width equal to the length of harvested assortments: 4 m or 6 m, satisfying the requirements of timber floating path on the upper section of the river Vychegda in the low-flow period of navigation are defined. Hydrological and logging characteristics of the upper section of the river Vychegda from 805 km to 395 km from the mouth for raft section of timber floating in the second navigation period from May 28 to October 30 are made up. On the upper section of the Vychegda river 19 sites for the limiting design of the initial floating of river rafts from flat raft sections of low rainfall during the second period of navigation are installed. The technical characteristics of the limiting sections and their minimum floating dimensions, depth 0.6 m, width 30 m, the radius of curvature of 120 m, are given. The offered flat raft section is simple in construction, less labor-intensive to manufacture, reduces costs of raft rigging and at the same time has sufficient strength, floatability and handling for the initial floating on rivers with small depths.

Keywords: flat raft section, round timber materials, initial floatage

Suggested citation: Voitko P.F., Tsarev E.M., Gaisin I.G., Roshchina M.M. *Obosnovanie konstruktivnykh ploskoy splotochnoy edinitsy dlya pervonachal'nogo lesosplava* [Feasibility of construction flat raft section for initial wood floating]. *Lesnoy vestnik / Forestry Bulletin*, 2018, vol. 22, no. 6, pp. 88–94. DOI: 10.18698/2542-1468-2018-6-88-94

References

- [1] Voytko P.F., Tsarev E.M., Erin S.V. *Ploskaya splotochnaya edinitsa* [Flat raft unit] Pat. 2477698. Russian Federation, IPC B63B, B65B. Applicant and patent holder of Perm State Technical University, no. 201128866/11, declare. 07.12.11; publ. 03.20.13, bull. 8, 5 p.
- [2] Vasil'ev V.V. *Povyshenie effektivnosti i ekologicheskoy bezopasnosti plotovogo splava lesomaterialov* Dis. ... Cand. Sci. (Tech.). [Improving the efficiency and environmental safety raft alloy timber. Cand. Sci. (Tech.) diss.]. Voronezh, 2013, 259 p.
- [3] Kamusin A.A., Minaev A.N., Polishchuk V.P. *Vodnyy transport lesa* [Water transport of the forest] Ed. A.A. Kamusin. Krasnoyarsk: Scientific Innovation Center, 2017, 434 p.
- [4] Mitrofanov A.A. *Lesosplav. Novye tekhnologii, nauchnoe i tekhnicheskoe obespechenie* [Timber rafting. New technologies, scientific and technical support]. Arkhangel'sk: AGTU, 2007, 492 p.
- [5] Legendre C. *Le travailleur forestier québécois: transformations technologiques, socioéconomiques et organisationnelles*. Québec: Presses de l'Université du Québec, 2005, 397 pages.
- [6] Flottage des bois. URL: http://musiquesenvauxdyonne.free.fr/REGION/PU_Flottage.htm.
- [7] Mitrofanov A.A. *Ploskaya splotochnaya edinitsa* [Flat raft unit] Pat. 2166467 Russian Federation, IPC B 65 B 35/02, 27/10, B 65 G 69/20. Applicant and patentee Mitrofanov A.A., no. 99119633/28, declare 14.09.99, publ. 10.05.01, bull. 13, 5 p.
- [8] Vasiliev V.V. *Splotochnaya edinitsa* [Rafting unit] Pat. 2456200 Russian Federation, IPC H 63 B 35/62. Applicant and patent holder VGLTA, no. 2011108194/11, declare 03/02/11, publ. 07.20.12, bull. 20, 6 p.
- [9] *Pravila (tekhnicheskie usloviya) splotki, formirovaniya i osnastki plotov iz ploskikh splotochnykh edinit konstruktzii AGTU, OOO «Someks» i OAO «Onezhskoe lesosplavnoe predpriyatie» dlya buksirovki po r. Onega* [Rules (technical conditions) of rafts, formation and rigging of rafts from flat rafting units of the design of AGTU, Someks LLC and Onega Timber Enterprise OJSC for towing along the river Onega]. Arkhangel'sk: ASTU, 1999, 16 p.
- [10] Anur'ev V.I. *Spravochnik konstruktora-mashinostroitel'ya* [Reference designer-mechanical engineer]. Moscow: Mashinostroeniye, 2006, 928 p.
- [11] Voytko P.F., Gaysin I.G. *Pervonachal'nyy lesosplav po malym rekam* [The initial timber rafting on small rivers: monograph] Ed. P.F. Voytko. Yoshkar-Ola: Perm State Technical University, 2016, 436 p.
- [12] Voytko P.F., Gaysin I.G. *Ustroystvo dlya vygruzki ploskikh splotochnykh edinit s vody na bereg* [Device for unloading flat raft units from water to shore] Pat. 2476366. Russian Federation, IPC B65G, B66C. Applicant and patent holder of Perm State Technical University, no. 2011109985/11, declare 03.16.11; publ. 02.27.13, bull. 6, 6 p.
- [13] Yemshanov D., McKenney D.W., Fraleigh S., McConkey B., Huffman T., Smith S. Cost estimates of postharvest forest biomass supply for Canada. *Biomass and Bioenergy*, 2014, v. 69, pp. 80–94.
- [14] Karpachev S.P., Zaprudnov V.I., Bykovskiy M.A., Scherbakov E.N. Quantitative Estimation of Logging Residues by Line — Intersect Method. *Croatian journal of forest engineering*, 2017, v. 38, no. 1, p. 33–45.
- [15] Hillring B. National strategies for stimulating the use of bioenergy. *Policy instruments in Sweden. Biomass and Bioenergy*, 1998, v. 14(5/6), pp. 425–437.
- [16] Mitrofanov A.A. *Nauchnoe obosnovanie i razrabotka ekologicheskoy bezopasnogo plotovogo lesosplava* [Scientific substantiation and development of environmentally safe rafting timber rafting]. Arkhangel'sk: ASTU, 1999, 288 p.
- [17] Perfil'yev P.N., Mitrofanov A.A. *Issledovaniya gidrodinamicheskikh kharakteristik lineek iz ploskikh splotochnykh edinit* [Studies of the hydrodynamic characteristics of the lines of flat raft units]. *Izvestiya vuzov. Lesnoy zhurnal* [News of universities. Forest Journal], 2009, no. 1, pp. 44–51.
- [18] Afonichev D.N., Paponov N.N., Vasil'ev V.V. *Splotochnaya edinitsa stabilizirovannoy plavuchesti* [Rafting unit of stabilized buoyancy] *Izvestiya vuzov. Lesnoy zhurnal* [News of universities. Forest Journal], 2010, no. 6, pp. 114–120.

Authors' information

Voytko Petr Philippovich — Dr. Sci (Tech.), Professor of chair of wood industrial and chemical technologies of Volga State University of Tehnology, VojtkoPF@volgatech.net

Tsarev Evgeniy Michaylovich — Dr. Sci (Tech.), Professor of chair of wood industrial and chemical technologies of Volga State University of Tehnology, CarevEM@volgatech.net

Gaisin Il'shat Gilaztinovich — Cand. Sci (Tech.), Associate Professor of chair of wood industrial and chemical technologies of Volga State University of Tehnology, GaisinIG@volgatech.net

Roschina Marina Michaylovna — Assistant of chair of wood industrial and chemical technologies of Volga State University of Tehnology, Roschinamm@volgatech.net

Received 29.05.2018.

Accepted for publication 10.08.2018.

МЕТОДИКА ДЛЯ ОЦЕНКИ ЭФФЕКТИВНОСТИ ДЕЙСТВИЯ СТИМУЛЯТОРОВ ПРОРАСТАНИЯ СЕМЯН

Г.Н. Федотов¹, В.С. Шалаев², Ю.П. Батырев², И.В. Горепекин¹

¹Московский государственный университет им. М.В. Ломоносова, 119991, г. Москва, ГСП-1, Ленинские горы, д. 1, стр. 12

²МГТУ им. Н.Э. Баумана (Мытищинский филиал), 141005, Московская область, г. Мытищи, ул. 1-я Институтская, д. 1

gennadiy.fedotov@gmail.com

Проведен анализ проблемы разработки стимуляторов прорастания семян. Показана необходимость создания высокопроизводительной и достаточно простой лабораторной методики, выделены ключевые моменты подобной методики. Обращено внимание на необходимость применения системного подхода к разработке стимуляторов, определяя на его основе направление действия стимуляторов. Сделаны выводы о том, что разработанная методика позволяет быстро определять общую длину проростков больших массивов семян, в частности, проводить проверку действия стимуляторов прорастания семян в лабораторных условиях; при использовании разработанной методики необходимо проводить проверку действия стимуляторов при прорастании семян на почвах, на которых их планируется применять; проверку действия стимуляторов на семенах сельскохозяйственных и лесохозяйственных культур следует проводить при совместном использовании стимуляторов с фунгицидами.

Ключевые слова: семена сельскохозяйственных культур, семена лесохозяйственных культур, стимуляторы прорастания семян, методика, оценка эффективности, действие стимуляторов, системный подход

Ссылка для цитирования: Федотов Г.Н., Шалаев В.С., Батырев Ю.П., Горепекин И.В. Методика для оценки эффективности действия стимуляторов прорастания семян // Лесной вестник / Forestry Bulletin, 2018. Т. 22. № 6. С. 95–101. DOI: 10.18698/2542-1468-2018-6-95-101

Улучшение посевных качеств семян является одним из основных факторов повышения урожайности сельскохозяйственных и лесохозяйственных культур. Среди наиболее перспективных методов повышения посевных качеств семян следует выделить их стимулирующую обработку физическими воздействиями или биологически активными препаратами [1].

Считается, что при предпосевной обработке семян начальные процессы прорастания протекают интенсивнее. Особенно это сказывается на развитии корневой системы. Зародышевые корни быстро входят в контакт с фронтом почвенной влаги и по мере роста растений не отрываются от него. У необработанных семян прорастание задерживается и протекает недружно. Это приводит к тому, что медленно растущие корни могут отрываться от фронта влаги и потерять возможность нормально обеспечивать растения водой [2].

Кажущаяся простота и дешевизна получения результатов подобным способом привлекала многих исследователей, но добиться значимого и воспроизводимого результата до настоящего времени не удалось.

Одной из основных причин неудач разработки препаратов для стимуляции прорастания семян, по-видимому, является отсутствие высокопроизводительной и простой лабораторной методики, позволяющей получать статистически значимые результаты [2]. Связано это с достаточно небольшим влиянием стимулирующих воздействий на прорастание семян, величина которых редко пре-

вышает 10–15 % [2], и при значительной ошибке метода эффект стимуляции такой величины обнаружить практически невозможно.

В течение длительного времени при проведении исследований оценку проводили по конечному результату — урожайности [3–6], изменению размеров и массы вегетативных органов растений [7], по всхожести (энергии прорастания) [8] или по физиологическим показателям (активности ферментов, содержанию биологически активных веществ и т. д.) [5]. Однако все эти исследования достаточно трудоемки, длительны и требуют от недели (по всхожести) до месяцев (по урожайности) временных затрат.

Цель работы

В работе проведен анализ проблемы разработки стимуляторов прорастания семян. Показана необходимость создания высокопроизводительной и достаточно простой лабораторной методики, выделены ключевые моменты подобной методики.

Материалы и методы

Для повышения производительности труда исследователей необходима надежная лабораторная методика, но при ее разработке следует учитывать несколько проблем, без решения которых успех не может быть достигнут.

Во-первых, физиологи растений выделяют 3 стадии развития семян [9]: набухание, проклеивание и развитие проростков (корней и

ростков). При этом считается, что для первых двух этапов питательные вещества и гормоны уже присутствуют (запасены) в созревших семенах, а для третьего этапа (роста проростков) они должны синтезироваться. Можно предположить, что эффективно действовать стимуляторы могут лишь на третьем этапе развития семян, когда возникает потребность в синтезируемых веществах. В связи с этим получить корректные данные по действию стимуляторов, используя гостированные методики по проклевыванию (определение всхожести или энергии прорастания), не представляется возможным. Таким образом, основным лабораторным методом, на который следует ориентироваться, становится измерение длины проростков (суммарной длины корней и ростков).

Во-вторых, семена обладают свойством разнокачественности, которая бывает трех видов: генетическая, матриакальная и экологическая [1]. Генетическая разнокачественность не требует пояснений, и ее вклад в общую разнокачественность не очень велик. Матриакальная разнокачественность связана в первую очередь с размещением наиболее сильных семян в центральной части колоса. Кроме того, существуют колосья разных порядков (первого, второго, третьего и т. д.). В колосьях второго порядка семена, сохраняя неоднородность по расположению в колосе, слабее, чем в колосьях первого порядка и т. д. Дополнительная вариабельность обусловлена неоднородностью рельефа полей. В понижениях в сухой год семена будут крупнее, во влажный год — мельче. Все эти семена при уборке попадают в бункер комбайна, где не очень хорошо перемешиваются. В результате вариабельность в свойствах семян достаточно велика, поэтому для получения приемлемой ошибки экспериментов требуется использовать в опыте более 500–1000 семян. В противном случае добиться ошибки менее 5 % не представляется возможным.

Таким образом, надо измерять длину проростков, а для уменьшения ошибки ниже 5 % использовать в опыте и контроле до 1000 семян. Однако для измерения длины проростков одной зерновки ячменя или тритикале вручную надо затратить около 40–60 с, а для замера проростков в двух опытах по 1000 семян — несколько дней рабочего времени. Современные технологии дают возможность применять для измерения длины проростков компьютерную обработку изображений, но универсальные подходы и программы для их реализации пока не созданы [10–12]. Это заставляет исследователей идти на компромисс, используя в опытах до 100 семян. Подобных работ достаточно много [13, 14], но в результате такого компромисса не удастся оценить стимуляцию из-за малой значимости эффекта по сравнению с ошибкой.

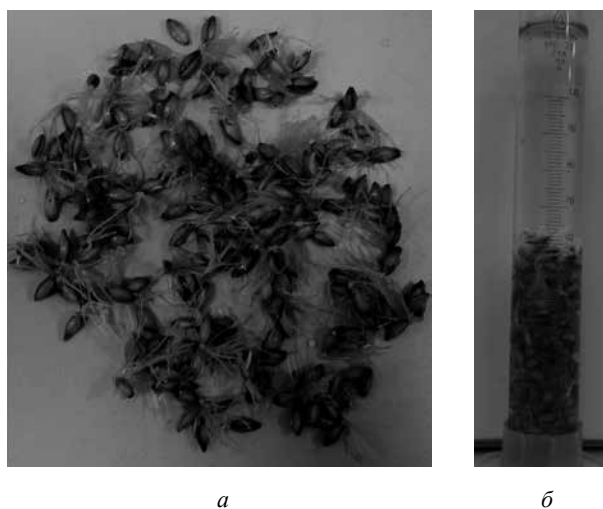


Рис. 1. Проросшие семена ярового ячменя сорт «Нур» (исходный вес 7,5 г) россыпью (а) и в цилиндре с водой после виброуплотнения (б)

Fig. 1. Spring barley sprouted seeds “Nur” variety (initial weight 7.5 g) in bulk (a) and in a cylinder with water after vibrocompaction (b)

В-третьих, в большинстве исследований по изучению и разработке стимуляторов отсутствует системный подход. Семена рассматривают отдельно (сами по себе) и пытаются изучать их отклик на те, или иные воздействия на инертных субстратах. Вместе с тем семена представляют собой систему, в которую входят (кроме плодовых и семенных оболочек, алейронового слоя, эндосперма и зародыша) симбиотные и фитопатогенные эндофитные и эпифитные микроорганизмы [15–19]. Стимулятор может действовать не на сами семена, а на микроорганизмы семян, которые, выделяя биологически активные вещества, влияют на развитие семян [20, 21].

На самом деле ситуация является еще более сложной. Обработанные стимулятором семена попадают в почвы, в которых содержится на несколько порядков больше микроорганизмов, чем в самих семенах. При этом у семян при созревании нарушаются клеточные оболочки [1]. Это приводит к выделению в прилегающую к семенам почву большого количества питательных веществ (сахара, органические кислоты и т. д.), которые должны стимулировать развитие почвенных микроорганизмов. Среди почвенных микроорганизмов находятся и фитопатогены, способные тормозить прорастание семян и развитие из них растений. В связи с этим необходимо учитывать взаимодействие семян с почвенными микроорганизмами. Поэтому проверять эффект от действия стимуляторов на инертных субстратах, а не на почвах, на которых их планируется использовать — некорректно.

Все изложенное выше позволяет сделать вывод о том, что одной из основных проблем разработки стимуляторов прорастания семян является

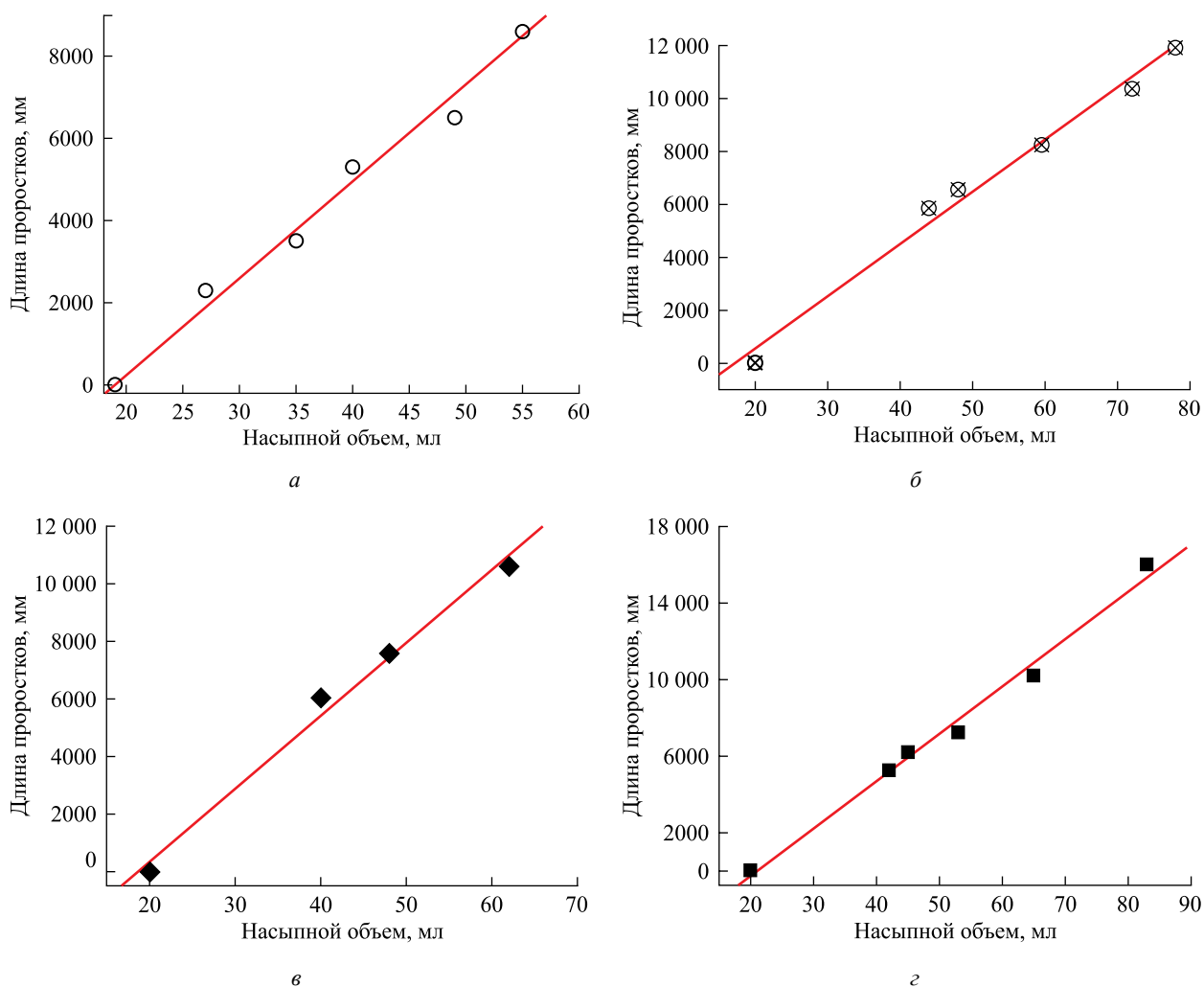


Рис. 2. Зависимость насыпного объема 7,5 г проросших семян от длины проростков (корней и ростков) озимого тритикале сорт «Немчиновский 56» (а), яровой пшеницы сорт «Лиза» (б), озимой ржи сорт «Татьяна» (в) и ярового ячменя сорт «Нур» (г)

Fig. 2. The dependence of bulk volume of 7.5 g of sprouted seeds on the length of seedlings (roots and sprouts) of winter triticale «Nemchinovsky 56» (a), spring wheat, «Lisa» (б), winter rye, «Tatiana» (в) and spring barley «Nur» (г)

создание высокопроизводительной и точной лабораторной методики, позволяющей проводить проверку эффективности применения препаратов-стимуляторов не в модельных условиях на инертных субстратах, а на конкретных почвах, используя большие массивы семян, оценивая развитие семян на третьем этапе их прорастания и при необходимости применяя стимуляторы совместно с фунгицидами.

Результаты и обсуждение

При работе с семенами мы обратили внимание на то, что насыпной объем проросших семян (семян с проростками) намного превышает объем набухших семян, так как проростки семян, цепляясь друг за друга, создают достаточно рыхлую структуру (рис. 1). Проведенные исследования ряда зерновых культур разных сортов показали,

что разность между насыпными объемами в воде проросших семян и только набухших семян прямо пропорциональна общей длине проростков, которую измеряли вручную.

Основной проблемой в возможности практического использования данного эффекта было создание однородной структуры из проросших семян, но этого легко удалось добиться, помещая проросшие семена в воду (в мерный цилиндр), используя вибрацию и располагая на поверхности семян небольшой грузик (резиновую пробку размером немного меньшим диаметром используемого цилиндра). Следует отметить, что наличие пробки на поверхности проросших семян упрощает измерение величины насыпного объема, делая границы семян со свободной водой четко видимой. Результаты для некоторых из изученных зерновых культур представлены на рис. 2. Обнаруженная

закономерность давала возможность, используя измерение насыпного объема проросших семян, определять суммарную длину их проростков. При этом, учитывая линейное увеличение длины проростков во времени (рис. 3), данный метод фактически позволяет определять среднюю скорость развития проростков массива семян.

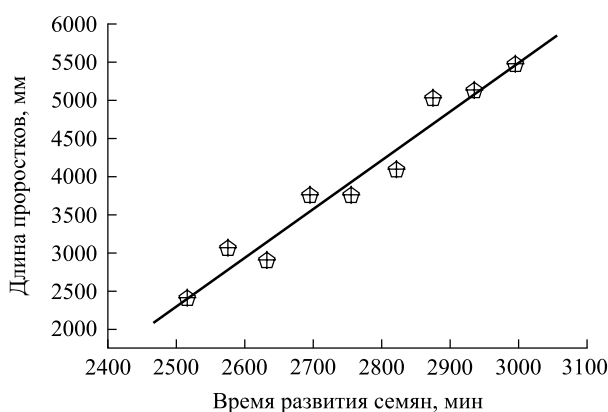


Рис. 3. Кинетическая зависимость изменения длины проростков 7,5 г семян тритикале сорт «Немчиновский 56» при их прорастании и развитии в дерново-подзолистой почве

Fig. 3. Kinetic dependence of the change in the length of seedlings 7.5 g of seeds of triticale variety «Nemchinovsky 56» during their germination and development in sod-podzolic soil

Необходимо отметить, что для определения влияния стимуляторов на развитие семян можно не строить зависимости длина проростков — насыпной объем для каждого сорта или культуры зерновых, измеряя длину проростков вручную. Учитывая существование линейной зависимости и то, что насыпные объемы набухших семян разных культур зерновых имеют близкие значения (для 7,5 г семян — 19,5–20 мл), метод дает возможность определять стимуляцию (ингибирование) в процентах увеличения длины проростков (A) по отношению разностей между насыпными объемами проросших семян, подвергшихся действию стимуляторов или ингибиторов ($V_{\text{ст}}$) и контрольного образца ($V_{\text{контр}}$) с объемом набухших семян ($V_{\text{наб}}$)

$$A = 100 \cdot [(V_{\text{ст}} - V_{\text{наб}}) / (V_{\text{контр}} - V_{\text{наб}})].$$

Точность определения, обеспечиваемая этим методом при шестикратной повторности, составляет около 7 %. Время измерения насыпного объема примерно 200 проросших семян (навеска 7,5 г исходных семян) с учетом отмывки семян от почвы — около 10 мин. Определение проводили, используя мерный цилиндр объемом 100 мл и обеспечивая однородность возникающей в нем структуры из проросших семян с помощью вибрации.

Большим достоинством данного метода является то, что при увеличении количества семян в образцах сложность определения насыпного объема проросших семян практически не меняется, а точность определения длины проростков или действия стимуляторов (ингибиторов) заметно возрастает.

Проведенная экспериментальная проверка показала, что данный метод пригоден для определения длины проростков не только семян зерновых культур, но и для мелких семян других культур.

Выводы

1. Разработана методика, позволяющая быстро определять общую длину проростков больших массивов семян, в частности, проводить проверку действия стимуляторов проращивания семян в лабораторных условиях.

2. При использовании разработанной методики необходимо проводить проверку действия стимуляторов при проращивании семян на почвах, на которых их планируется применять.

3. Проверку действия стимуляторов на семенах сельскохозяйственных и лесохозяйственных культур следует проводить при совместном использовании стимуляторов с фунгицидами.

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

Список литературы

- [1] Экология семян пшеницы / Сечняк Л.К. и др. М.: Колос, 1983. 349 с.
- [2] Дмитриев А.М., Страцкевич Л.К. Стимуляция роста растений / под ред. Н.Ф. Батыгина. Минск: Ураджай, 1986. 118 с.
- [3] Альбит на зерновых культурах и сахарной свекле / Алевин В.Т., Сергеев В.Р., Злотников А.К., Попов Ю.В., Рябчинская Т.А., Рукин В.Ф. // Защита и карантин растений, 2006. № 6. С. 26–27.
- [4] Влияние комплексного препарата гуминовых кислот и микроэлементов на урожайность и устойчивость к болезням яровой пшеницы / Бурмистрова Т.И., Удинцев С.Н., Терещенко Н.Н., Жилиякова Т.П., Сысоева Л.Н., Трунова Н.М. // Агрохимия, 2011. № 9. С. 64–67.
- [5] Кожухарь Т.В., Кириченко Е.В., Кохан С.С. Влияние минеральных удобрений и предпосевной обработки семян биологическими препаратами на содержание хлорофилла в листьях озимой пшеницы // Агрохимия, 2010. № 1. С. 61–67.
- [6] Предпосевная обработка семян яровой пшеницы гуминовым препаратом из торфа / Кравец А.В., Бобровская Д.Л., Касимова Л.В., Зотикова А.П. // Вестник Алтайского государственного аграрного университета, 2011. № 4. С. 22–24.
- [7] Полифункциональное действие препарата Альбит при предпосевной обработке семян яровой пшеницы / Рябчинская Т.А., Харченко Г.Л., Саранцева Н.А., Бобрецова И.Ю., Злотников А.К. // Агрохимия, 2009. № 10. С. 39–47.

- [8] Влияние предпосевной обработки семян пшеницы поверхностно-активными веществами на их прорастание при неблагоприятных условиях / Аксенова Л.А., Зак Е.А., Бочарова М.А., Клячко Н.Л. // Физиология растений, 1990. Т. 37. № 5. С. 1007–1014.
- [9] Обручева Н.В., Антипова О.В. Физиология инициации прорастания семян // Физиология растений, 1997. Т. 44. № 2. С. 287–302.
- [10] Image Analysis Associated with a Fuzzy Neural Network and Estimation of Shoot Length of Regenerated Rice Callus / Honda H., Takikawa N., Noguchi H., Hanai T., Kobayashi T. // J. of fermentation and bioengineering, 1997, v. 84, no. 4, pp. 342–347.
- [11] Judd L.A., Jackson B.E., Fonteno W.C. Advancements in Root Growth Measurement Technologies and Observation Capabilities for Container-Grown Plants // Plants (Basel), 2015, v. 4, pp. 369–392.
- [12] Seedling length in wheat determined by image processing using mathematical tools / Brunet A.P., Araujo A. de S., Dias L.W., Villela F.A., Aumonde T.Z. // Revista Ciência Agronômica, 2016, v. 47, no. 2, pp. 374–379.
- [13] Balakhnina T. The influence of wheat *Triticum aestivum* L. seed pre-sowing treatment with magnetic fields on germination, seedling growth, and antioxidant potential under optimal soil watering and flooding // Acta physiologiae plantarum, 2015, v. 37, no. 3, p. 59.
- [14] Šerá B. New physicochemical treatment method of poppy seeds for agriculture and food industries // Plasma Science and Technology, 2013, v. 15, no. 9, p. 935.
- [15] Проворов Н.А. Растительно-микробные симбиозы как эволюционный континуум // Журнал общей биологии, 2009. Т. 70. № 1. С. 10–34.
- [16] Савинов А.Б. Аутоценоз и деоценоз как симбиотические системы и биологические категории // Журнал общей биологии, 2012. Т. 73. № 4. С. 284–301.
- [17] Rosenberg E., Sharon G., Zilber-Rosenberg I. The hologenome theory of evolution contains Lamarckian aspects within a Darwinian framework // Environ. Microbiol, 2009, v. 11, no. 12, pp. 2959–2962.
- [18] Rosenberg E., Zilber-Rosenberg I. From bacterial bleaching to the hologenome theory of evolution // Proc. 11-th Int. Coral Reef Sympos.: Ft. Lauderdale, Florida, 2008, no. 9, pp. 269–273.
- [19] Zilber-Rosenberg I., Rosenberg E. Role of microorganisms in the evolution of animals and plants: the hologenome theory of evolution // FEMS Microbiol. rev., 2008, v. 32, pp. 723–735.
- [20] Эндوفитные бактерии как перспективный биотехнологический ресурс и их разнообразие / Чеботарь В.К., Щербаков А.В., Щербакова Е.Н., Масленникова С.Н. Заплаткин А.Н., Мальфанова Н.В. // Сельскохозяйственная биология, 2015. Т. 50. С. 648–654.
- [21] Bacterial endophytes: recent developments and applications / Ryan R.P., Germaine K., Franks A., Ryan D.J., Dowling D.N. // FEMS Microbiol Lett, 2007, v. 278, pp. 1–9.

Сведения об авторах

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

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

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

Горепекин Иван Владимирович — студент факультета почвоведения МГУ имени М.В. Ломоносова

Поступила в редакцию 26.02.2018.

Принята к публикации 08.08.2018.

METHODOLOGY FOR ASSESSING SEEDS GERMINATION STIMULANTS EFFECTIVENESS

G.N. Fedotov¹, V.S. Shalaev², Yu.P. Batyrev², I.V. Gorepekin¹

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

²BMSTU (Mytishchi branch), 1, 1st Institutskaya st., 141005, Mytishchi, Moscow reg., Russia

gennadiy.fedotov@gmail.com

Improvement seeds sowing qualities is one of the main factors yield increasing of agricultural and forestry crops. Among the most promising methods of improving seeds sowing qualities should be identified their stimulating treatment with physical effects or biologically active substances. It is believed that the initial processes of germination occur more intensively in the pre-sowing treatment of seeds. This especially affects the development of the root system. For a long time during the research evaluation was carried out according to the final result — yield, changes in the size and weight vegetative organs of plants, germination (germination energy) or physiological parameters (enzyme activity, the content of biologically active substances, etc.). However, all these studies are labor-intensive, long and require from a week (germination) to months (yield) of time costs. The work analyzes problems of development seed germination stimulants. The necessity creation of high-performance and rather simple laboratory technique is shown, the key moments of similar technique are allocated. Attention is drawn to the need a systematic approach to stimulants development, determining on its basis the stimulants direction. Among the conclusions: the developed technique allows to quickly determine the total sprouts length of large seeds arrays, in particular, to check the action seed germination stimulants in the laboratory; when using the developed technique, it is necessary to check the stimulants seeds germinating action on soils which they are planned to be used; check the stimulants action on agricultural and forestry crops seeds should be carried out when using stimulants with fungicides.

Keywords: agricultural and forestry crops seeds, seeds germination stimulants, methodology for assessing stimulants effectiveness, a systematic approach

Suggested citation: Fedotov G.N., Shalaev V.S., Batyrev Yu.P., Gorepekin I.V. *Metodika dlya otsenki effektivnosti deystviya stimulyatorov prorastaniya semyan* [Methodology for assessing seeds germination stimulants effectiveness] // *Lesnoy vestnik / Forestry Bulletin*, 2018, vol. 22, no. 6, pp. 95–101.
DOI: 10.18698/2542-1468-2018-6-95-101

References

- [1] Sechnyak L.K., Kindruk N.A., Slyusarenko O.K., Ivashchenko V.G., Kuznetsov E.D. *Ekologiya semyan pshenitsy* [Ecology of wheat seeds] Moscow: Kolos, 1983, 349 p.
- [2] Dmitriev A.M., Stratskevich L.K. *Stimulyatsiya rosta rasteniy* [Stimulation of plant growth] Ed. N.F. Batygin. Minsk: Uradzhay, 1986, 118 p.
- [3] Alekhin V.T., Sergeev V.R., Zlotnikov A.K., Popov Yu.V., Ryabchinskaya T.A., Rukin V.F. *Al'bit na zernovykh kul'turakh i sakharnoy svekle* [Albite on cereals and sugar beet] *Zashhita i karantin rasteniy*, 2006, no. 6, pp. 26–27.
- [4] Burmistrova T.I., Udintsev S.N., Tereshchenko N.N., Zhilyakova T.P., Sysoeva L.N., Trunova N.M. *Vliyanie kompleksnogo preparata guminovykh kislot i mikroelementov na urozhaynost' i ustoychivost' k boleznyam yarovoy pshenitsy* [Complex preparation of humic acids and microelement influence on yield and resistance to diseases of spring wheat] *Agrohimiya* [Agricultural Chemistry], 2011, no. 9, pp. 64–67.
- [5] Kozhukhar' T.V., Kirichenko E.V., Kokhan S.S. *Vliyanie mineral'nykh udobreniy i predposevnoy obrabotki semyan biologicheskimi preparatami na sodержание khlorofilla v list'yakh ozimoy pshenitsy* [Influence of mineral fertilizers and presowing treatment of seeds with biological preparations on chlorophyll content in winter wheat leaves] *Agrohimiya* [Agricultural Chemistry], 2010, no. 1, pp. 61–67.
- [6] Kravets A.V., Bobrovskaya D.L., Kasimova L.V., Zotikova A.P. *Predposevnaya obrabotka semyan yarovoy pshenitsy guminovym preparatom iz torfa* [Presowing treatment of spring wheat seeds with humic peat preparation]. *Vestnik Altayskogo gosudarstvennogo agrarnogo universiteta*, 2011, no. 4 (78), pp. 22–24.
- [7] Ryabchinskaya T.A., Kharchenko G.L., Sarantseva N.A., Bobreshova I.Yu., Zlotnikov A.K. *Polifunktional'noe deystvie preparata Al'bit pri predposevnoy obrabotke semyan yarovoy pshenitsy* [Polyfunctional action Albit preparation at presowing seeds treatment of spring wheat] *Agrohimiya* [Agricultural Chemistry], 2009, no. 10, pp. 39–47.
- [8] Aksenova L.A., Zak E.A., Bocharova M.A., Klyachko N.L. *Vliyanie predposevnoy obrabotki semyan pshenitsy poverkhnostno-aktivnymi veshchestvami na ikh prorastanie pri neblagopriyatnykh usloviyakh* [Effect of presowing treatment of wheat seeds with surfactants on their germination under adverse conditions] *Fiziologiya rasteniy* [Russian Journal of Plant Physiology], 1990, T. 37, no. 5, pp. 1007–1014.
- [9] Obrucheva N.V., Antipova O.V. *Fiziologiya initsiatsii prorastaniya semyan* [Physiology of seed germination initiation] *Fiziologiya rasteniy* [Russian Journal of Plant Physiology], 1997, T. 44, no. 2, pp. 287–302.
- [10] Honda H, Takikawa N, Noguchi H, Hanai T, Kobayashi T. Image Analysis Associated with a Fuzzy Neural Network and Estimation of Shoot Length of Regenerated Rice Callus. *Journal of fermentation and bioengineering*, 1997, v. 84, no. 4, pp. 342–347.
- [11] Judd L.A., Jackson B.E., Fonteno W.C. Advancements in Root Growth Measurement Technologies and Observation Capabilities for Container-Grown Plants. *Plants* (Basel), 2015, v. 4(3), pp. 369–392.

- [12] Brunes A.P., Araujo A. de S., Dias L.W., Villela F.A., Aumonde T.Z. Seedling length in wheat determined by image processing using mathematical tools. *Revista Ciência Agronômica*, 2016, v. 47, no. 2, pp. 374–379.
- [13] Balakhnina T. The influence of wheat *Triticum aestivum* L. seed pre-sowing treatment with magnetic fields on germination, seedling growth, and antioxidant potential under optimal soil watering and flooding. *Acta physiologiae plantarum*, 2015, t. 37, no. 3, p. 59.
- [14] Šerá B. New physicochemical treatment method of poppy seeds for agriculture and food industries. *Plasma Science and Technology*, 2013, t. 15, no. 9, p. 935.
- [15] Provorov N.A. *Rastitel'no-mikrobynye simbiozy kak evolyutsionnyy kontinuum* [Plant-microbe symbioses as an evolutionary continuum] *Zhurnal obshhey biologii* [Biology Bulletin Reviews], 2009, t. 70, no. 1, pp. 10–34.
- [16] Savinov A.B. *Autocenozy i democenozy kak simbioticheskiye sistemy i biologicheskiye kategorii* [Autocenosis and democenosis as symbiotic systems and biological categories] *Zhurnal obshhey biologii* [Biology Bulletin Reviews], 2012, t. 73, no. 4, pp. 284–301.
- [17] Rosenberg E., Sharon G., Zilber-Rosenberg I. The hologenome theory of evolution contains Lamarckian aspects within a Darwinian framework. *Environ. Microbiol.*, 2009, v. 11, no. 12, pp. 2959–2962.
- [18] Rosenberg E., Zilber-Rosenberg I. From bacterial bleaching to the hologenome theory of evolution. *Proc. 11-th Int. Coral Reef Sympos.*: Ft. Lauderdale, Florida, 2008, no. 9, pp. 269–273.
- [19] Zilber-Rosenberg I., Rosenberg E. Role of microorganisms in the evolution of animals and plants: the hologenome theory of evolution. *FEMS Microbiol. rev.* 2008, v. 32, pp. 723–735.
- [20] Chebotar' V.K., Shcherbakov A.V., Shcherbakova E.N., Maslennikova S.N., Zaplatkin A.N., Mal'fanova N.V. *Endofitnyye bakterii kak perspektivnyy biotekhnologicheskiy resurs i ikh raznoobrazie* [Endophytic bacteria as a promising biotechnological resource and their diversity] // *Sel'skokhozyaystvennaya biologiya*, 2015, t. 50, pp. 648–654.
- [21] Ryan R.P., Germaine K., Franks A., Ryan D.J., Dowling D.N. Bacterial endophytes: recent developments and applications. *FEMS Microbiol Lett.*, 2007, v. 278, pp. 1–9.

Authors' information

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

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

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

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

Received 26.02.2018.

Accepted for publication 08.08.2018.

РАЗРАБОТКА ТЕХНОЛОГИИ И ОБОРУДОВАНИЯ ДЛЯ ПОЛУЧЕНИЯ ЗАГОТОВОК ШПАЛ И ОПОР ЛИНИЙ ЭЛЕКТРОПЕРЕДАЧ ИЗ МОДИФИЦИРОВАННОЙ ДРЕВЕСИНЫ

И.Н. Медведев

Воронежский государственный лесотехнический университет имени Г.Ф. Морозова, 394087, г. Воронеж, ул. Тимирязева, д. 8
medved-vrn82@mail.ru

Модифицированная древесина широко применяется в различных отраслях промышленности. В настоящее время в России при производстве деревянных шпал и опор линий электропередач используется древесина хвойных пород, закупаемая у лесозаготовительных предприятий Северного Урала и Сибири. В то же время шпалы и опоры линий электропередач из древесины хвойных пород имеют невысокие прочностные и эксплуатационные характеристики, а следовательно, малый срок службы. Ранее разработанная технология не позволяла получать железнодорожные шпалы широкой колеи и опоры линий электропередач из модифицированной древесины с улучшенными эксплуатационными показателями. Нами разработана и опробована технология и технологическое оборудование производства совмещенным способом железнодорожных шпал широкой колеи из модифицированной древесины на опытной установке СПК-1М. Производство заготовок для шпал и опор линий электропередач из древесины мягких лиственных и хвойных пород основано на трех технологических операциях (сушка, пропитка и прессование). При производстве заготовок для шпал, применяется равномерное одноосное прессование. При производстве опор линий электропередач используется способ самопрессования древесины. С помощью модификации древесины путем сушки, пропитки и прессования возможно повысить физико-механические свойства заготовок для шпал и опор линий электропередач. Технология получения опор линий электропередач длиной 8 и 12 м, по сравнению со шпальной технологией, имеет большее количество технологических операций и является энергоемкой. Основными показателями физико-механических свойств модифицированной древесины полученных шпальных заготовок являются плотность 750 кг/м³, влажность 22 %, предел прочности при сжатии вдоль волокон 62 МПа, ударная вязкость 4,73 Дж/см². Для опор линий электропередач из модифицированной древесины важным показателем является предел прочности при статическом изгибе, который равен 90 МПа.

Ключевые слова: модифицированная древесина, технология, технологическое оборудование, шпалы, опоры ЛЭП

Ссылка для цитирования: Медведев И.Н. Разработка технологии и оборудования для получения заготовок шпал и опор линий электропередач из модифицированной древесины // Лесной вестник / Forestry Bulletin, 2018. Т. 22. № 6. С. 102–109. DOI: 10.18698/2542-1468-2018-6-102-109

Использование малоценной древесины мягких лиственных пород (береза, осина, тополь) в качестве сырья для производства заготовок железнодорожных шпал из модифицированной древесины включено в план реализации одного из перспективных направлений государственной программы по рациональному природопользованию и ресурсосбережению [1–6]. Модифицированной называют цельную древесину с направленно измененными свойствами.

Цель работы

Разработать и опробовать технологию и технологическое оборудование производства совмещенным способом железнодорожных шпал широкой колеи из модифицированной древесины на опытной установке СПК-1М.

Материалы и методы

Технология модификации древесины совмещенным способом позволяет повысить показатели физико-механических свойств древесины мягких лиственных пород до уровня показателей характерных древесине твердых лиственных пород.

Технология производства шпальных заготовок из модифицированной древесины позволяет получить заготовки железнодорожных шпал с улучшенными эксплуатационными характеристиками.

Опытно-экспериментальное производство шпальных заготовок из древесины мягких лиственных пород осуществляется на опытной установке СПК-1М. Принцип работы установки заключается в совмещении трех технологических операций: сушка, пропитка и прессование [7, 8].

Техническая характеристика опытной установки СПК-1М

Количество загружаемых заготовок древесины, шт....	1
Суммарное усилие гидроцилиндров (2 шт.), тс.....	80
Потребляемая мощность установки, кВт.....	30
Скорость циркуляции жидкости, л/мин.....	10
Объем жидкости в горячей ванне, л.....	120
Объем жидкости в холодной ванне, л.....	60
Температура жидкости в горячей ванне, °С.....	120
Удельное давление на заготовку, МПа.....	0,8
Продолжительность цикла, ч.....	68
Масса установки, кг.....	3200

На рис. 1 представлена 3D-модель опытной установки СПК-1М. Сушильно-прессовая установка СПК-1М состоит из рабочей ванны 1, в которой осуществляются сушка, пропитка и прессование. На силовой раме 2 закреплены гидроцилиндры 4, к штокам которых крепится нажимная плита. Система циркуляции маслянистого антисептика состоит из емкостей с холодным антисептиком 5 и с горячим антисептиком 6, соединенных трубопроводом с рабочей ванной 1. Циркуляция горячего и холодного антисептика осуществляется насосными агрегатами 8 и 9. В процессе работы установки происходит испарение антисептика и влаги из древесины, пары отводятся в теплообменник 7.

На рис. 2 представлен фотография общего вида опытной установки СПК-1М. На рис. 3 — элементы системы циркуляции антисептика — жидкости технической консервационной (ЖТК).

Технологический процесс производства шпальных заготовок из модифицированной древесины на опытной установке СПК-1М осуществляется в следующем порядке. Первая операция — это сушка бруса из древесины березы плотностью 550–600 кг/м³, с сечением 235 × 250 × 2750 мм и начальной влажностью 60–70 % в маслянистом антисептике ЖТК. Для сушки и пропитки древесины предлагается использовать маслянистый антисептик ЖТК, получаемый из нефтяных газойлей и остатков первичной перегонки (ТУ 0258-006-45651137-2004). При нормальной температуре (20 °С) ЖТК — воскообразный продукт от светло-коричневого до темно-коричневого цвета. Массовая доля воды не более 0,4 %. Температура застывания не выше –3 °С. Температура вспышки в открытом тигле не ниже +95 °С, в закрытом тигле более +61 °С. Плотность при 20 °С не более 1050 кг/м³. Заготовка в виде березового бруса помещается в сушильно-прессовую теплоизолированную ванну 5, на заготовку снизу и сверху предварительно укладывается вязаная сетка из низкоуглеродистой стали, ячейка не менее 6 × 6 мм, диаметр проволоки 2 мм. Это делается для того чтобы обеспечить беспрепятственный контакт антисептика и заготовки в процессе сушки и пропитки.

Основной износ шпалы в процессе ее эксплуатации происходит в зоне крепления рельса за счет разрыва волокон у древесины под рельсовой пластиной и дальнейшим поражением гнилью из-за попадания туда воды. Для уменьшения износа подрельсовой зоны в места крепления впрессовываются пластины из натуральной древесины березы размером 370 × 165 × 15 мм с направлением волокон перпендикулярным направлению волокон шпальной заготовки. Запрессовка пластин в подрельсовую зону шпальной заготовки

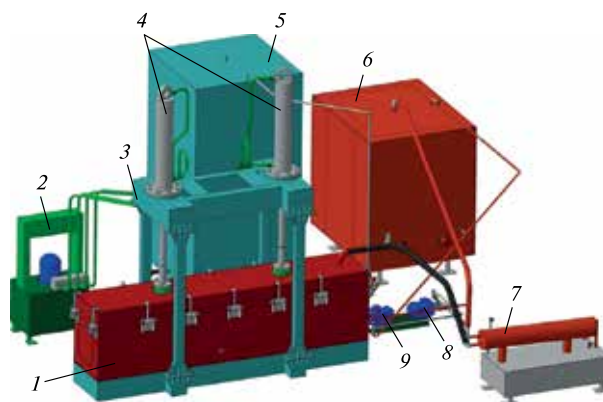


Рис. 1. 3D-модель сушильно-прессовой установки СПК-1М: 1 — рабочая ванна; 2 — рама; 3 — гидростанция; 4 — гидроцилиндры; 5 — емкость для холодного антисептика; 6 — емкость для горячего антисептика; 7 — теплообменник; 8 — насосный агрегат для перекачки горячего антисептика; 9 — насосный агрегат для перекачки холодного антисептика

Fig. 1. 3D-model of the drying and press installation SPK-1M: 1 — working bath; 2 — frame; 3 — hydraulic station; 4 — hydraulic cylinders; 5 — capacity for cold antiseptic; 6 — capacity for hot antiseptic; 7 — heat exchanger; 8 — pump unit for pumping hot antiseptic; 9 — pump unit for pumping cold antiseptic



Рис. 2. Общий вид опытной установки СПК-1М: 1 — гидроцилиндры (2 шт.); 2 — силовая рама; 3 — пуансон (нажимная плита); 4 — рабочая ванна; 5 — гидростанция; 6 — шкаф управления

Fig. 2. General view of the pilot unit SPK-1M: 1 — hydraulic cylinders (2 pcs.); 2 — power frame; 3 — punch (pressure plate); 4 — working bath; 5 — hydrostation; 6 — control cabinet

осуществляется в процессе основного прессования шпалы. Пластина предварительно укладывается сверху на шпальную заготовку перед началом технологического процесса.



Рис. 3. Система циркуляции антисептика: 1 — емкость для холодного антисептика (холодная ванна); 2 — емкость для горячего антисептика (горячая ванна) со встроенными теплоэлектронагревателями (ТЭНами); 3 — термометр; 4 — фильтр грубой очистки системы циркуляции антисептика ЖТК; 5 — насосный агрегат системы циркуляции маслянистого антисептика ЖТК

Fig. 3. Antiseptic circulation system: 1 — cold antiseptic tank (cold bath); 2 — capacity for hot antiseptic (hot bath) with built-in heat electric heaters (heating elements); 3 — thermometer; 4 — coarse filter circulating system of antiseptic; 5 — pump unit of the circulation system of an oily antiseptic

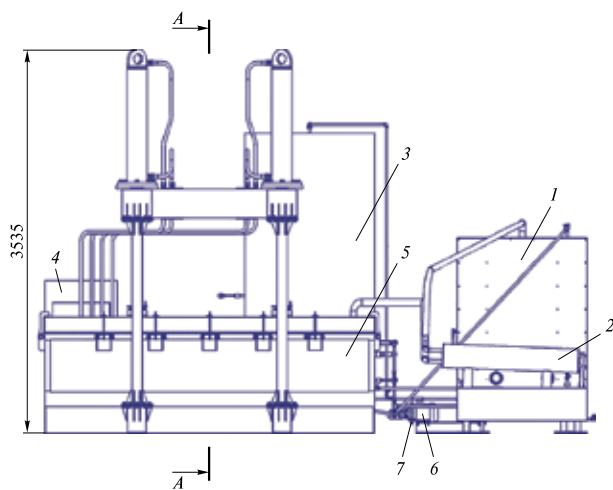


Рис. 4. Схема установки СПК-1М: 1 — емкость для горячего антисептика (горячая ванна) с встроенными ТЭНами; 2 — теплообменник для разделения испарений полученных в рабочей ванне; 3 — емкость для холодного антисептика (холодная ванна); 4 — насосная установка (гидростанция); 5 — сушильно-прессовая ванна (рабочая ванна); 6 — насосный агрегат к емкости с горячим антисептиком; 7 — насосный агрегат к емкости с холодным антисептиком

Fig. 4. Installation scheme of СПК-1М: 1 — hot antiseptic tank (hot bath) with built-in heating elements; 2 — heat exchanger for the separation of the vapors obtained in the working bath; 3 — capacity for cold antiseptic (cold bath); 4 — pumping unit (hydraulic station); 5 — drying and press bath (working bath); 6 — pump unit to the tank with a hot antiseptic; 7 — pump unit to the tank with a cold antiseptic

После этого нажимная плита опускается вместе с крышкой, закрепленной на штоках гидроцилиндров, ванна закрывается. Одновременно заготовка вместе с сеткой поджигаются.

Для снижения тепловых потерь крышка рабочей ванны дополнительно фиксируется шестью зажимами.

Далее в рабочую ванну 5 по трубопроводу из емкости с горячим антисептиком 1 заливается предварительно нагретый до 130 °С антисептик ЖТК и по соседнему трубопроводу антисептик обратно перекачивается в емкость 1, при этом температура антисептика снижается (см. рис. 4). Во время циркуляции антисептика через емкость 1 жидкость постоянно подогревается четырьмя ТЭНами мощностью 3,75 кВт каждый.

Циркуляция продолжается до тех пор, пока температуры в рабочей ванне 5 и емкости с горячим антисептиком 1 не сравняются. Схема установки СПК-1М представлена на рис. 4.

Как только температура в рабочей ванне достигла 130 °С, циркуляция временно прекращается за счет срабатывания электро-контактного термометра, установленного в рабочей ванне. Если температура или уровень антисептика в рабочей ванне 5 падают, включается насосный агрегат 6 и за счет автоматической регулировки скорости циркуляции горячего антисептика его температура в рабочей ванне и уровень восстанавливаются. Обязательным условием является поддержание такого уровня антисептика в рабочей ванне, чтобы шпальная заготовка была полностью погружена в маслянистый антисептик. Сушка является самой продолжительной операцией технологического процесса получения модифицированной древесины совмещенным способом на опытной установке СПК-1М. Длительность сушки зависит от начальной влажности заготовки древесины, ее температуры и температуры жидкости. Продолжительность процесса сушки, включая нагрев заготовки, при поддержании температуры в рабочей ванне 5–120 °С составит в среднем 30–35 ч.

После того, как температура в центре заготовки достигнет 100 °С, а на поверхности — порядка 120 °С, начинается процесс испарения влаги из середины заготовки. Продолжительность этапа сушки составляет порядка 42 ч. На этом процесс сушки заканчивается.

Следующая операция технологического процесса — пропитка. Пропитка шпальных заготовок на лабораторной установке СПК-1М осуществляется способом горяче-холодных ванн. Способ пропитки в горяче-холодных ваннах заключается в том, что при прогреве в ванне с горячим антисептиком происходит расширение и частичное удаление воздуха и паров воды. Далее следует быстрое погружение прогретой древесины в холодный раствор анти-

септика, вызывающее сжатие паровоздушной смеси, оставшейся в клетках древесины, и образование в них вакуума 0,005–0,008 МПа, который, совместно с действием капиллярных сил, обеспечивает введение антисептика при атмосферном давлении.

Антисептик находящийся в холодной ванне 3, предварительно подогретый до температуры 40 °С, закачивается в рабочую ванну 5 по трубопроводу насосным агрегатом 7, одновременно с этим горячий антисептик выкачивается из рабочей ванны 5 в емкость для горячего антисептика 1 (см. рис. 4). При этом датчиками уровня антисептика в рабочей ванне контролируется, чтобы уровень антисептика не опустился ниже высоты заготовки, чтобы не произошло всасывание заготовкой воздуха. В процессе, когда горячий антисептик выкачивается из рабочей ванны, а холодный закачивается, происходит незначительное перемешивание горячего и холодного антисептика, это не влияет на качество и глубину пропитки.

Время слива горячего антисептика и залива холодного антисептика должно быть не более 5 мин.

Пропитка проходит по следующей методике: горячая жидкость замещается холодной в течение 5 мин, далее следует выдержка древесины в холодной жидкости в течение 4 ч.

Весь цикл пропитки методом горяче-холодных ванн составляет 4 ч в автоматическом режиме.

Одноосное равномерное прессование является завершающей операцией технологического процесса производства модифицированной древесины совмещенным способом на опытной установке СПК-1М. Процесс прессования осуществляется за счет механического воздействия нажимной плиты на заготовку. Одноосное прессование по возможности совмещается с сушкой на завершающем этапе всего совмещенного процесса получения модифицированной древесины. Усилие прессования контролируется по манометру, воздействие на древесину осуществляется ступенчато. На первой стадии прессования создается давление на заготовку 60 кгс/см² по манометру, через 60 мин увеличивают давление нажимной плиты до 100 кгс/см² по манометру. На второй стадии поднимают давления до 140 кгс/см² через 120 мин с момента начала процесса и по завершении 3 ч происходит выход на рабочее давление 160 кгс/см². По истечении одного часа процесс прессования переходит на третью стадию. На данной стадии (завершающей) давление сбрасывается до 140 кгс/см², после 120 мин — до 40 кгс/см², и через 60 мин стрелка манометра опускается на ноль. Процесс прессования сопровождается сушкой при температуре в рабочей ванне 120 °С. После завершения прессования циркуляция горячего антисептика прекращается и заготовка остывает в рабочей ванне в течение 10–12 ч.

Результаты и обсуждение

В таблице представлены сравнительные характеристики показателей физико-механических свойств шпальных заготовок из модифицированной древесины и древесины сосны.

Сравнительные характеристики показателей физико-механических свойств древесины сосны и модифицированной древесины

Comparative characteristics indicators of physical and mechanical properties of pine wood and modified wood

Наименование показателей физико-механических свойств материала	Шпальная заготовка	
	из древесины сосны	из модифицированной древесины
Плотность материала, кг/м ³	520	750
Влажность, %	22	22
Предел прочности при сжатии вдоль волокон, МПа	36	62
Предел прочности при статическом изгибе, МПа	70	90

Ранее проводимые исследования физико-механических свойств модифицированной древесины, полученной способом самопрессования [9–11], позволяют предположить, что повышение плотности за один цикл возможно на 150–200 кг/м³.

Технология и оборудование для производства заготовок опор линий электропередач (ЛЭП) длиной 8 и 12 м существенно отличается от технологии производства шпал. При производстве опор ЛЭП в качестве сырья используются оцилиндрованные заготовки мягких лиственных пород (береза, осина, ольха) длиной не более 8 м и хвойных пород (сосна, ель) длиной не более 12 м, диаметр заготовок 25 см [12, 13].

Первая операция технологического процесса производства заготовок опор ЛЭП – сушка. Сушка оцилиндрованных бревен проводится в опытно-экспериментальной вакуумной установке УСВЧ В-01 объем загрузки которой составляет 6,3 м³ 8-метровых заготовок в количестве 12 шт. и 7,1 м³ 12-метровых заготовок. 3D-модель установки УСВЧ В-01 для сушки древесины представлена на рис. 5. Продолжительность сушки заготовок составляет порядка 10 ч. Разряжение воздуха в камере позволяет ускорить процесс сушки за счет перемещения насыщенного влагой воздуха в ресивер. Сушка проводится до достижения влажности 4–6 % в центре заготовки. Далее высушенные цилиндрические заготовки перемещают тельфером или кран-балкой на участок заталкивания в обойму (трубу) диаметром 22 см.

Разрез опытно-экспериментальной вакуумной установки УСВЧ В-01 представлен на рис. 6.



Рис. 5. 3D-модель установки УСВЧ В-01
Fig. 5. 3D-model of installation USVCH V-01

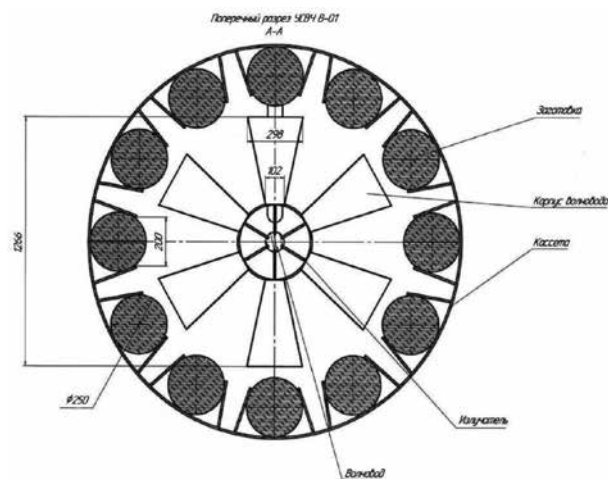


Рис. 6. Вид в разрезе опытно-экспериментальной вакуумной установки УСВЧ В-01
Fig. 6. View in section of the experimental vacuum unit USVCH V-01

Вторая технологическая операция — заталкивание заготовок через конус — осуществляется для четырех бревен одновременно, бревна предварительно смазаны маслянистым антисептиком ЖТК по всей поверхности (кроме торцов) для снижения сопротивления при трении о стенки обоймы. Заталкивание заготовок в обойму для четырех бревен осуществляется одновременно, операция занимает по времени в среднем 1 ч.

Третья, самая длительная технологическая операция – вымачивание. Заготовки в обойме в количестве 12 и более штук (24, 36, 48 и т. д.) кран-балкой погружаются в открытый бассейн с подогретой водой, где происходит равномерное (по всему объему) вымачивание заготовок. Снаружи по всей поверхности обоймы в шахматном порядке насверлены отверстия диаметром 10 мм для проникновения воды не только через торцы бревна вдоль волокон, но и что бы вода проникала поперек волокон. Длительность вымачивания в зависимости от длины заготовки составляет 3–5 суток. Для ускорения

процесса вымачивания вода в бассейне периодически подогревается (метод горяче-холодных ванн). При нахождении древесины в воде происходит ее объемное разбухание при водопоглощении.

Объем бревна увеличивается на 10–15 %, а металлическая обойма этого сделать не позволяет, происходит поверхностное самопрессование. Плотность бревна повышается на 10–15 %. Теоретически можно рассчитать, что при начальной плотности березового бревна 550–600 кг/м³ после одного цикла самопрессования плотность станет 650–700 кг/м³, т. е. достигнет плотности древесины твердых лиственных пород (дуб, ясень, клен) [14–16].

Четвертая операция технологического процесса — это сушка и пропитка заготовки вместе с обоймой в маслянистом антисептике ЖТК. Сушка заготовок в количестве 12 штук осуществляется в герметичной теплоизолированной ванне при температуре сушильного агента (маслянистого антисептика ЖТК) 120 °С. Температура антисептика поддерживается за счет его циркуляции через емкость, в которой установлены ТЭНы. Процесс сушки длится порядка 25 ч с момента достижения температуры антисептика в ванне 120 °С.

После того как заготовка высохла и пропиталась антисептиком ее перемещают кран-балкой на участок заталкивания, где бревно извлекают из обоймы с помощью горизонтального гидроцилиндра и наставок.

Прогнозируемый срок службы опоры ЛЭП из модифицированной древесины составляет от 30 до 50 лет.

Выводы

- 1) создана и испытана установка СПК-1М для получения заготовок для шпал широкой колеи из модифицированной древесины совмещенным способом;
- 2) полученные шпальные заготовки соответствуют ГОСТ Р 56879–2016 «Древесина модифицированная. Заготовки для шпал и столбов ЛЭП»;
- 3) разработаны технология и аппаратное оформление получение опор ЛЭП из модифицированной древесины способом самопрессования.

Материалы исследований, представленные в данной статье получены в рамках выполнения государственного задания Минобрнауки России № 11.3960.2017/4.6.

Список литературы

[1] Growth characteristics and wood properties of 26-year-old *Eucalyptus alba* planted in Indonesia / I. Wahyudi, F. Ishiguri, K. Makino, J. Tanabe, L. Tan, A. Tuhumury, K. Iizuka, S. Yokota // International Wood Products Journal, 2015, no. 6, pp. 84–88. DOI: 10.1179/2042645315Y.0000000003

- [2] Effect of thermal modification on mechanical properties of canadian white birch (*betula papyrifera*) / S. Lekounougou, D. Kocaefe, N. Oumarou, Y. Kocaefe, S. Poncsak // *International Wood Products Journal*, 2011, v. 2, no. 2, pp. 101–107.
- [3] Tshabalala M.A., McSweeney J.D., Rowell R.M. Peat treatment of wet wood fiber: a study of the effect of reaction conditions on the formation of furfurals // *Wood Material Science and Engineering*, 2012, v. 7, no. 4, pp. 202–208.
- [4] Sandberg D., Haller P., Navi P. Thermo-hydro and thermo-hydro-mechanical wood processing: an opportunity for future environmentally friendly wood products // *Wood Material Science and Engineering*, 2013, v. 8, no. 1, pp. 64–88.
- [5] Poncsak S., Kocaefe D., Younsi R. Improvement of the heat treatment of jack pine (*pinus banksiana*) using thermowood technology // *Holz als Roh- und Werkstoff*, 2011, v. 69, no. 2, pp. 281–286.
- [6] Hanhijärvi A. Deformation properties of Finnish spruce and pine wood in tangential and radial directions in association to high temperature drying. Part II. Experimental results under constant conditions (viscoelastic creep) // *Holz als Roh- und Werkstoff*, 1999, v. 57, pp. 365–372.
- [7] Shamaev V. Teoreticke a prakticke aspektu chemiko-mekhaniky modifikacia dreva mocovinou // «*Unterprogres'87*», zbornik prednasok. Bratislava, 1989, pp. 206–209.
- [8] Shamaev V. Modifikacia drewna samopressovaniem // «*Modifikacja drewna*» Mater.VII Sympozium, Poznan: WRZES, 1989, pp. 173–178.
- [9] Деревянная шпала. Пат. 2400587 Российская Федерация, МПК⁷ В 27 К 3/02. / Шамаев В.А., Медведев И.Н., Овчинников, В.С. Кондратюк В.А.; заявитель и патентообладатель Общество с ограниченной ответственностью Лигнум, ФГУП Государственный научный центр лесопромышленного комплекса. № 2009128286/12; заявл. 21.07.2009; опубл. 27.09.2010. Бюл. № 27. 2 с.
- [10] Шамаев В.А., Медведев И.Н. К вопросу модифицирования древесины для производства столбов ЛЭП // Матер. Межд. научн.-техн. конф «Актуальные проблемы фундаментальных исследований воспроизводства и переработки природных полимеров» Воронеж, ВГЛТА, 17–21 марта 2014 г. Воронеж: ВГЛТА, 2014. С. 192–197.
- [11] Способ получения модифицированной древесины. Пат. 2391202 Российская Федерация, МПК⁷ В 27 К 3/02. / Шамаев В.А., Медведев И.Н., Рахманов В.Г., Долгих Е.А., заявитель и патентообладатель ГОУ ВПО Воронежская государственная лесотехническая академия. № 2009108587/12; заявл. 26.03.2007; опубл. 10.06.2010. Бюл. № 27. 2 с.
- [12] Способ получения модифицированной древесины. Пат. 2346809 Российская Федерация, МПК⁷ В 27 К 3/02. / В. А. Шамаев, И. Н. Медведев, В. В. Златоустовская, А. И. Анучин; заявитель и патентообладатель Общество с ограниченной ответственностью Лигнум. № 2007112593/04; заявл. 04.04.2007; опубл. 20.02.2009. Бюл. № 5. 2 с.
- [13] ГОСТ Р 56879-2016 Древесина модифицированная. Заготовки для шпал и столбов ЛЭП. Технические условия. Введ. 11.01.2016. Приказ федерального агентства по техническому регулированию и метрологии от 29.01.2016 г. № 86. М., 7с.
- [14] Шамаев В.А. Медведев И.Н., Шакирова О.И. Деформирование древесины при равномерном сжатии с одновременной сушкой // *Лесотехнический журнал*, 2012. № 2. С. 15–21.
- [15] Шамаев В.А. Получение модифицированной древесины химико-механическим способом и исследованием ее свойств // *Лесотехнический журнал*, 2015. № 4, С. 113–116.
- [16] Sandak A., Sandak J., Allegretti O. Quality control of vacuum thermally modified wood with near infrared spectroscopy // *Vacuum*, 2015, v. 114, pp. 44–48.

Сведения об авторе

Медведев Илья Николаевич — канд. техн. наук, младший научный сотрудник научно-исследовательского отдела Воронежского государственного лесотехнического университета им. Г.Ф. Морозова, medved-vrn82@mail.ru

Поступила в редакцию 16.02.2018.

Принята к публикации 31.07.2018.

DEVELOPMENT OF TECHNOLOGY AND EQUIPMENT FOR THE PRODUCTION OF BLANKS OF RAILWAY SLEEPERS AND ELECTRIC POWER PYLONS FROM MODIFIED WOOD

I.N. Medvedev

Voronezh State University of Forestry and Technologies named after G.F. Morozov, 8, Timiryazev st., 394087, Voronezh, Russia

medved-vrn82@mail.ru

Modified wood is widely used in various industries. Currently in Russia for the manufacture of wooden railway sleepers and power transmission poles (power lines) the softwood purchased from logging companies in the Northern Urals and Siberia is used. At the same time sleepers and power pylons from wood of coniferous breeds have not high strength and operational characteristics and consequently they have small service life. Earlier developed technology did not allow receive railway sleepers of a wide gauge and power pylons from the modified wood with the improved operational characteristics. We developed and tested the technology and processing equipment of production in the combined way of railway sleepers of a wide gauge from the modified wood on the СИК-1М pilot plant. Production of blanks for sleepers and transmission pylons made of soft hardwood and softwood is based on three technological operations (drying, impregnation and pressing). In the production of blanks for sleepers, uniform uniaxial compression was applied. In the production of transmission towers we used a wood self-pressing method. By means of modification of wood by drying, impregnation and pressing, it is possible to increase physical and mechanical properties of preparations for cross ties and power pylons. The technology of obtaining transmission pylons 8 and 12 meters long, compared with sleeper technology has a greater number of technological operations and is energy-intensive. The main indicators of physical and mechanical properties of the modified wood obtained sleeper blanks are the density 750 kg/m³, humidity of 22 %, tensile strength at compression along fibres timber 62 MPa impact toughness 4,73 j/cm². For power transmission towers made of modified wood an important indicator is the tensile strength at static bending, which is equal to 90 MPa.

Keywords: modified wood, technology, technological equipment, sleepers, transmission line supports

Suggested citation: Medvedev I.N. *Razrabotka tekhnologii i oborudovaniya dlya polucheniya zagotovok shpal i opor liniy elektroperedach iz modifitsirovannoy drevesiny* [Development of technology and equipment for the production of blanks of railway sleepers and electric power pylons from modified wood]. *Lesnoy vestnik / Forestry Bulletin*, 2018, vol. 22, no. 6, pp. 102–109. DOI: 10.18698/2542-1468-2018-6-102-109

References

- [1] Wahyudi I., Ishiguri F., Makino K., Tanabe J., Tan L., Tuhumury, A., Iizuka K., Yokota S. Growth characteristics and wood properties of 26-year-old *Eucalyptus alba* planted in Indonesia. *International Wood Products Journal*, 2015, no. 6, pp. 84–88. DOI: 10.1179/2042645315Y.0000000003
- [2] Lekounougou S., Kocaefe D., Oumarou N., Kocaefe Y., Poncsak S. Effect of thermal modification on mechanical properties of canadian white birch (*Betula papyrifera*). *International Wood Products Journal*, 2011, t. 2, no. 2, pp. 101–107.
- [3] Tshabalala M.A., McSweeney J.D., Rowell R.M. Peat treatment of wet wood fiber: a study of the effect of reaction conditions on the formation of furfurals. *Wood Material Science and Engineering*, 2012, t. 7, no. 4, pp. 202–208.
- [4] Sandberg D., Haller P., Navi P. Thermo-hydro and thermo-hydro-mechanical wood processing: an opportunity for future environmentally friendly wood products. *Wood Material Science and Engineering*, 2013, t. 8, no. 1, pp. 64–88.
- [5] Poncsak S., Kocaefe D., Younsi R. Improvement of the heat treatment of jack pine (*Pinus banksiana*) using thermowood technology. *Holz als Roh- und Werkstoff*, 2011, t. 69, no. 2, pp. 281–286.
- [6] Hanhijärvi A. Deformation properties of Finnish spruce and pine wood in tangential and radial directions in association to high temperature drying. Part II. Experimental results under constant conditions (viscoelastic creep). *Holz als Roh- und Werkstoff*, 1999, t. 57, pp. 365–372.
- [7] Shamaev V. Teoretické a praktické aspekty chemiko-mechaniky modifikácie dreva mocovinou. «Unterprogres' 87», zbornik prednasok, Bratislava, 1989, pp. 206–209.
- [8] Shamaev V. Modifikácia drewna samopressowaniem // «Modifikacja drewna» Mater. VII Sympozium, Poznan: WRZES, 1989, pp. 173–178.
- [9] Shamaev V.A., Medvedev I.N., Ovchinnikov, V.S. Kondratyuk V.A. Derevyannaya shpala [Wooden sleeper] Pat 2400587 Russian Federation, MPK7 B 27 K 3/02, applicant and patent holder Lignum Limited Liability Company, Federal State Unitary Enterprise State Research Center of the Timber Industry Complex. No. 2009128286/12, declare 07/21/2009, publ. September 27, 2010, bul. № 27, 2 p.
- [10] Shamaev V.A., Medvedev I.N. *K voprosu modifitsirovaniya drevesiny dlya proizvodstva stolbov LEP* [On the issue of wood modification for the production of power transmission poles] Mater. Int. scientific-tech. konf «Actual problems of fundamental research of reproduction and processing of natural polymers». Voronezh, VGLTA, 17–21.03.2014. Voronezh: VGLTA, 2014. pp. 192–197.
- [11] Shamaev V.A., Medvedev I.N., Rakhmanov V.G., Dolgikh E.A. *Sposob polucheniya modifitsirovannoy drevesiny* [A method for producing modified wood]. Pat 2391202 Russian Federation, MPK7 B 27 K 3/02., applicant and patent holder of Voronezh State Forestry Academy, no. 2009108587/12, declare March 26, 2007, publ. 06/10/2010, bul. № 27, 2 p.

- [12] Shamaev V.A., Medvedev I.N., Zlatoustovskaya V.V., Anuchin A.I. *Sposob polucheniya modifitsirovannoy drevesiny* [A method for producing modified wood]. Pat 2346809 Russian Federation, MPK7 B 27 K 3/02., applicant and patent holder Lignum Limited Liability Company, no. 2007112593/04, declare 04/04/2007, publ. February 20, 2009, bul. № 5, 2 p.
- [13] *GOST R 56879-2016 Drevesina modifitsirovannaya. Zagotovki dlya shpal i stolbov LEP. Tekhnicheskie usloviya* [GOST R 56879–2016 Modified wood. Blanks for sleepers and power lines poles. Technical conditions]. Enter 01.11.2016 Order of the Federal Agency for Technical Regulation and Metrology from 29. 01. 2016, № 86, М., 7 p.
- [14] Shamaev V.A. Medvedev I.N., Shakirova O.I. *Deformirovanie drevesiny pri ravnomernom szhatii s odnovremennoy sushkoy* [Wood deformation under uniform compression with simultaneous drying] *Forest Engineering Journal*, 2012, no. 2, pp. 15–21.
- [15] Shamaev V.A. *Poluchenie modifitsirovannoy drevesiny khimiko-mekhanicheskim sposobom i issledovaniem ee svoystv* [Production of modified wood by chemical-mechanical method and the study of its properties] *Lesotekhnicheskiy zhurnal* [Forest Engineering Journal], 2015, no. 4, pp. 113–116.
- [16] Sandak A., Sandak J., Allegretti O. Quality control of vacuum thermally modified wood with near infrared spectroscopy. *Vacuum*, 2015, v. 114, pp. 44–48.

Author's information

Medvedev Il'ya Nikolaevich — Cand. Sci. (Tech.), Junior Research Scientist of the Voronezh State University of Forestry and Technologies named after G.F. Morozov, medved-vrn82@mail.ru

Received 16.02.2018.

Accepted for publication 31.07.2018.

МИКОЛИЗ ДРЕВЕСИНЫ КАК МЕТОД ЕЕ ДЕЛИГНИФИКАЦИИ

Г.Н. Кононов, А.Н. Веревкин, Ю.В. Сердюкова, Н.А. Николенко

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

Описан механизм миколиза древесины под действием грибов-делигнификаторов. Изучен компонентный состав микологически разрушенной древесины грибами белой гнили. Установлено, что в такой древесине резко возрастает количество экстрактивных веществ как гидрофобного, так и гидрофильного характера. Это означает, что миколизу подвергается как лигнин, так и углеводная часть древесины. При этом содержание лигнина уменьшается более чем в 2 раза, а содержание полисахаридов возрастает до 80 %. Такая делигнифицированная древесина имеет увеличенную внутреннюю поверхность целлюлозных волокон и может быть использована в качестве волокнистого полуфабриката для изготовления листовых материалов картонного и бумажного типов. Реакционная способность целлюлозного компонента такого полуфабриката повышена за счет разрыхления надмолекулярной структуры и как следствие увеличения доступности реакционноспособных групп. Поэтому такой полуфабрикат может быть использован для получения функциональных производных без предварительной активации.

Ключевые слова: лигнин, целлюлоза, микологически разрушенная древесина, лигноуглеводный комплекс, дереворазрушающие грибы

Ссылка для цитирования: Кононов Г.Н., Веревкин А.Н., Сердюкова Ю.В., Николенко Н.А. Миколиз древесины, как метод ее делигнификации // Лесной вестник / Forestry Bulletin, 2018. Т. 22. № 6. С. 110–115. DOI: 10.18698/2542-1468-2018-6-110-115

Целлюлоза является самым распространенным органическим соединением и биополимером растительного происхождения. Она достаточно редко встречается в виде индивидуального соединения, но входит в состав лигноуглеводных комплексов, включающих химически связанные с ней гемицеллюлозы и лигнин [1]. Для получения целлюлозы в достаточно чистом виде применяются различные методы делигнификации древесины. Разработанные и применяемые в настоящее время в промышленном масштабе делигнификационные процессы подразумевают использование кислотных, щелочных и окислительных реагентов [1–3]. Следствием этого является наличие экологически вредных производств, имеющих большое количество промышленных стоков, токсичных выбросов в атмосферу, а также высокую себестоимость готовой продукции.

Цель работы

Работа посвящена вопросам делигнификации древесины с целью получения волокнистых полуфабрикатов высокого выхода для дальнейшего их использования в качестве химического сырья.

Материалы и методы

Одним из экологически чистых способов делигнификации древесины может быть ее миколиз под действием ферментативных комплексов дереворазрушающих грибов, образующих так называемую белую гниль [3–6].

Кроме лигнолитических ферментов эти грибы содержат также целлюлазы и гемицеллюлазы — энзимы, расщепляющие целлюлозу и частично

гемицеллюлозы соответственно [7–11]. По соотношению скоростей действия ферментов на лигнин и полисахариды грибы-делигнификаторы делятся на следующие группы:

- 1) разрушающие лигнин, а затем гемицеллюлозы и целлюлозу (некоторые виды грибов рода *Trametes*);
- 2) разлагающие гемицеллюлозы, целлюлозу, а затем лигнин (вид съедобных грибов рода *Armillaria mellea*);
- 3) грибы, разлагающие одновременно, хотя и в разных пропорциях, и лигнин, и полисахариды (*Ganoderma applanatum*, *Heterobasidion annosum*, *Pleurotus ostreatus*) [2, 12–14].

С нашей точки зрения наиболее перспективными являются первая и третья группы дереворазрушающих грибов, дающие полуфабрикат волокнистой структуры в той или иной степени делигнифицированный по сравнению с исходной древесиной [2].

При действии грибов-делигнификаторов процесс миколиза древесины начинается с проникновения их гифов во внутреннюю полость клетки. При этом образуются микроотверстия в стенке клетки вследствие действия ферментов, выделяемых гифами. В дальнейшем эти отверстия значительно расширяются и позволяют многим гифам проникнуть в глубокие слои клеточной стенки вплоть до срединной пластинки [15–20].

После этого делигнификация продолжается и сопровождается набуханием и отделением внутренних слоев клеточной стенки. Постепенно происходит расслоение клеточной стенки по всей ее толщине и заполнение ее частями поло-

сти клетки. В заключение делигнифицируются срединные пластинки и происходит мацерация клеток. Причем разложение наблюдается на значительном удалении от гифов, что свидетельствует о высокой диффундирующей способности лигнолитических ферментов гриба. Такое прогрессирующее разложение клеточных стенок делает их все более пористыми с высокоразвитой поверхностью [19–22].

Делигнификация вторичной стенки протекает довольно быстро, в то время как разрушение сложной срединной пластинки запаздывает до определенной степени, в зависимости от вида гриба. УФ-микроскопия показывает, что сложная срединная пластинка даже на глубоких стадиях делигнификации дает поглощение ароматического кольца, в то время как вторичная стенка почти не содержит ароматических структур лигнина уже при потере массы древесины около 10 % (рис. 1).

В работе использовалась древесина березы в виде технологической щепы, которую использовали для выращивания дереворазрушающих грибов и изучения ее структуры и химического состава.

Комплекс дереворазрушающих грибов из первой и третьей групп культивировали в стационарных условиях на жидкой питательной среде, содержащей 20 г/л глюкозы, 1 г/л пептона, 200 мл/л сула, рН до стерилизации 6,0–6,2 при 24 °С в течение 14 суток. Для получения микологически разрушенной древесины дереворазрушающие грибы выращивали методом твердофазной ферментации: щепу березы увлажняли водой, содержащей 1 % пептона, и инокулировали культурой грибов. Твердый субстрат прорастал мицелием дереворазрушающих грибов за 10–12 суток при 24–25 °С [23].

Для изучения структуры образцы доводили до влажности 4–5 %, нарезали тонкими пластинами и на специальной подложке помещали в сканирующий электронный микроскоп [4, 21].

Определение содержания лигнина Классона проводили по методу Комарова путем обработки древесины 72 % серной кислотой [15, 24–26].

Содержание целлюлозы определяли по методу Кюршнера и Хоффера обработкой этанольным раствором азотной кислоты (4 : 1) [15, 24–26].

Определение редуцирующей способности и медного числа выделенной целлюлозы производили ее обработкой жидкостью Феллинга [15, 24–26].

Кроме того, определяли содержание экстрактивных веществ древесины путем их извлечения, обработкой древесины различными растворителями [15].

Для определения веществ, растворимых в холодной воде, навеску воздушно-сухих опилок около 2 г поместили в стеклянный стакан вместимостью 400 мл и залили 300 мл дистиллированной

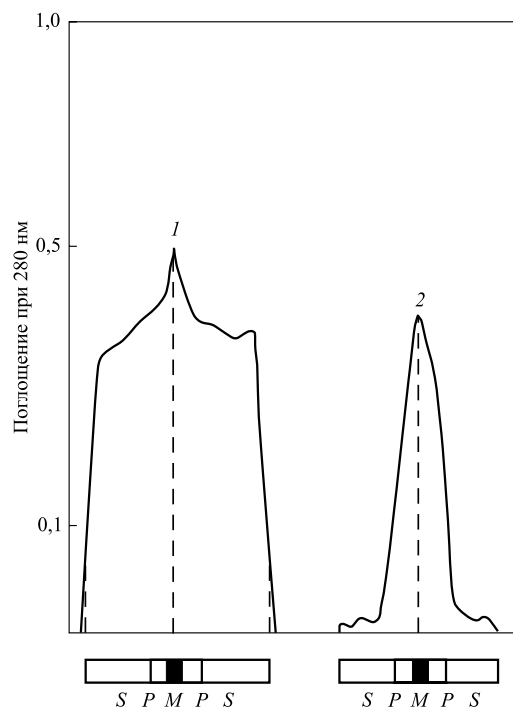


Рис. 1. УФ-микроскопическое исследование клеточных стенок двух смежных клеток волокон либриформа здоровой (1) и биоделигнифицированной (2) древесины березы [8]

Fig. 1. UV-microscopic research of two interfacing cell walls of libriform fibers of healthy (1) and biodelignified (2) birch wood [8]

воды с температурой 20 ± 2 °С. Смесь выдерживали в течение 48 ч при указанной температуре, периодически перемешивая. Затем опилки отфильтровали на высушенном до постоянной массы пористом стеклянном фильтре под вакуумом. Фильтр с опилками сушили при температуре 103 ± 2 °С до постоянной массы.

Для определения веществ, растворимых в горячей воде, навеску воздушно-сухих опилок (около 2 г) поместили в коническую колбу вместимостью 250 мл и залили 100 мл дистиллированной воды. К колбе присоединили обратный холодильник и поставили на кипящую водяную баню. Экстрагирование проводили в течение 3 ч. Затем опилки отфильтровали на высушенном до постоянной массы пористом стеклянном фильтре. Фильтр с опилками сушили до постоянной массы при температуре 103 ± 2 °С.

Для определения веществ, растворимых в разбавленных растворах щелочей, навеску воздушно-сухих опилок (около 2 г) поместили в коническую колбу вместимостью 250 мл и заливали 100 мл 10 % раствора КОН. К колбе присоединили обратный холодильник и поставили на кипящую водяную баню. Экстрагирование проводили в течение 1 ч. Затем опилки отфильтровали на высушенном до постоянной массы пористом стеклянном фильтре. Опилки на фильтре

промыли 100 мл горячей дистиллированной воды, затем 50 мл 10-процентного раствора уксусной кислоты и опять дистиллированной водой до нейтральной реакции промывных вод. Фильтр с опилками сушили до постоянной массы при температуре $105 \pm 2 \text{ }^\circ\text{C}$.

Для определения веществ, растворимых в органических растворителях, использовали аппарат Сокслета. Около 2 г воздушно-сухих опилок, завернутых в гильзу из фильтровальной бумаги, поместили в насадку для экстрагирования. В колбу аппарата налили 200 мл растворителя. Экстрагирование кипящим растворителем продолжалось в течение 2–3 ч. Раствор (экстракт) перелили в высушенную до постоянной массы колбу и отогнали растворитель. Колбу со смолой сушили при $103 \pm 2 \text{ }^\circ\text{C}$ до постоянной массы.

Массовые доли экстрактивных веществ (в %) рассчитали по отношению к массе абсолютно сухой древесины [2, 15].

Результаты и обсуждение

В результате проведенной биоделигнификации уже при уменьшении массы на 15–20 %, древесина значительно теряет лигнин и обогащается целлюлозой (рис. 2).

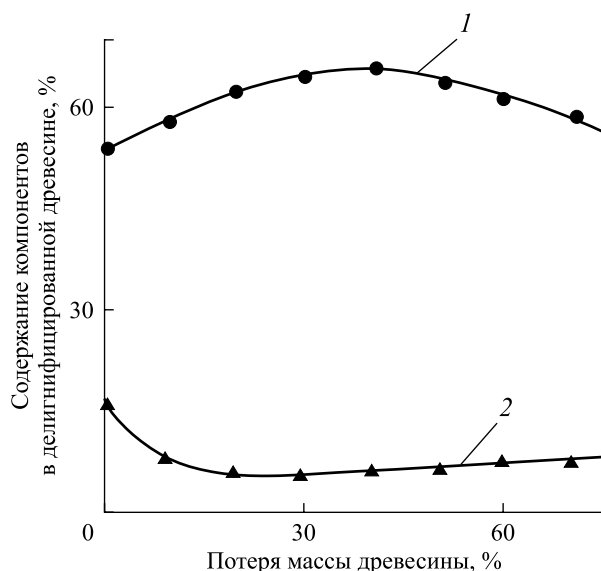


Рис. 2. Изменение содержания основных компонентов древесины березы при биоделигнификации: 1 — целлюлоза; 2 — лигнин

Fig. 2. Content changes of principal components of birch wood at biodelignification: 1 — cellulose; 2 — lignin

Такая частично делигнифицированная древесина с увеличенной внутренней поверхностью целлюлозных волокон и, по-видимому, уменьшенной степенью кристалличности целлюлозы, может быть использована в качестве волокнистого полуфабриката для изготовления листовых материалов картонного и бумажного типа [11, 25].

Состав экстрактивных веществ древесины березы

The composition of birch wood extraneous substance

Способ обработки	Содержание экстрактивных веществ, %	
	исходная древесина	биоделигнифицированная древесина
Экстракция холодной водой	0,3	3,8–5,3
Экстракция горячей водой	2,2	15,2–18,0
Экстракция смесью этанол : бензол (1:2)	1,8	1,9–2,1
Экстракция 10-процентным раствором КОН	28,0	35,6–38,2

Реакционная способность целлюлозного компонента такого полуфабриката повышена за счет разрыхления надмолекулярной структуры и, как следствие, увеличения доступности реакционноспособных групп. Поэтому такой полуфабрикат может быть использован для получения функциональных производных без его предварительной активации.

Кроме установления содержания лигнина и целлюлозы определялись медное число, а также содержание экстрактивных веществ в биоделигнифицированной древесине. Результаты проведенных исследований представлены в таблице.

Выводы

Результаты исследования показали, что в микологически разрушенной древесине резко возрастает количество экстрактивных веществ как гидрофильного, так и гидрофобного характера. Это свидетельствует о том, что процессу миколиза подвергается как лигнин, дающий определенное количество гидрофобных продукты, так и углеводная часть древесины, превращаемая в гидрофильные олигосахариды. При этом содержание гидрофильных веществ увеличивается примерно на порядок. Так как лигнина в древесине примерно в 2,5 раза меньше, чем углеводных компонентов, то процесс его превращения в низкомолекулярные экстрактивные вещества как гидрофобного, так и гидрофильного характера объясняет более резкое сокращение его относительного содержания по сравнению с углеводами древесины. Значительное увеличение количества щелочерастворимых продуктов свидетельствует о частичной деструкции целлюлозы до олигосахаридов гемицеллюлозного типа и образования соединений фенольной природы из лигнина. Высокое значение медного числа выделенной целлюлозы характеризует как снижение ее степени полимеризации, так и, по-видимому, образование редуцирующих групп внутри макромолекулярных цепей за счет биоокислительных процессов.

Полученные результаты подтверждают теоретические предпосылки, изложенные выше, что позволяет предположить возможность перспективности выбранного направления исследования микологически разрушенной древесины.

Список литературы

- [1] Азаров В.И., Кононов Г.Н., Горячев Н.Л. Изучение компонентного состава микологически разрушенной древесины // *Технология и оборудование для переработки древесины: научные труды*. М.: МГУЛ, 2012. Вып. 358. С. 126–131.
- [2] Кононов Г.Н. *Химия древесины и ее основных компонентов*. М.: МГУЛ, 2002. 259 с.
- [3] Озолия Н.Р., Сергеева В.Н., Абрамович Ц.Л. Анатомические и химические изменения древесины березы пораженной грибами белой гнили // *Известия АН Латв. ССР*, 1987. № 12. С. 45–52.
- [4] Медведева С.А. Превращение ароматической компоненты древесины в процессе биоделигнификации: автореф. дис. ... д-ра хим. наук. Иркутск: Иркутский гос. ун-т, 1995. 40 с.
- [5] Изучение лигниназной активности базидиомицета *Phanerochaete sanguinea* / Медведева С.А., Бабкин В.А., Волчатова И.В., Соловьев В.А., Малышева О.Н., Спиридонова Л.Н., Александрова Г.Л. // *Химия древесины*, 1989. № 6. С. 75–76.
- [6] Исследование некоторых факторов, влияющих на ферментативную активность гриба *Phanerochaete sanguinea* / Александрова Г.П., Медведева С.А., Бабкин В.А., Соловьев В.А., Малышева О.Н. // *Химия древесины*, 1993. № 4. С. 55–60.
- [7] Стороженко В.Г. Научные основы устойчивости лесов к дереворазрушающим грибам. М.: Наука, 1992. 221 с.
- [8] Фенгел Д., Вегенер Г. *Древесина (Химия, ультраструктура, реакции)*. М.: Лесная промышленность, 1988. 512 с.
- [9] Шиврина А.Н. Биологически активные вещества высших грибов. М.: Наука, 1965. 202 с.
- [10] Ганбаров Х.Г. Эколого-физиологические особенности дереворазрушающих высших базидальных грибов. Баку: ЭЛИМ, 1989. 197 с.
- [11] Никитина С.А., Хабибрахманова В.Р., Сысоева М.А. Химический состав и биологическая активность три-терпеновых и стероидных соединений чаги // *Биомедицинская химия*, 2016. Т. 62, № 4. С. 369–375.
- [12] Решетникова И.А. Деструкция лигнина ксилотрофными макромицетами. М.: МГУ, 1997. 197 с.
- [13] Бурова Л.Г. Формирование группировок макромицетов в культурах сосны разного возраста // *Лесоведение*, 1973. № 1. С. 38–45.
- [14] Naidu Y., Siddiqui Y., Rafi M.Y., Saud H.M., Idris A.S. Investigating the effect of white-rot hymenomycetes biodegradation on basal stem rot infected oil palm wood blocks: Biochemical and anatomical characterization // *Industrial Crops and Products*, 2017, v. 108, pp. 872–882.
- [15] Кононов Г.Н. *Дендрохимия. Химия, нанохимия и биогенохимия компонентов клеток, тканей и органов древесных растений*. М.: МГУЛ, 2015. Т. 1. 480 с. Т. 2. 632 с.
- [16] State of the art and future directions for mycological research in old-growth forest / Clausen J.H., Adamčík S., Bässler C., Halme P., Krisai-Greilhuber I., Holec J. // *Fungal Ecology*, 2017, v. 27, part b, pp. 141–144.
- [17] Александрова Г.П., Медведева С.А. Биоотбелка сульфатной целлюлозы оксидазными ферментами гриба *Daedaleopsis confragosa* // *Химия растительного сырья*, 1999. № 2. С. 81–84.
- [18] Abdelkader S., Hamed M. In-vitro studies on wood degradation in soil by soft-rot fungi: *Aspergillus niger* and *Penicillium chrysogenum* // *International Biodeterioration & Biodegradation*, 2013, v. 78, pp. 99–102.
- [19] Рипачек В. Биология дереворазрушающих грибов. М.: Лесная промышленность, 1967. 258 с.
- [20] Мерсов Е.Д. Производство древесноволокнистых плит. М.: Высшая школа, 1989. 232 с.
- [21] Исаева Л.Г. *Дереворазрушающие грибы // Рассеянные элементы в бореальных лесах*. М.: Наука, 2004. С. 224–259.
- [22] Richter D.L., Glaeser J.A. Wood decay by *Chlorociboria aeruginascens* (Nyl.) Kanouse (Helotiales, Leotiaceae) and associated basidiomycete fungi // *International Biodeterioration & Biodegradation*, 2015, v. 105, pp. 239–244.
- [23] Культивирование дереворазрушающих грибов рода *Phellinus* на древесине березы / Веревкин А.Н., Кононов Г.Н., Машута Н.П., Сердюкова Ю.В., Воликова А.С. // *Технология и оборудование для переработки древесины: научные труды*. М.: МГУЛ, 2016. Вып. 381. С. 85–88.
- [24] Falcon M.A., Rodríguez A., Carnicero A., Regalado V., Perestelo F., Milstein O., De la Fuente G. Isolation of microorganisms with lignin transformation potential from soil of Tenerife island // *Soil Biology and Biochemistry*, 1995, v. 27 (2), pp. 121–126.
- [25] Совершенствование биологической отбелки сульфатной целлюлозы / Александрова Г.П., Медведева С.А., Бабкин В.А., Соловьев В.А., Малышева О.Н. // *Химия древесины*, 1993. № 4, С. 14–17.
- [26] Kwaśna H., Mazur A., Kuźmiński R., Jaszczak R., Turcki M., Behnke-Borowczyk J., Adamowicz K., Łakomy P. Abundance and diversity of wood-decay fungi in managed and unmanaged stands in a Scots pine forest in western Poland // *Forest Ecology and Management*, 2017, v. 400, pp. 438–446.

Сведения об авторах

Кононов Георгий Николаевич — канд. техн. наук, доцент МГТУ им. Н.Э. Баумана (Мытищинский филиал), чл.-корр. РАЕН, ученый секретарь секции «Химии и химической технологии древесины» РХО им. Д.И. Менделеева, kononov@mgul.ac.ru

Веревкин Алексей Николаевич — канд. техн. наук, доцент МГТУ им. Н.Э. Баумана (Мытищинский филиал), verevkin@mgul.ac.ru

Сердюкова Юлия Владимировна — старший преподаватель МГТУ им. Н.Э. Баумана (Мытищинский филиал), caf-htdip@mgul.ac.ru

Николенко Николай Александрович — студент МГТУ им. Н.Э. Баумана (Мытищинский филиал), caf-htdip@mgul.ac.ru

Поступила в редакцию 24.04.2018.

Принята к публикации 15.08.2018.

WOOD MYCOLYSIS AS A METHOD OF ITS DELIGNIFICATION

G.N. Kononov, A.N. Verevkin, Ju.V. Serdyukova, N.A. Nikolenko

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

verevkin@mgul.ac.ru

Cellulose is part of wood lignincarbohydrate complex including the chemically bound hemicelluloses and a lignine. To obtain cellulose in its pure form, there are different methods of wood delignification. One of the environmentally friendly methods of plant biomass delignification is a lignin mycolysis under the action of enzymatic complexes of wood destroying fungi forming the so-called «white decay». Also, these fungi contain enzymes breaking down hemicellulose and partially cellulose. As a result of biodelignification the wood loses 15–20 % of the mass and also forms a semi-finished product of fibrous structure. In the early stages of wood destruction occurs the enrichment of the cellulose and decrease lignin. The mechanism of a wood mycolysis of under the action of delignification fungi is described. The components composition of mycologically destroyed wood by «white decay» fungi is studied. It is established that the amount of extractives, both hydrophobic and hydrophilic character sharply increases in such wood. It means both the lignin and the carbohydrate parts of wood are subjected to mycolysis. The lignin content decreases more than twice and the content of polysaccharides increased to 80 %. This delignified wood has increased the internal surface of cellulose fibers and can be used as fibrous material for the manufacture of cardboard and paper types sheet materials. The reactivity of the cellulose component of such a semi-finished product is increased due to the loosening of the supramolecular structure and as a consequence increases the availability of reactive groups. Therefore, such a semi-finished product can be used to obtain functional derivatives without prior activation.

Keywords: lignin, cellulose, mycologically destroyed wood, lignincarbohydrate complex, wood-destroying fungi

Suggested citation: Kononov G.N., Verevkin A.N., Serdyukova Ju.V., Nikolenko N.A. *Mikoliz drevesiny, kak metod ee delignifikatsii* [Wood mycolysis as a method of its delignification]. *Lesnoy vestnik / Forestry Bulletin*, 2018, vol. 22, no. 6, pp. 110–115. DOI: 10.18698/2542-1468-2018-6-110-115

References

- [1] Azarov V.I., Kononov G.N., Goryachev N.L. *Izuchenie komponentnogo sostava mikologicheski razrushennoy drevesiny* [Studying of component structure mycologically the destroyed wood]. *Tekhnologiya i oborudovanie dlya pererabotki drevesiny: nauchnye trudy* [Technology and the equipment for wood processing: Collected papers]. Moscow: MGUL, 2012, v. 358, pp. 126–131.
- [2] Kononov G.N. *Himiya drevesiny i ego osnovnykh komponentov* [Chemistry of wood and its main components]. Moscow: MSFU, 2002, 259 p.
- [3] Ozolina N.R., Sergeeva N.V., Abramovich C.L. *Anatomicheskie i himicheskie izmeneniya drevesiny berezy porazhennoy gribami beloy gnili* [The anatomic and chemical changes of wood of a birch struck by white-rot fungi]. *Izvestiya AN Latv. SSR*, 1987, no. 12, pp. 45–52.
- [4] Medvedeva S.A. *Prevrashhenie aromatischeskoy komponenty drevesiny v processe biodelignifikatsii* [The transformation of the aromatic components of the wood biodelignification process]. *Avtoref. dis. ... d. chem. n.* [Abstract of the thesis of the Dr. Sci. (Chemistry)]. Irkutsk. 1995, 40 p.
- [5] Medvedeva S.A., Babkin V.A., Volchatova I.V., Soloviev V.A., Malysheva O.N., Spiridonova L.N., Alexandrova L.G. *Izuchenie ligninaznoy aktivnosti bazidiomiceta Phanerochaete sanguinea* [The study of ligninase activity of basidiomycete Phanerochaete Sanguinea]. *Chemistry of wood*, 1989, no. 6, pp. 75–76.
- [6] Alexandrova G.P., Medvedeva S.A., Babkin V.A., Soloviev V.A., Malysheva O.N. *Issledovanie nekotorykh faktorov, vliyayushih na fermentativnyuyu aktivnost griba Phanerochaete sanguinea*. [A study of some factors affecting the enzymatic activity of the fungus Phanerochaete sanguinea]. *Wood chemistry*, 1993, no. 4, pp. 55–60.
- [7] Storozhenko V.G. *Nauchnye osnovy ustoychivosti lesov k derevorazrushayushhim gribam* [The scientific foundations of forest sustainability to wood-destroying fungi]. M.: Nauka [Science], 1992, 221 p.
- [8] Fengel D., Vegener G. *Drevesina (Kimiya, ul'trastruktura, reaktsii)* [Wood (Chemistry, ultra-structure, reactions)]. M.: *Lesnaya promyshlennost'*, 1988, 512 p.
- [9] Shivrina A. N. *Biologicheski aktivnye veshhestva vysshix gribov* [Biologically active substances of higher fungi]. Moscow: Nauka [Science], 1965, 202 p.
- [10] Ganbarov H. G. *Ekologo-fiziologicheskie osobennosti derevorazrushayushih vysshix bazidalnykh gribov*. [Ekologo-physiological features of higher basically wood-destroying fungi]. Baku: ELM, 1989, 197 p.
- [11] Nikitina S.A., Habibrahmanova V.R., Sysoeva M. A. *Himicheskiy sostav i biologicheskaya aktivnost triterpenovykh i steroidnykh soedineniy chagi* [Chemical composition and biological activity of triterpene and steroid compounds chaga]. *Biomed*, 2016, v. 62 (4), pp. 369–375.
- [12] Reshetnikova I.A. *Destrukciya lignina ksilotrofnymi makromicetami* [Degradation of lignin by xylotrophic macromycetes]. Moscow: Moscow State University, 1997, 197 p.
- [13] Burova L.G. *Formirovanie gruppirovok makromicetov v kulturax sosny raznogo vozrasta* [Formation of macromycetes groups in pine cultures of different ages]. *Lesovedenie* [Forest science], 1973, no. 1, pp. 38–45.
- [14] Naidu Y., Siddiqui Y., Rafii M.Y., Saud H.M., Idris A.S. *Investigating the effect of white-rot hymenomyces biodegradation on basal stem rot infected oil palm wood blocks: Biochemical and anatomical characterization*. *Industrial Crops and Products*, 2017, v. 108, pp. 872–882.

- [15] Kononov G.N. *Dendrohimiya. Himiya, nanohimiya i biogehimiya komponentov kletok, tkaney i organov drevesnyh rasteniy* [Dendrochemistry. Chemistry, nanochemistry and biogeochemistry of cell components, tissues and organs of woody plants]. Moscow: MSFU, 2015, v. 1, 480 p., v. 2, 632 p.
- [16] Clausen J.H., Adamčik S., Bässler C., Halme P., Krisai-Greilhuber I., Holec J. State of the art and future directions for mycological research in old-growth forest. *Fungal Ecology*, 2017, v. 27, part b, pp. 141–144.
- [17] Alexandrova G. P., Medvedeva C.A. *Biootbelka sulfatnoy cellyulozy oksidaznymi fermentami griba Daedaleopsis confragosa* [Bio whitening Kraft pulp by oxidase enzymes of the fungus *Daedaleopsis confragosa*]. *Chemistry of vegetable raw materials*, 1999, no. 2, pp. 81–84.
- [18] Abdelkader S., Hamed M. In-vitro studies on wood degradation in soil by soft-rot fungi: *Aspergillus Niger* and *Penicillium chrysogenum*. *International Biodeterioration & Biodegradation*, 2013, v. 78, pp. 99–102.
- [19] Rypacek V. *Biologiya derevorazrushayushhix gribov* [Biology of wood-destroying fungi]. Moscow: Forest industry, 1967, 258 p.
- [20] Mersov E.D. *Proizvodstvo drevesnovoloknistyx plit* [Production of fiberboard]. Moscow: Higher school, 1989, 232 p.
- [21] Isaeva L.G. *Derevorazrushayushchie griby* [Wood-destroying fungi] *Rasseyannye elementy v boreal'nykh lesakh* [Scattered elements in boreal forests]. Moscow: Nauka, 2004, pp. 224–259.
- [22] Richter D.L., Glaeser J.A. Wood decay by *Chlorociboria aeruginascens* (Nyl.) Kanouse (Helotiales, Leotiaceae) and associated basidiomycete fungi. *International Biodeterioration & Biodegradation*, 2015, v. 105, pp. 239–244.
- [23] Ivankin A. N., Verevkin, A. N., Kulikovskii, A. V., Chernycha I.M., Kristaphovich V.I., Fokine I.I. *Izmenenie sostava letuchix komponentov v processe kultivirovaniya drozhzhey Saccharomyces cerevisiae v prisutstvii aktivatorov* [Changes in the composition of volatile components in the process of culturing yeast *Saccharomyces cerevisiae* in the presence of activators]. *Storage and processing of agricultural products*, 2016, no. 8, pp. 39–44.
- [24] Falcon A. M., Rodríguez A., Carnicero A., Regalado V., Perestelo F., Milstein O., De La Fuente G. Isolation of microorganisms with potential for the transformation of lignin from the soil of the island of Tenerife. *Soil Biology and Biochemistry*, 1995, v. 27 (2), pp. 121–126.
- [25] Alexandrova G. P., Medvedeva S.A., Babkin V.A., Soloviev V.A., Malysheva O.N. *Sovershenstvovanie biologicheskoy otbelki sulfatnoy cellyulozy* [Improving biological bleaching of Kraft pulp]. *Chemical wood*, 1993, no. 4, pp. 14–17.
- [26] Kwasna H., Mazur A., R Kuźmiński R., Jaszczak R., Turski M., Behnke-Borowczyk J., Adamowicz K., Lakomy P. Abundance and diversity of wood-decay fungi in managed and unmanaged stands in a Scots pine forest in western Poland. *Forest Ecology and Management*, 2017, v. 400, pp. 438–446.

Authors' information

Kononov Georgiy Nikolaevich — Cand. Sci. (Tech.), Associated Professor of the BMSTU (Mytishchi branch), corresponding member of the Russian Academy of Natural Sciences, the scientific secretary of section «Chemistry and engineering chemistry of wood» RHO of D.I. Mendeleev, kononov@mgul.ac.ru

Veryovkin Alexey Nikolaevich — Cand. Sci. (Chemical), Associated Professor of the BMSTU (Mytishchi branch), verevkin@mgul.ac.ru

Serdyukova Yuliya Vladimirovna — Associated Professor of the BMSTU (Mytishchi branch), caf-htdip@mgul.ac.ru

Nikolenko Nikolay Aleksandrovich — the student of the BMSTU (Mytishchi branch), caf-htdip@mgul.ac.ru

Received 24.04.2018.

Accepted for publication 15.08.2018.

ОБРАБОТКА И АНАЛИЗ ДАННЫХ ЭЛЕКТРОФИЗИОЛОГИЧЕСКОЙ ИНСТРУМЕНТАЛЬНОЙ ДИАГНОСТИКИ В КАРДИОЛОГИИ НА ОСНОВЕ ВЕЙВЛЕТ-ПРЕОБРАЗОВАНИЯ

О.М. Полещук, Н.Г. Поярков, Н.А. Яшин

МГТУ им. Н.Э. Баумана (Мытищинский филиал), 141005, Московская область, г. Мытищи, ул. 1-я Институтская, д. 1
olga.m.pol@yandex.ru

Рассмотрен метод поиска и выделения желудочковых комплексов, которые регистрируются во время возбуждения желудочков сердца, с помощью вейвлет-преобразования. Разработан алгоритм фильтрации и обнаружения точек зубцов для электрокардиограммы, а также выполнено сравнение полученных результатов обнаружения с классическим алгоритмом выделения желудочковых комплексов. Сравнение результатов показывает, что новый алгоритм имеет хорошую скорость распознавания и меньшее количество ложных позитивных признаний. Структура разработанного в статье алгоритма позволила улучшить процесс фильтрации и повысить точность обнаружения точек зубцов для электрокардиограммы.

Ключевые слова: вейвлет-преобразование, электрокардиограмма, желудочковый комплекс, сравнение, вейвлет Хаара, принцип Штейна, чувствительность, специфичность

Ссылка для цитирования: Полещук О.М., Поярков Н.Г., Яшин Н.А. Обработка и анализ данных электрофизиологической инструментальной диагностики в кардиологии на основе вейвлет-преобразования // Лесной вестник / Forestry Bulletin, 2018. Т. 22. № 6. С. 116–122. DOI: 10.18698/2542-1468-2018-6-116-122

Электрокардиография — методика регистрации и исследования электрических полей, образующихся при работе сердца. Она представляет собой относительно недорогой, но ценный метод электрофизиологической инструментальной диагностики в кардиологии.

Прямым результатом электрокардиографии является получение электрокардиограммы (ЭКГ) — графического представления разности потенциалов, возникающих в результате работы сердца и выведенных на поверхность тела. На ЭКГ отражается усреднение всех векторов потенциалов действия, возникающих в определённый момент работы сердца.

С развитием медицины появилась потребность в автоматической или полуавтоматической обработке ЭКГ, которая привела к появлению новых методов мониторинга. Одним из них является суточное мониторирование ЭКГ. Это метод электрофизиологической инструментальной диагностики, предложенный американским биофизиком Норманом Холтером. Исследование представляет собой непрерывную регистрацию электрокардиограммы в течение 24 ч и более (48 ч, 72 ч, иногда до 7 суток) [1]. Запись ЭКГ осуществляется с помощью специального портативного аппарата — рекордера (регистратора), который пациент носит с собой (на ремне через плечо или на поясе). Запись ведется по 2, 3 или более каналам (до 12 каналов). До сих пор наиболее распространены именно 2- и 3-канальные регистраторы. В ряде случаев имеется возможность при трехканальной записи получить математически восстановленную ЭКГ 12 каналов, что может

быть полезно в диагностике экстрасистол. Однако такая восстановленная ЭКГ и запись 12-канального регистратора могут не совпадать с поверхностной ЭКГ (12 отведений), снятой стандартным методом, поэтому данные любой холтеровской записи (в том числе истинной 12-канальной) не могут заменить снятие обычной ЭКГ.

Цель работы

Рассмотреть и проанализировать данные электрофизиологической инструментальной диагностики, зарегистрированные во время возбуждения желудочков сердца с помощью вейвлет-преобразования.

Материалы и методы

QRS — желудочковый комплекс, который регистрируется во время возбуждения желудочков сердца. Это наибольшее отклонение на ЭКГ. Ширина комплекса QRS указывает на продолжительность внутрижелудочкового возбуждения и в норме составляет 0,06–0,08 (до 0,1) с. Ширина комплекса QRS несколько уменьшается с учащением сердечного ритма и увеличивается с его замедлением [2].

Рассмотрим метод выделения QRS комплексов с помощью вейвлет-преобразования. Важным зубцом графика ЭКГ является R-зубец — это самый высокий пик на графике. Его верхняя часть отмечается буквой R, а нижние — буквами Q и S (рис. 1).

Термин «вейвлет» (*wavelet*) в переводе с английского означает маленькая (короткая) волна. Вейвлеты — это обобщенное название семейств

математических функций определенной формы, которые локальны во времени и по частоте, и в которых все функции получаются из одной базовой (порождающей) посредством ее сдвигов и растяжений по оси времени. Вейвлет-преобразования рассматривают анализируемые временные функции в терминах колебаний, локализованных по времени и частоте. Как правило, вейвлет-преобразования подразделяют на дискретное (DWT) и непрерывное (CWT).

Непрерывным вейвлет-преобразованием функции $f(x) \in L_2(R)$ называют функцию двух переменных [2]:

$$C(a,b) = \langle f(x), \psi(a,b,x) \rangle = \int_{-\infty}^{+\infty} f(x)\psi(a,b,x)dx, a, b \in R, a > 0,$$

где вейвлеты $\psi(a, b, x)$ — масштабированные и сдвинутые копии порождающего вейвлета $\psi(x)$, $\psi(a, b, x) = \psi_{ab}(x)$.

Диадное вейвлет-преобразование — вариант дискретного вейвлет-преобразования, при котором коэффициенты a и b задаются следующими соотношениями [3]:

$$a = 2^j, b = k2^j, j, k \in Z.$$

Базисом пространства $L_2(R)$ (класс функций с суммируемым квадратом) являются функции

$$\Psi_{j,k}(x) = 2^{-j/2}\psi(2^{-j}x - k).$$

Тогда прямое вейвлет-преобразование сводится к вычислению коэффициентов

$$d_{j,k} = 2^{-j/2} \int_{-\infty}^{+\infty} f(x)\psi(2^{-j}x - k)dx,$$

которые будем называть детализирующими.

Для обратного преобразования справедлива формула

$$f(x) = \sum_j \sum_k d_{j,k} 2^{-j/2} \psi(2^{-j}x - k).$$

Алгоритм выделения QRS-комплексов с помощью вейвлет-преобразования

Алгоритм фильтрации выполняется в два этапа:

- 1) фильтрация сигнала;
- 2) выделение особенностей (R -зубцов).

Фильтрацию сигнала можно разделить на три этапа:

- 1) выполнение ДВП (дискретного вейвлет-преобразования) исходного сигнала. В качестве используемого вейвлета выберем вейвлет Добеши четвертого порядка. После преобразования получим набор детализирующих коэффициентов $d_{j,i}$ для j -уровней разложения;

- 2) фильтрация детализирующих коэффициентов на основе алгоритма мягкой фильтрации;

- 3) восстановление сигнала с отфильтрованными коэффициентами.

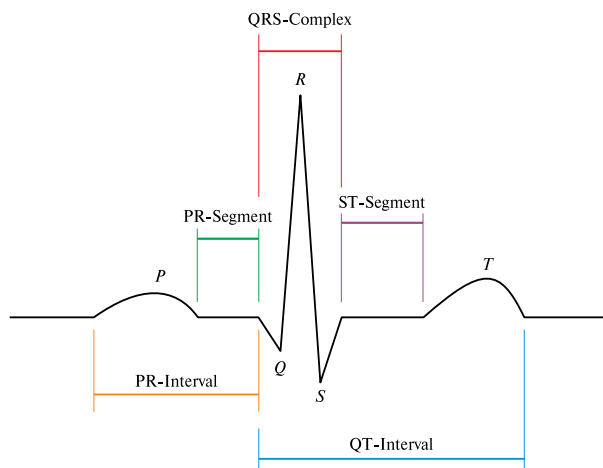


Рис. 1. QRS-комплекс
Fig. 1. QRS-complex

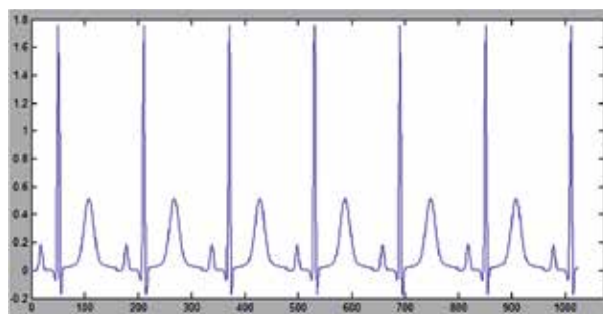


Рис. 2. Исходный сигнал ЭКГ без патологий
Fig. 2. The original ECG signal without pathologies

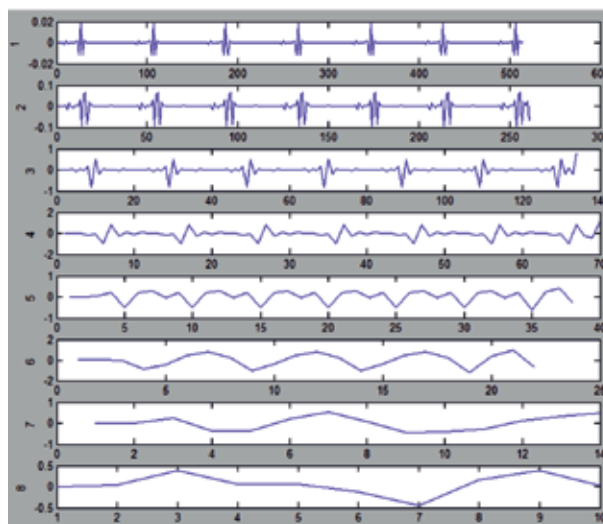


Рис. 3. Детализирующие коэффициенты исходного сигнала
Fig. 3. Detailing coefficients of the original signal

Выделение особенностей в свою очередь состоит из двух этапов:

- 1) выполнение ДВП. В данном случае будем использовать вейвлет Хаара. Здесь вейвлет-преобразование применяется для поиска масштабных изменений, которые будут характеризовать QRS-комплекс;

2) поиск масштабных изменений (пиков) и сбор статистики на основе найденных особенностей (например, расстояние между R -зубцами).

Реализация алгоритма проведена в среде Matlab.

Для демонстрации работы алгоритма возьмем небольшую часть ЭКГ без патологий (рис. 2).

Среда разработки обладает библиотекой функций для выполнения прямых и обратных вейвлет-преобразований. Полученные наборы коэффициентов можно увидеть на рис. 3.

Одним из способов избавления от посторонней информации в сигнале, например, шума является удаление коэффициентов. Для этого будем использовать алгоритм мягкой пороговой фильтрации [4]

$$d'_{j,i} = \begin{cases} d_{j,i} - \lambda; & d_{j,i} > \lambda; \\ 0; & |d_{j,i}| < \lambda; \\ d_{j,i} + \lambda; & d_{j,i} < -\lambda. \end{cases}$$

Выбор параметра λ — это фундаментальная задача, так как отфильтрованный сигнал f' должен оставаться близким к f .

Найдем ошибку между исходным и отфильтрованным сигналом

$$R(f', f) = \|f' - f\|_2^2.$$

Величина $R(f', f)$ пропорциональна

$$\sum_j \sum_k (d'_{j,k} - d_{j,k})^2 \quad [4].$$

Для выбора порога воспользуемся принципом Штейна (*Stein principle*) [3].

Несмещенная оценка риска Штейна [3] (*Stein's unbiased risk estimate, SURE*) — это несмещенная оценка среднеквадратичной ошибки произвольной нелинейной смещенной оценки. Реальная среднеквадратичная ошибка оценки является функцией неизвестного параметра и не может быть вычислена точно.

Пусть $\mu \in R^d$ — неизвестный параметр и пусть $x \in R^d$ — вектор измерений с независимыми нормально распределенными компонентами со средним μ и дисперсией σ^2 . Представим, что $h(x)$ — оценка μ , которая может быть записана как $h(x) = x + g(x)$, где $g(x)$ — дифференцируемая функция. Тогда несмещенная оценка риска

$$SURE(h) = d\sigma^2 + \|g(x)\|^2 + 2\sigma^2 \sum_{i=1}^d \frac{\partial}{\partial x_i} g(x)_i.$$

Применим оценку риска Штейна к данной задаче [4], считая

$$\sum_{k=1}^n I|d_k| < (\lambda_j)$$

— количество обнуленных коэффициентов для заданного значения λ_j . Оптимальным значением λ_j для каждого уровня является то, при котором достигается минимум оценки *SURE*:

$$\lambda_j^{SURE} = \arg \min SURE(\lambda_j, d).$$

Применим описанный выше алгоритм фильтрации к рассматриваемому сигналу. График отфильтрованных детализирующих коэффициентов показан на рис. 4.

Как можно заметить, на некоторых уровнях значимых коэффициентов не осталось.

Обратной операцией к вейвлет-преобразованию является вейвлет-реконструкция, при которой по заданному набору детализирующих коэффициентов необходимо вычислить аппроксимирующие коэффициенты $a_{j_0,k}$. Для этого используется рекуррентная формула [3]

$$a_{j,n} = \sum_k h_{n-2k} a_{j+1,k} + \sum_k g_{n-2k} d_{j+1,k}.$$

Воспользуемся формулой для восстановления сигнала из набора отфильтрованных коэффициентов. Полученный сигнал показан на рис. 5.

После фильтрации у сигнала R -зубцы выделены намного сильнее, в то время как остальные детали сигнала, такие как P - и T -волны (см. рис. 1),

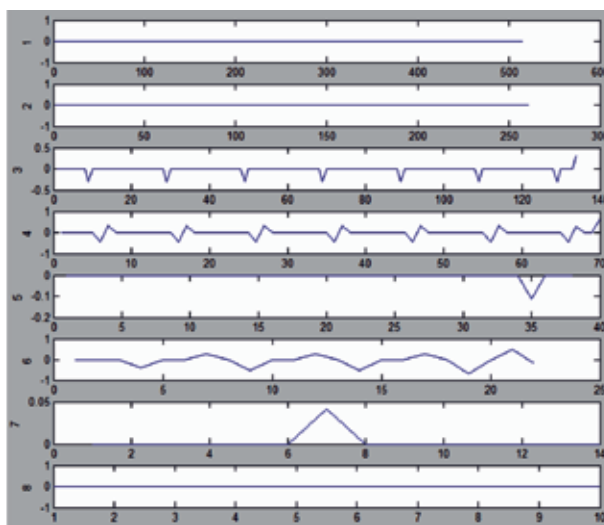


Рис. 4. Детализирующие коэффициенты после фильтрации
Fig. 4. Detailing factors after filtering

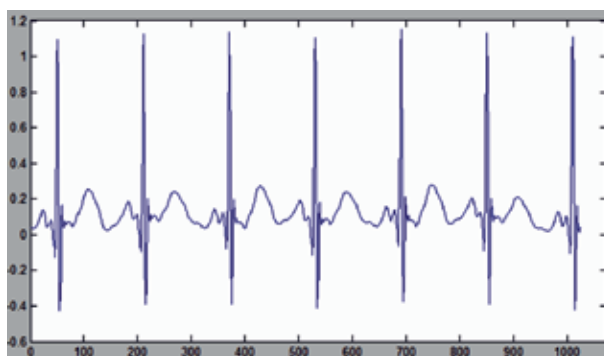


Рис. 5. Сигнал после фильтрации
Fig. 5. Signal after filtering

менее заметны. Это упростит задачу выделения R -зубцов, но, так как общая форма сигнала была сохранена, то выделение P - и T -волн также возможно. На этом процесс фильтрации сигнала закончен и можно перейти к следующей стадии алгоритма — выделению особенностей сигнала.

В данном случае под особенностями имеются в виду в первую очередь R -зубцы. Это одна из самых важных точек, наиболее простых для вычисления. Для определения многих сердечных патологий достаточно найти расположение R -зубцов и расстояние между ними. Так как основная задача алгоритма — анализ больших объемов данных, то важна высокая скорость обработки данных.

Будем использовать вейвлет Хаара для выполнения вейвлет-преобразования и нахождения детализирующих коэффициентов.

После нахождения коэффициентов алгоритм поиска состоит из следующих шагов [4].

1. Для каждого уровня разложения находим максимальное значение детализирующего коэффициента: $d_j^{\max} = \max(d_{j,i})$.

2. Для каждого уровня выбираем коэффициенты, удовлетворяющие следующему соотношению: $|d_{j,i}| > \alpha_1 d_j^{\max}$, где $\alpha_1 = 0,5$.

В данном алгоритме коэффициент α_1 является константой, что приводит к пропуску пиков при различных патологиях (например, наличие аномально высоких пиков (выделено зеленым) или низких (выделено красным)). Для повышения качества обнаружения было выполнено несколько проходов алгоритма с различными значениями данного параметра с целью найти наилучшее значение.

В табл. 1 приведены полученные результаты.

Для тестирования было выбрано 5 сигналов по 20 QRS-комплексов каждый, затем были найдены средние TP — число истинных положительных обнаружений, FN — число ложных отрицаний, FP — число ложных обнаружений, а также значения чувствительности и специфичности [5] для каждого значения параметра. Оптимальным значением было выбрано значение 0,45, так как при нем достигается наилучший показатель специфичности, а показатель чувствительности незначительно хуже наилучшего. В последствии для всех вычислений будет использоваться значение $\alpha_1 = 0,45$

3. Определяем коэффициенты, принадлежащие различным QRS комплексам. Пусть $d_{j,i}$ и $d_{j,r}$ — последовательные выбранные на предыдущем шаге коэффициенты; $\alpha_2 = 0,1$ сек. — стандартное время QRS-комплекса;

$$\Delta t = \frac{1}{f} = 0,005 \text{ с} \text{ — интервал снятия данных устройства.}$$

Т а б л и ц а 1

Полученные результаты Results

α	TP	FN	FP	Чувствительность, %	Специфичность, %
0,40	18	1,6	6,6	92	73,6
0,41	18	1,6	5,3	92	77,6
0,42	18	1,6	4,7	92	79,7
0,43	18	1,9	3,5	90,5	83,8
0,44	18	2,2	2,1	89	89,5
0,45	17	2,6	0,5	87	97,2
0,46	16	4,5	0,5	77,5	96,9
0,47	12	7,6	0,5	62	96,1
0,48	11	8,7	0,5	56,5	95,8
0,49	9	12	0,5	42,5	94,4
0,5	7	13	0,5	36	93,5

Тогда если $t = 2^j \Delta t |i - j| < \alpha_2$, то коэффициенты принадлежат одному и тому же комплексу, в противном случае — разным.

4. Собираем информацию по всем уровням воедино, получая набор точек.

Здесь важно помнить, что количество коэффициентов с каждым уровнем уменьшается в 2 раза, поэтому чтобы найти значение на исходном сигнале нужно умножить текущее значение на 2^j , при этом возникает погрешность в 2^{j-1} элементов. Чтобы минимизировать эту погрешность, будем придерживаться следующего правила: если коэффициент найден на нескольких уровнях, то более точным считаем коэффициент с наименьшим уровнем.

Применяем данный алгоритм к отфильтрованному сигналу, отображаем найденные точки на исходном сигнале. На этом описание алгоритма завершено. Рассмотрим его характеристики по сравнению с одним из самых популярных алгоритмов Пана — Томпкинса.

Сравнение алгоритмов выделения QRS-комплексов

Алгоритм Пана–Томпкинса [1] был предложен в конце 1990-х гг. Паном и Томпкинсом. В основе метода лежит анализ наклона, амплитуды и ширины QRS-комплекса. Этот алгоритм состоит из следующей последовательности фильтров: фильтр низких частот; фильтр высоких частот; оператор производной; возведение в квадрат; интегрирование; адаптивная пороговая фильтрация.

Сравним два представленных выше алгоритма на трех типах данных:

- 1) ЭКГ, синтезированные на компьютере;
- 2) реальные ЭКГ, снятые в спокойном состоянии;
- 3) реальные ЭКГ, записи с натальных мониторов.

Т а б л и ц а 2

Полученные результаты
Results

Параметры	I. Идеальный вариант		II. Добавление белого шума		III. Линейный тренд		IV. Нелинейный тренд		V. Нелинейный тренд	
	В	П-Т	В	П-Т	В	П-Т	В	П-Т	В	П-Т
<i>TP</i>	20	20	20	20	20	19	16	17	14	9
<i>FN</i>	0	0	0	0	0	1	4	3	6	11
<i>FP</i>	0	0	0	0	0	1	2	1	3	11
Чувствительность, %	100	100	100	100	100	95	80	85	70	45
Специфичность, %	100	100	100	100	100	95	88,89	94,44	82,35	45

Т а б л и ц а 3

Выявленные патологии
Pathologies identified

Параметры	I. ЭКГ без патологий		II. ЭКГ без патологий		III. Тахикардия		IV. Брадикардия		V. Нерегулярный ритм	
	В	П-Т	В	П-Т	В	П-Т	В	П-Т	В	П-Т
<i>TP</i>	20	20	20	20	18	19	20	19	14	15
<i>FN</i>	0	0	0	0	0	1	0	1	6	5
<i>FP</i>	0	0	0	0	3	1	1	3	5	4
Чувствительность, %	100	100	100	100	100	95	100	95	70	75
Специфичность, %	100	100	100	100	85,7	95	95,2	86,4	73,7	79

Для всех типов данных будем использовать размеченные ЭКГ, качество работы будут характеризовать два значения — чувствительность и специфичность.

Чувствительность и специфичность [5, 6] вычисляются по следующим формулам:

$$\frac{TP}{TP + FN}, \frac{TP}{TP + FP},$$

где *TP* — число истинных положительных обнаружений; *FN* — число ложных отрицаний; *FP* — число ложных обнаружений.

Для каждого типа данных возьмем 5 источников по 20 QRS комплексов каждый. Для первого типа данных сгенерируем основные виды помех: идеальный вариант — ЭКГ без шума и трендов (использовалась в демонстрации алгоритма вейвлет-преобразования выше); добавление белого шума; добавление линейного тренда; добавление нелинейного тренда (синусоида); добавление нелинейного тренда (сумма синусов).

Результаты и обсуждение

Полученные результаты представлены в табл. 2.

Рассмотрим различные ЭКГ, снятые с помощью электрокардиографа. У источников были выявлены следующие патологии, представленные в табл. 3: I, II — без патологий, III — тахикардия (ускоренный ритм), IV — брадикардия (замедленный ритм), V — нерегулярный ритм.

Сравнение результатов показывает, что разработанный в статье алгоритм справляется поставленной задачей в среднем лучше, чем традиционный алгоритм. При этом алгоритм распознавания может быть усовершенствован для повышения качества работы в сложных случаях, таких как нелинейные тренды [7–15] и различные виды аритмии.

Выводы

В статье предложен подход к обработке и анализу данных электрофизиологической инструментальной диагностики в кардиологии на основе вейвлет-преобразования. Разработан алгоритм, работа которого показана на реальных данных. Проведен сравнительный анализ полученных результатов с результатами работы широко используемого алгоритма Пана–Томпкинса. Анализ показал, что приведенный в статье алгоритм показывает лучшие результаты, чем алгоритм Пана–Томпкинса. При этом разработанный алгоритм имеет преимущество, поскольку позволяет анализировать не только QRS комплекс, но и другие части электрокардиограммы, например, такие, как *P*- и *T*-волны. Ранее основной проблемой сложных алгоритмов анализа QRS (в том числе алгоритма, описанного в статье) была высокая сложность вычислений. В настоящее время эта проблема не актуальна, поскольку вычислительные мощности позволяют выполнять анализ в реальном времени. Таким образом, разработанный

ный в статье подход к обработке и анализу данных электрофизиологической инструментальной диагностики может с успехом применяться на практике в кардиологии.

Список литературы

- [1] Уваров А.А., Малый М.В., Фролов М.Д. Алгоритмы обнаружения QRS-комплекса на электрокардиограмме // Сб. тр. XVIII международной научно-практической конференции «Современные техника и технологии» Томск, 9–13 апреля 2012 г., Национальный исследовательский Томский политехнический университет (ТПУ). Томск: Томский политехнический университет, 2012. Т. 2. С. 89–90.
- [2] Boggess A., Narcowich F.J. A First Course in Wavelets with Fourier Analysis. London: Wiley, 2009, 336 p.
- [3] Воскобойников Ю.Е., Гочаков А.В., Колкер А.Б. Фильтрация сигналов и изображений: фурье и вейвлет алгоритмы (с примерами в Mathcad). Новосибирск: НГАСУ, 2010. 188 с.
- [4] Adaptive ECG filtering and QRS detection using orthogonal wavelet transform / A.J. Kozakevicius, C. Ramos, R. Ceretta, R. Guerra // Biomedical Engineering, 2005, no. 7, pp. 237–243.
- [5] Poleshchuk O., Komarov E., Darwish A. Assessment of the state of plant species in urban environment based on fuzzy information of the expert group // XX IEEE International Conference on Soft Computing and Measurements (SCM), 2017, pp. 651–654. DOI: 10.1109/SCM.2017.7970678
- [6] Vidakovic B. Statistics for Bioengineering Sciences. New York: Springer New York, 2011, 753 p.
- [7] Домрачев В.Г., Комаров Е.Г., Полещук О.М. Мониторинг функционирования объектов на основе нечеткого описания их состояний // Информационные технологии, 2007. № 11. С. 46–53.
- [8] Зудбинов Ю.И. Азбука ЭКГ. Ростов-на-Дону: Феникс, 2003. 160 с.
- [9] Алтунин А.Е., Семухин М.В. Модели и алгоритмы принятия решений в нечетких условиях: монография. Тюмень: Тюменский гос. ун-т, 2002. 268 с.
- [10] Ryjov A. Fuzzy Linguistic Scales: Definition, Properties and Applications. In: Reznik L., Kreinovich V. (eds) Soft Computing in Measurement and Information Acquisition // Studies in Fuzziness and Soft Computing, 2003, v. 127, pp. 55–57.
- [11] Полещук О.М., Комаров Е.Г. Методы и модели обработки нечеткой экспертной информации. М.: Энергоатомиздат, 2007. 288 с.
- [12] Poleshchuk O., Komarov E., Darwish A. The monitoring of enterprise bankruptcy risk on the basis of complete orthogonal semantic spaces // XX IEEE International Conference on Soft Computing and Measurements (SCM), 2017, pp. 837–839. DOI: 10.1109/SCM.2017.7970739
- [13] Darwish A., Poleshchuk O. New models for monitoring and clustering of the state of plant species based on semantic spaces // J. of Intelligent and Fuzzy Systems, 2014, v. 26, no. 3, pp. 1089–1094. DOI: 10.3233/IFS-120702
- [14] Экспертные системы. Принципы работы и примеры / под ред. Р. Форсайта. М.: Радио и связь, 1987. 224 с.
- [15] Poleshchuk O.M., Komarov E.G., Darwish A. Comparative analysis of expert criteria on the basis of complete orthogonal semantic spaces // Proceedings of the 19-th International Conference on Soft Computing and measurements (SCM), 2016. Pp. 369–373. DOI: 10.1109/SCM.2016.7519784

Сведения об авторах

Полещук Ольга Митрофановна — д-р техн. наук, профессор МГТУ им. Н.Э. Баумана (Мытищинский филиал), olga.m.pol@yandex.ru

Поляков Николай Геннадьевич — канд. техн. наук, декан Космического факультета МГТУ им. Н.Э. Баумана (Мытищинский филиал), polyakov@mgul.ac.ru

Яшин Николай Александрович — аспирант МГТУ им. Н.Э. Баумана (Мытищинский филиал), nyashin92@gmail.com

Поступила в редакцию 04.05.2018.

Принята к публикации 25.09.2018.

USAGE OF WAVELET TRANSFORM FOR ECG DATA PROCESSING AND ANALYSIS IN INSTRUMENTAL CARDIOLOGY

O.M. Poleshchuk, N.G. Poyarkov, N.A. Yashin

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

olga.m.pol@yandex.ru

This paper presents a new way to detect of searching and isolating ventricular complexes, which are recorded during the excitation of the heart ventricles using a wavelet transform. The algorithm of filtration and detection of tooth points for an electrocardiogram is presented, and the obtained detection results are compared with the classical algorithm for isolating ventricular complexes. Comparison of results shows that new algorithm has good recognition rate and has lesser amount of false positive recognitions. Furthermore, due to algorithm structure both filtering and detection parts can be improved to increase detection accuracy.

Keywords: Wavelet-transform, electrocardiogram, ventricular complex, comparison, Haar-wavelet, Steins principle, sensitivity, specificity

Suggested citation: Poleshchuk O.M., Poyarkov N.G., Yashin N.A. *Obrabotka i analiz dannykh elektrofiziologicheskoy instrumental'noy diagnostiki v kardiologii na osnove veyvlet-preobrazovaniya* [Usage of wavelet transform for ecg data processing and analysis in instrumental cardiology]. *Lesnoy vestnik / Forestry Bulletin*, 2018, vol. 22, no. 6, pp. 116–122. DOI: 10.18698/2542-1468-2018-6-116-122

References

- [1] Uvarov A.A., Malyy M.V., Frolov M.D. *Algoritmy obnaruzheniya QRS-kompleksa na elektrokardiogramme* [Algorithms for detecting a QRS complex on an electrocardiogram]. Tr. XVIII international scientific-practical conference «Modern technology and technology» Tomsk, April 9–13, 2012, National Research Tomsk Polytechnic University (TPU). Tomsk: Tomsk Polytechnic University, 2012, t. 2, pp. 89–90.
- [2] Boggess A., Narcowich F.J. *A First Course in Wavelets with Fourier Analysis*. London: Wiley, 2009, 336 p.
- [3] Voskoboinikov Yu.E., Gochakov A.V., Kolker A.B. *Fil'tratsii signalov i izobrazheniy: fur'e i veyvlet algoritmy (s primerami v Mathcad)* [Filtering signals and images: Fourier and wavelet algorithms (with examples in Mathcad)]. Novosibirsk: NGASU, 2010, 188 p.
- [4] Kozakevicius A.J., Ramos C., Ceretta R., Guerra R. [Adaptive ECG filtering and QRS detection using orthogonal wavelet transform]. *Biomedical Engineering*, 2005, no. 7, pp. 237–243.
- [5] Poleshchuk O., Komarov E., Darwish A. The expert group on the environment of the expert group. XX IEEE International Conference on Soft Computing and Measurements (SCM), 2017, pp. 651–654. DOI: 10.1109 / SCM.2017.7970678.
- [6] Vidakovic B. *Statistics for Bioengineering Sciences*. New York: Springer New York, 2011, 753 p.
- [7] Domrachev V.G., Komarov E.G., Poleshchuk O.M. *Monitoring funkcionirovaniya ob'ektov na osnove nechetkogo opisaniya ikh sostoyaniy* [Monitoring the functioning of objects based on a fuzzy description of their states]. *Information Technologies*, 2007, no. 11, pp. 46–53.
- [8] Zudbinov Yu.I. *Azbuka EKG* [Alphabet ECG]. Rostov-on-Don: Phoenix, 2003, 160 c.
- [9] Altunin A., Semuhin M. *Modeli i algoritmy prinyatiya resheniy v nechetkikh usloviyakh* [Models and algorithms of decision-making in fuzzy conditions]. Tumen: Tumen State University, 2002, 268 p.
- [10] Ryjov A. Fuzzy Linguistic Scales: Definition, Properties and Applications. In: Reznik L., Kreinovich V. (eds) *Soft Computing in Measurement and Information Acquisition. Studies in Fuzziness and Soft Computing*, 2003, vol 127, pp. 55–57.
- [11] Poleshchuk O.M., Komarov E.G. *Metody i modeli obrabotki nechetkoy ekspertnoy informatsii* [Methods and models for processing fuzzy expert information]. Moscow: Energoatomizdat, 2007. 288 p.
- [12] Poleshchuk O., Komarov E., Darwish A. The monitoring of enterprise bankruptcy risk on the basis of complete orthogonal semantic spaces. XX IEEE International Conference on Soft Computing and Measurements (SCM), 2017, pp. 837–839. DOI: 10.1109/SCM.2017.7970739.
- [13] Darwish A., Poleshchuk O. New models for monitoring and clustering of the state of plant species based on semantic spaces. *J. of Intelligent and Fuzzy Systems*, 2014, v. 26, no. 3, pp. 1089–1094. DOI: 10.3233/IFS-120702.
- [14] *Ekspertnye sistemy. Printsipy raboty i primery* [Expert systems. Principles and examples]. Ed. R. Forsayt. Moscow: Radio i svyaz, 1987. 224 p.
- [15] Poleshchuk O.M., Komarov E.G., Darwish A. Comparative analysis of expert criteria on the basis of complete orthogonal semantic spaces. Proceedings of the 19-th International Conference on Soft Computing and measurements (SCM), 2016. pp. 369–373. DOI: 10.1109/SCM.2016.7519784.

Authors' information

Poleshchuk Olga Mitrofanovna — D-r Sci. (Tech.), Professor, Head of Higher Mathematics and Physics Department of BMSTU (Mytishchi branch), olga.m.pol@yandex.ru

Poyarkov Nikolay Gennad'evich — Cand. Sci. (Tech.), Head of Space Department of BMSTU (Mytishchi branch), poyarkov@mgul.ac.ru

Yashin Nikolay Aleksandrovich — Postgraduate of BMSTU (Mytishchi branch), nyashin92@gmail.com

Received 04.05.2018.

Accepted for publication 25.09.2018.

ИССЛЕДОВАНИЕ ПРИГОДНОСТИ ППП NUMECA ДЛЯ ЧИСЛЕННОГО РЕШЕНИЯ ЗАДАЧ ВНЕШНЕГО ОБТЕКАНИЯ

**В.И. Мышенков, А.А. Малашин, Г.Д. Галахов,
А.Д. Орехов, А.С. Пименов, К.Н. Пронин**

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

malashin_a@mail.ru

Проведено численное исследование поперечного обтекания круглого цилиндра дозвуковым потоком вязкого несжимаемого газа (воздуха) в рамках уравнений Навье — Стокса посредством пакета прикладных программ NUMECA при различных числах Рейнольдса Re_∞ . Данное исследование выполнялось с целью определения области применимости NUMECA для решения практических задач газодинамики. Поэтому расчеты задачи обтекания цилиндра потоком воздуха проводились при определяющих газодинамических параметрах, например, числах Re_∞ , равных определяющим параметрам классических экспериментов различных авторов, приведенных в монографии Шлихтинга. Результаты расчетов сравниваются с имеющимися экспериментальными данными по вихревой дорожке Кармана, по лобовому сопротивлению цилиндра, числам Струхала срыва вихрей за цилиндром. Проведенное сравнение результатов расчетов поперечного обтекания круглого цилиндра несжимаемой жидкостью с соответствующими экспериментальными данными показало хорошее их согласие в широком диапазоне чисел Рейнольдса и, следовательно, используемый в расчетах пакет прикладных программ NUMECA успешно можно применять для решения соответствующих задач.

Ключевые слова: обтекание, набегающий поток, давление, число Рейнольдса, дорожка Кармана, число Струхала, коэффициент сопротивления

Ссылка для цитирования: Мышенков В.И., Малашин А.А., Галахов Г.Д., Орехов А.Д., Пименов А.С., Пронин К.Н. Исследование пригодности ППП «NUMECA» для численного решения задач внешнего обтекания // Лесной вестник / Forestry Bulletin, 2018. Т. 22. № 6. С. 123–131. DOI: 10.18698/2542-1468-2018-6-123-131

К настоящему времени разработано множество пакетов прикладных программ (ППП) для решения различных научных и инженерно-технических задач в области вычислительной гидродинамики (CFD): NUMECA, ANSYS, COMSOL и другие, которые широко используются для решения практических и научных задач разной степени сложности. К сожалению, в описаниях этих ППП не указываются используемые конкретные разностные алгоритмы аппроксимации решаемых дифференциальных уравнений, а потому трудно определить достоверность получаемых решений без сопоставления их с соответствующими экспериментальными данными. Однако из-за сложности большинства рассматриваемых задач такие экспериментальные данные практически отсутствуют, поэтому достоверность получаемых решений приходится устанавливать какими-либо косвенными способами. Например, путем решения с помощью ППП задач, хорошо и подробно исследованных экспериментальными методами. И таким образом определять диапазоны применимости конкретного ППП.

В настоящей работе используется именно такой подход исследования обоснованности применения ППП NUMECA FINE/Open для решения задач течения вязкой несжимаемой жидкости (газа) при небольших числах Рейнольдса. С этой целью с помощью ППП NUMECA FINE/Open вы-

числяется задача поперечного обтекания круглого цилиндра несжимаемой жидкостью при малых числах Рейнольдса Re_∞ ($Re_\infty = \rho_\infty v_\infty d / \mu_\infty$, где ρ_∞ , v_∞ , μ_∞ — плотность, скорость, вязкость газа набегающего потока соответственно; d — диаметр обтекаемого цилиндра), для которой имеются обширные и подробные экспериментальные данные, приведенные в книге Шлихтинга [1] с соответствующими ссылками на первоисточники.

Подробные исследования поперечного обтекания кругового цилиндра маслом при малых числах Re_∞ провел Хоманн (Homann) [2]. Результаты экспериментов представлены в виде фотографий следа за цилиндром. При малых числах Re_∞ течение в следе является ламинарным, а с увеличением числа Re_∞ в следе возникает структура с правильно расположенными вихрями, которую называют обычно вихревой дорожкой Кармана. При больших числах Re_∞ течение в следе становится нерегулярным и турбулизируется.

Зависимость коэффициента сопротивления круглых цилиндров от числа Re_∞ подробно исследовал Вейсельсбергер (Wieselsberger) в работе [3] на цилиндрах разного диаметра. Он получил зависимость коэффициента сопротивления цилиндра $C_w = f(Re_\infty)$ в диапазоне чисел Re_∞ от 4 до $6 \cdot 10^5$.

Обтекание кругового цилиндра при докритическом и сверхкритическом числах Re_∞ исследовано в работе Флашбарта (Flachsbart) [4, 5].

Были получены соответствующие распределения давления по его поверхности, вызывающие резкое изменение коэффициента сопротивления цилиндра при изменении числа Re_∞ .

В работах [6–9] Карман (Karman) и Науманн (Naumann) подробно исследовали механизм образования сопротивления тела при его движении в воздухе.

Развитие турбулентного следа за цилиндром и вихревой дорожки Кармана исследовал Рошко (Roshko) [1, 10, 11]. Он получил экспериментальную зависимость числа Струхала (St) отрыва вихрей от числа Re_∞ (здесь $St = nd/v_\infty$, где n — частота отрыва вихрей за единицу времени; d — диаметр цилиндра; v_∞ — скорость набегающего потока).

В изданиях [12, 13] исследовалась динамика вихревой дорожки Кармана. А в публикации [14] проведены измерения частоты отрыва вихрей при обтекании цилиндра в зависимости от числа Рейнольдса.

Подробно и глубоко исследовалась теория вихревых дорожек Кармана в трудах [11, 15–23].

Цель работы

Цель настоящей статьи — получение решения задачи поперечного обтекания цилиндра вязкой несжимаемой жидкостью с образованием вихревой дорожки Кармана при небольших числах Re_∞ , определение зависимости частоты срыва вихрей (числа Струхала) от числа Рейнольдса, а также зависимости коэффициента сопротивления цилиндра C_w от числа Re_∞ , и сравнение их с имеющимися экспериментальными данными работ [2–16, 24, 25], приведенными в [1].

Постановка задачи

Рассматриваемая задача решается в плоскости сечения перпендикулярной оси цилиндра в прямоугольной области $ABCD$ (рис. 1), границы которой располагаются на достаточном расстоянии от поверхности цилиндра, чтобы возмущения, возникающие при обтекании цилиндра, не доходя

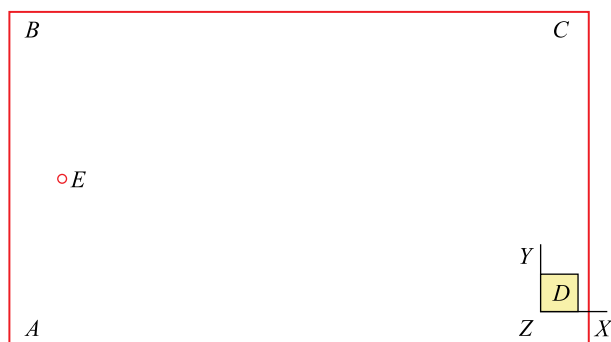


Рис. 1. Геометрия расчетной области
Fig. 1. The geometry of the model cutoff, the computational domain

до них затухали. Правая граница расчетной области удалена от поверхности цилиндра настолько, чтобы на полученной картине течения с вихревой дорожкой Кармана можно было явно наблюдать отрывы вихрей, их движение за телом, определять характер вихревой дорожки и устанавливать различные закономерности.

Размеры расчетной области и обтекаемого тела принимались равными: диаметр цилиндра $d = 0,002$ м, центр цилиндра находится в точке E (высота $0,038$ м, ширина $0,012$ м), при отсчете от нижней левой точки расчетного домена, длина расчетной области (расчетного домена) принималась равной $l = 0,132$ м, высота расчетного домена $h = 0,076$ м.

Параметры набегающего потока воздуха

Температура набегающего потока принималась равной $T_\infty = 293$ К, скорость набегающего невозмущенного потока $v_\infty = 100$ м/с, число Маха $M_\infty = 0,292$ (что соответствует, согласно классификации [1], течению несжимаемой жидкости, так как $M_\infty \leq 0,3$), динамическая вязкость $\mu_\infty = 1,71 \cdot 10^{-5}$ кг/м·с, плотность ρ_∞ определяется из формулы расчета числа Рейнольдса $Re_\infty = \rho_\infty v_\infty d / \mu_\infty$, а давление — из уравнения Менделеева — Клапейрона:

$$P = \frac{\rho}{M_r} RT,$$

где M_r — молярная масса воздуха, показатель адиабаты $\gamma = c_p/c_v = 1,4$ (c_p, c_v — теплоемкости газа при постоянном давлении и объеме соответственно).

Параметры разностной сетки задачи

С помощью пакета NUMECA HEXPRESS была получена структурированная сетка (рис. 2), пригодная для проведения численного расчета. Область решения покрывалась сеткой в соответствии

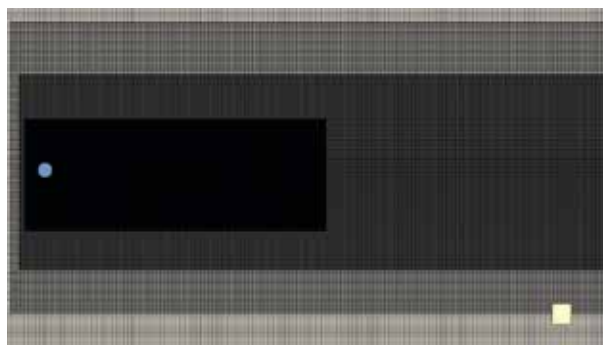


Рис. 2. Расчетная сетка
Fig. 2. Estimated task grid

Таблица значений давления и плотности для расчетных чисел Рейнольдса

Table of pressure and density values for the calculated Reynolds numbers

Re	ρ , кг / м ³	P , Па
32	0,002736	229,836899
45	0,0038475	323,208139
55	0,0047025	395,032170
65	0,0055575	466,856201
71	0,0060705	509,950619
102	0,008721	732,605115
165	0,0137655	1156,36690
225	0,0192375	1616,04069
281	0,0240255	2018,25527

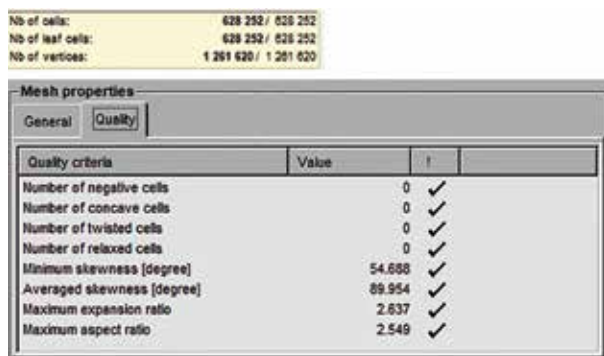


Рис. 3. Количество ячеек сетки и результаты анализа качества

Fig. 3. Number of cells in computational domain and results of quality analysis

с технологией NUMECA HEXPRESS Mesh Wizard, включающей шаги инициализации, адаптацию к геометрии, привязку ячеек, оптимизацию и выдавливание пограничного слоя. Также выполнено три уровня сгущения сетки с разрежением при отдалении от поверхности цилиндра к границам области решения. Сгущение находится в области образования пограничного слоя и в области течения с вихревой дорожкой.

Общее количество ячеек сетки равно 628 252 единицам (рис. 3). Анализ сетки показал отсутствие дефектных ячеек, содержащих отрицательную геометрию, погнутых или скрученных ячеек, или не привязанных к геометрии, т. е. показал пригодность созданной сетки к проведению расчетов.

Пограничный слой вблизи обтекаемого цилиндра создавался под $Re_{\infty} = 281$ и его структура использовалась в расчетах течений для остальных рассматриваемых чисел Рейнольдса. Коэффициент пристеночной функции Y^+ принимался равным 1,2 (коэффициент расширения пограничного слоя). Толщина первого слоя $7,9 \cdot 10^{-5}$ м, количество слоев — 5.

По результатам качественной оценки сетки (см. рис. 3) встроенным инструментом NUMECA HEXPRESS минимальная скошенность ячейки равна $54,688^{\circ}$. Если скошенность ячейки стремится к 90° , это означает, что она представляет собой правильный гексаэдр. Средняя по домену скошенность — $89,954^{\circ}$. Максимальный коэффициент растяжения ячеек от обтекаемого тела к границам домена — 2,637. Таким образом, рост ячеек от пограничного слоя и далее сбалансирован. Максимальное соотношение сторон для ячейки равно 2,549, эту цифру дает отношение длины ячейки первого слоя в пограничном слое к ее ширине.

Граничные условия в расчетной области задавались следующим образом: в терминологии NUMECA на левой границе домена — Inlet, на остальных — Outlet, на поверхности цилиндра — Solid Wall.

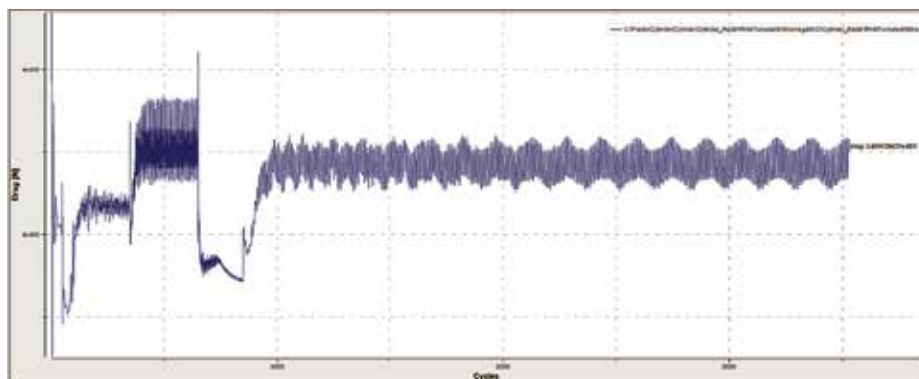
Указанные граничные условия соответствуют следующим физическим условиям: на входной границе AB и передней части граней BC и AD определялись параметры течения, равные параметрам набегающего потока, то есть задавался вектор $F = (\rho, u, v, T)^T$, где ρ — плотность, u, v — продольная и поперечная компоненты скорости, T — температура газа. А на остальной (большей) части граней BC и AD задавались условия мягкого сопряжения течения $\partial F / \partial y = 0$. На грани CD — условия мягкого сопряжения решения $\partial F / \partial x = 0$. На поверхности цилиндра — условия прилипания потока, т. е. равенство нулю вектора скорости и условие теплоизоляции стенки (поверхности цилиндра).

В качестве рабочей среды рассматривался воздух, который в обычных условиях принято считать газом, т. е. сжимаемой средой. Однако, как это установлено в газовой динамике [1], при числах Маха потока $M_{\infty} \leq 0,3$ его следует рассматривать как несжимаемую среду, пренебрегая возникающими малыми изменениями плотности под воздействием изменяющегося поля давления. Поэтому данная задача рассматривается как задача обтекания цилиндра несжимаемой жидкостью.

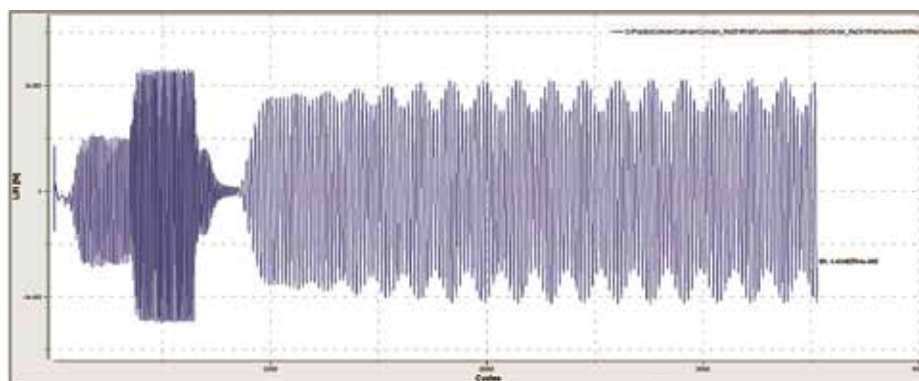
Задача решалась методом установления до получения поля потока с некоторой сформировавшейся структурой течения в следе за телом. В качестве начальных данных задавались значения переменных, равные значениям параметров набегающего потока $F = (\rho, u, v, T)^T$.

Результаты исследований и сравнение с экспериментальными данными

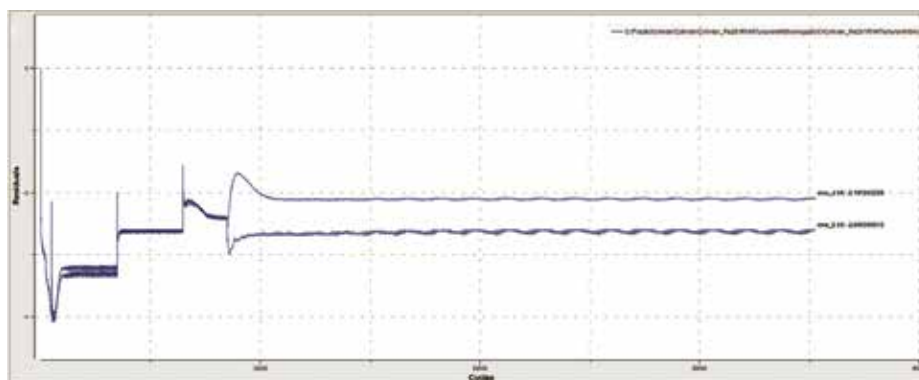
Согласно имеющимся экспериментальным данным [1], вихревая дорожка Кармана при дозвуковом обтекании кругового цилиндра несжимаемой жидкостью (газом) образуется при числах Рейнольдса Re_{∞} в диапазоне примерно от $Re_{\infty} = 60$ до $Re_{\infty} = 5000$. При $Re_{\infty} < 60$ течение в следе чисто



а



б



в

Рис. 4. Оценка сходимости решения: *а* — по лобовому сопротивлению; *б* — по подъемной силе; *в* — по невязкам для энергии и плотности
Fig. 4. An estimate of the convergence of the solution: *a* — by drag; *б* — by lift; *в* — by residuals for energy and density

ламинарное, а при $Re_{\infty} > 5000$ после цилиндра в следе происходит полное турбулентное перемешивание течения. Как показывают эксперименты Хоманна [2] при $Re_{\infty} < 150$ позади круглого цилиндра наблюдается ламинарная вихревая дорожка, а при $150 < Re_{\infty} < 300$ в вихревой дорожке при локальных числах Рейнольдса больше критического $Re_{крит}$ наблюдается переход от ламинарного в начале к переходному, а затем к турбулентному режиму течения. Именно эти два диапазона чисел Рейнольдса являются основным направлением исследования данной работы. Проблема заключается в том, что в данном случае для ряда

течений, характеризуемых числами Рейнольдса свыше 150, течение является смешанным, или ламинарным, и выбор решаемых систем уравнений не однозначен.

В настоящей работе расчеты обтекания цилиндра при $Re_{\infty} = \{32, 45, 55, 65, 71, 102\}$ проводились только для случая ламинарного течения, а расчеты при числах $Re_{\infty} = \{165, 225, 281\}$ выполнялись как для ламинарного, так и турбулентного режима, причем турбулентность учитывалась с помощью модели турбулентности $k-\omega$ (M-SST), выбранной на основе рекомендаций NUMECA для низкорейнольдсовых течений [26, 27].

Решение считалось установившемся после стабилизации периодов осцилляций лобового сопротивления (рис. 4, *a*), подъемной силы (рис. 4, *б*), а также невязок для энергии и плотности (рис. 4, *в*).

В данной работе для тестирования ППП NUMECA и сравнения результатов численных решений задачи с имеющимися экспериментальными данными проведены расчеты обтекания круглого цилиндра для чисел Рейнольдса в диапазоне от $Re_\infty = 32$ до $Re_\infty = 281$ с целью определения перехода режима течения от ламинарного к смешанному, получения вихревой дорожки Кармана в следе за цилиндром и, наконец, вычисление аэродинамических характеристик цилиндра при указанных числах Рейнольдса.

При решении задачи обтекания цилиндра для рассматриваемого диапазона чисел Re_∞ , вычислены его коэффициенты сопротивления:

$$C_w = W / (S_c \rho_\infty v_\infty^2 / 2),$$

где W — общая сила давления и трения, действующая на цилиндр; S_c — площадь поперечного сечения цилиндра единичной длины (за единичную длину принимается толщина одной ячейки расчетной сетки, равная 0,0001); $\rho_\infty v_\infty^2 / 2$ — скоростной напор набегающего потока.

Сопоставление результатов численного моделирования (рис. 5, синяя линия) с имеющимися экспериментальными данными Вейсельсбергера [1, 3] (рис. 5, оранжевая линия) показывает их полное совпадение при $Re_\infty \leq 170$, а при $Re_\infty = 281$ расхождение составляет менее 2,5 %.

Для подтверждения успешной верификации расчетных данных, получаемых при численном моделировании задач низкорейнольдсовых течений посредством ППП NUMECA, были посчитаны также числа Струхала $St = nd / v_\infty$ для рассматриваемого диапазона чисел Рейнольдса. Здесь n — частота срывов вихрей в секунду; d — диаметр цилиндра; v_∞ — скорость набегающего потока. Период снятия расчетных данных равен 0,01 секунды. Их сопоставление (рис. 6, синяя линия) с экспериментальными данными Рошко [1, 10], (рис. 6, оранжевая линия) также дает неплохое их согласие. Максимальное расхождение расчетных и экспериментальных данных по числу St составляет около 8 %.

Картины течения воздуха позади круглого цилиндра без образования и с образованием вихревой дорожки Кармана, полученные численно в настоящей работе для Re_∞ от 32 до 281 (рис. 7), при сравнении с экспериментальными данными Хоманна [1, 2] (рис. 8), полученными при тех же числах Рейнольдса, но для случая обтекания цилиндра маслом, визуальны довольно схожи.

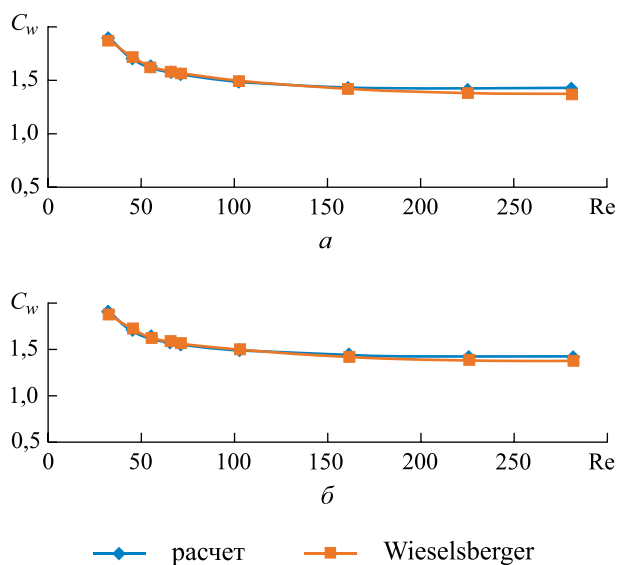


Рис. 5. Сравнение расчетных коэффициентов сопротивления цилиндра (синяя линия) с экспериментальными данными Вейсельсбергера (оранжевая линия): *a* — течение ламинарное для всех чисел Re_∞ ; *б* — течение переходное (ламинарно-турбулентное) для $Re_\infty > 150$

Fig. 5. Comparison of the calculated coefficients of resistance of the cylinder with the Wieselsberger's experimental data; *a* — laminar flow for all Re_∞ ; *б* — mixed (laminar-turbulent) flow for $Re_\infty > 150$

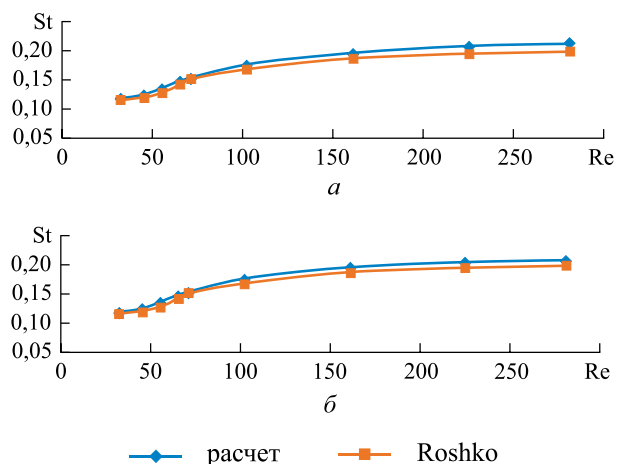


Рис. 6. Сравнение расчетных значений числа Струхала при обтекании цилиндра (синяя линия) с экспериментальными данными Рошко (оранжевая линия): *a* — течение ламинарное для всех чисел Re_∞ ; *б* — течение переходное (ламинарно-турбулентное) для $Re_\infty > 150$

Fig. 6. Comparison of the calculated values of the number of Strouhal for flow past a cylinder with the Roshko's experimental data; *a* — laminar flow for all Re_∞ ; *б* — mixed (laminar-turbulent) flow for $Re_\infty > 150$

Согласование расчетной и экспериментальной структур вихревых дорожек Кармана оказывается также хорошим, несмотря на существенное различие обтекающих цилиндров сред, что лишнее подтверждает теорию подобия и размерности Рейнольдса.

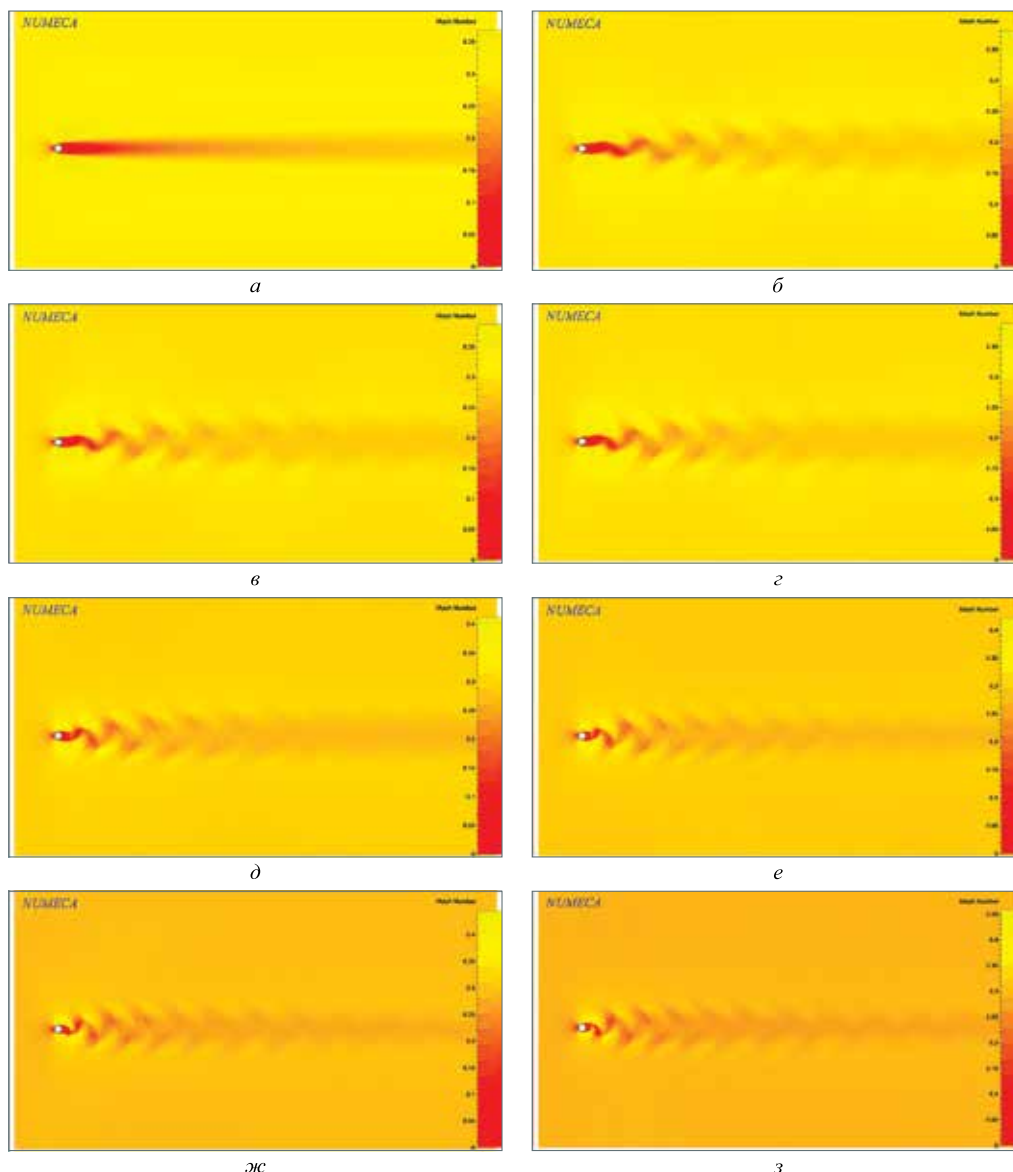


Рис. 7. Течение воздуха вокруг круглого цилиндра при различных числах Рейнольдса. Численный расчет: *a* — $Re = 32$; *б* — $Re = 55$; *в* — $Re = 65$; *г* — $Re = 71$; *д* — $Re = 102$; *е* — $Re = 161$; *ж* — $Re = 225$; *з* — $Re = 281$
Fig. 7. The air flow around a circular cylinder at a different Reynolds numbers. Numerical calculation: *a* — $Re = 32$; *б* — $Re = 55$; *в* — $Re = 65$; *г* — $Re = 71$; *д* — $Re = 102$; *е* — $Re = 161$; *ж* — $Re = 225$; *з* — $Re = 281$

Выводы

1. На основе уравнений Навье — Стокса с помощью ППП NUMECA проведено исследование обтекания круглого цилиндра несжимаемой жидкостью (газом) при ламинарном и турбулентном режимах течений (с использованием *k-ω* модели турбулентности). Расчеты проводились при малых числах Рейнольдса в диапазоне $32 \leq Re_{\infty} \leq 281$.

2. Получены распределения газодинамических параметров у поверхности тела и в следе за телом при рассмотренных числах Re_{∞} . Установлено, что при $Re_{\infty} = 32$ след является чисто ламинарным, а с увеличением числа Рейнольдса набегающего

потока при $Re_{\infty} \geq 55$ в следе образуется вихревая дорожка, состоящая из отдельных вихрей, что хорошо согласуется с экспериментальными данными Хоманна [1, 2].

3. Определенные в расчетах коэффициенты лобового сопротивления цилиндра C_w в зависимости от числа Рейнольдса Re_{∞} хорошо согласуются с экспериментальными данными Вейсельсбергера [1, 3].

4. Полученная расчетная зависимость числа Струхала St срывов вихрей за цилиндром от числа Рейнольдса также хорошо согласуются с соответствующей экспериментальной зависимостью Рошко [1, 10].

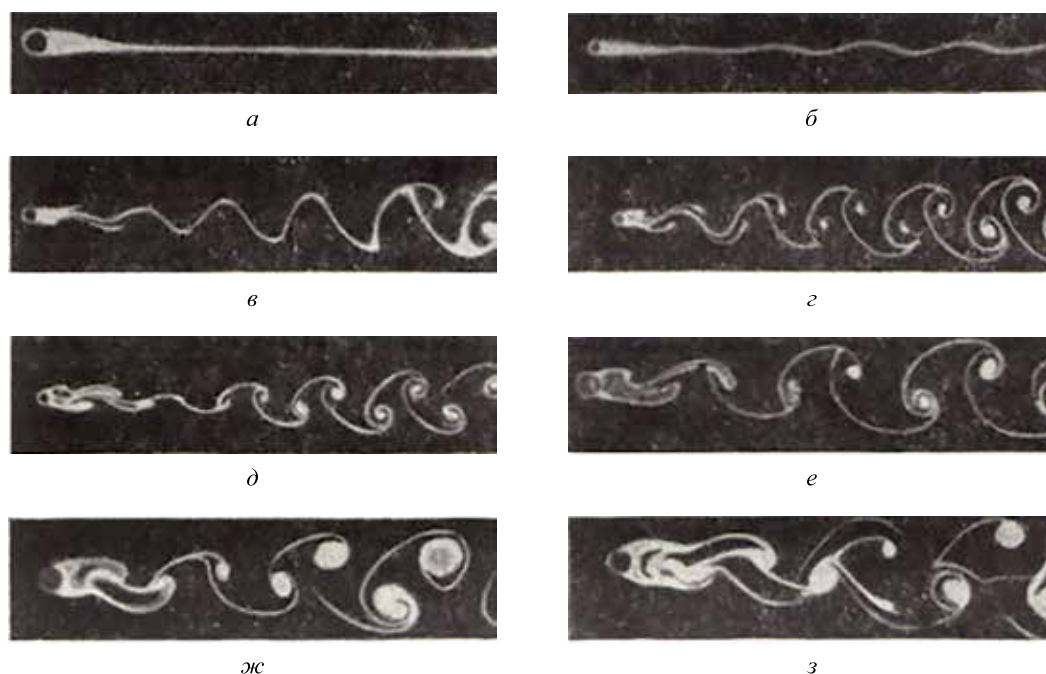


Рис. 8. Течение масла вокруг круглого цилиндра при различных числах Рейнольдса по Хоманну: *а* — $Re = 32$; *б* — $Re = 55$; *в* — $Re = 65$; *г* — $Re = 71$; *д* — $Re = 102$; *е* — $Re = 161$; *ж* — $Re = 225$; *з* — $Re = 281$

Fig. 8. The oil flow around a circular cylinder at a different Reynolds numbers. By Homann's data: *а* — $Re = 32$; *б* — $Re = 55$; *в* — $Re = 65$; *г* — $Re = 71$; *д* — $Re = 102$; *е* — $Re = 161$; *ж* — $Re = 225$; *з* — $Re = 281$

5. Учитывая изложенное выше по сопоставлению результатов численного моделирования задачи обтекания цилиндра вязкой несжимаемой жидкостью с образованием вихревой дорожки в следе за телом с экспериментальными данными, можно утверждать о пригодности ППП NUMECA для расчетов течений вязкой жидкости при малых числах Рейнольдса.

Список литературы

- [1] Шлихтинг Г. Теория пограничного слоя. М.: Наука, 1974. 712 с.
- [2] Homann F. Einfluss grosser Zähigkeit bei Stromung um Zylinder // *Forsch. Ing.-Wes.*, 1936, no. 7, pp. 1–10.
- [3] Wieselsberger C. Der Luftwiderstand von Kugeln // *ZFM*, 1914, no. 5, pp. 140–144.
- [4] Flachsbarth O. Neuere Untersuchungen über den Luftwiderstand von Kugeln // *Phys. Z.*, 1927, v. 28, pp. 461–469.
- [5] Flachsbarth O. Winddruck auf Gasbehälter // *Reports of the AVA in Göttingen*, 1932, v. IV, pp. 134–138.
- [6] Kármán Th. von. Über den Mechanismus des Widerstandes, den ein bewegter Körper in einer Flüssigkeit erzeugt / *Nachr. Ges. Wiss. Göttingen, Math. Phys. Klasse*, 1911, pp. 509–517; 1912, pp. 547–556.
- [7] Kármán, Th. von, Rubach H. Über den Mechanismus des Flüssigkeits und Luftwiderstandes // *Phys. Z.*, 1912, v. 13, pp. 49–59.
- [8] Naumann A. Luftwiderstand von Kugeln bei hohen Unterschallgeschwindigkeiten. *Allgem. Wärmetechnik*, 1953, v. 4, pp. 217–221.
- [9] Naumann A., Pfeifer H. Über die Grenzschichtströmung am Zylinder bei hohen Geschwindigkeiten // *Advances in Aeronautical Sciences* (Ed. Th. v. Karman'a), 1962, v. 3, pp. 185–206.
- [10] Roshko A. On the development of turbulent wakes from vortex streets // *NACA Rep.*, 1954, p. 1191.
- [11] Strouhal V. Über eine besondere Art der Tonerregung // *Ann. Phys. und Chemie. Neue Folge*, 1878, v. 5, pp. 216–251.
- [12] *Proceedings of the First International Congress for Applied Mechanics* / ed. by B. Biezeno, J.M. Burgers. Delft, 1924, pp. 113.
- [13] Frimberger R. Experimentelle Untersuchungen an Karmanischen Wirbelstrassen // *ZFW*, 1957, v. 5, pp. 355–359.
- [14] Blenk H., Fuchs D., Liebers L. Über die Messung von Wirbelfrequenzen // *Luftfahrtforschung*, 1935, v. 12, pp. 38–41.
- [15] Domm U. Ein Beitrag zur Stabilitätstheorie der Wirbelstrassen unter Berücksichtigung endlicher und zeitlicher anwachsender Wirbelkerndurchmesser // *Ing.-Arch.*, 1954, v. 22, pp. 400–410.
- [16] Lin C.C. On periodically oscillating wakes in the Oseen approximation. *Mises Anniversary «Studies in Mathematics and Mechanics»*. New York: Academic Press, 1950, pp. 170–176.
- [17] Möller E. Luftwiderstandsmessungen am Volkswagen-Lieferwagen // *Automobil-technische Z.* 53, Nein., 1951, v. 6, pp. 1–4.
- [18] Prandtl L. Der Luftwiderstand von Kugeln // *Nachr. Ges. Wiss. Göttingen. Math. Phys. Klasse*, 1914, pp. 177–190.
- [19] Tietjens O. *Hydro- und Aeromechanik nach Vorlesungen von L. Prandtl. Band 1. Gleichgewicht und reibungslose Bewegung*. Berlin: Springer, 1929, 238 p.
- [20] Rubach H. Über die Entstehung und Fortbewegung des Wirbelpaares bei zylindrischen Körpern. *Diplomarbeit*, Göttingen 1914 // *VDI-Forschungsheft*, 1916, pp. 185.

- [21] Schlichting H. Aerodynamische Untersuchungen an Kraftfahrzeugen // *Berichtsband der Technischen Hochschule Braunschweig*, 1954, pp. 130–139.
- [22] Schrenk O. Versuche mit Absaugeflügeln // *Luftfahrtforschung*, 1935, v. XII, pp. 10–27.
- [23] Timme A. Über die Geschwindigkeitsverteilung in Wirbeln // *Ing.-Arch.*, 1957, v. 25, pp. 205–225.
- [24] Poiseuille J. Recherches experimentelles sur le mouvement des liquides dans les tubes de tres petits diameters // *Gomptes Rendus*, 1840, v. 11, pp. 961–967, 1041–1048; 1841, v. 12, pp. 112–115.
- [25] Blasius H. Grenzschichten in Flüssigkeiten mit kleiner Reibung. Diplomarbeit, Göttingen 1907 // *Z. Math. u. Phys.*, 1908, v. 56, pp. 1–37.
- [26] User Manual FINE™/Open v2.12 Documentation v2.12c. URL: https://sanet.st/blogs/downloaddownload/numeca_fine_opentm_v_windows_llinux_ssq.1217550.html (дата обращения 15.09.2018).
- [27] Theoretical Manual FINE™/Open v 2.12 (Including Open-Labs) Flow Integrated Environment.

Сведения об авторах

Мышенков Виталий Иванович — д-р физ.-мат. наук, профессор МГТУ им. Н.Э. Баумана (Мытищинский филиал), myshenkov.@mgul.ac.ru

Малашин Алексей Анатольевич — д-р физ.-мат. наук, профессор МГТУ им. Н.Э. Баумана (Мытищинский филиал), malashin_a@mail.ru

Галахов Георгий Дмитриевич — студент 4-го курса МГТУ им. Н.Э. Баумана (Мытищинский филиал)

Орехов Аркадий Дмитриевич — студент 3-го курса МГТУ им. Н.Э. Баумана (Мытищинский филиал)

Пименов Александр Сергеевич — студент 4-го курса МГТУ им. Н.Э. Баумана (Мытищинский филиал)

Пронин Кирилл Николаевич — студент 3-го курса МГТУ им. Н.Э. Баумана (Мытищинский филиал)

Поступила в редакцию 20.09.2018.

Принята к публикации 23.10.2018.

RESEARCH OF THE SUITABILITY OF THE NUMECA APP TO THE NUMEROUS SOLUTION OF EXTERNAL OBJECTION

V.I. Myshenkov, A.A. Malashin, G.D. Galakhov,
A.D. Orekhov, A.S. Pimenov, K.N. Pronin

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

malashin_a@mail.ru

A numerical investigation of the transverse flow of a viscous incompressible gas (air) by a subsonic flow of viscous incompressible gas (air) is carried out within the framework of the Navier — Stokes equations by means of the Numeca software package for various Reynolds numbers Re_∞ . This study was carried out with the purpose of determining the range of applicability of the said RFP for solving practical problems of gas dynamics. Therefore, calculations of the problem of flow past a cylinder by a stream of air were carried out at determining gas dynamic parameters, for example, the numbers Re_∞ , which are equal to the defining parameters of the classical experiments of various authors [2–25], given in Schlichting's monograph [1]. The results of the calculations are compared with the available experimental data on the Karman vortex path, the drag of the cylinder, the Strouhal numbers of vortex stripping behind the cylinder. The comparison of the results of calculations of the transverse flow past a circular cylinder by an incompressible fluid with the corresponding experimental data [1–25] showed good agreement between them in a wide range of Reynolds numbers and, consequently, the «Numeca» package used in calculations can be successfully applied to solve corresponding problems.

Keywords: flow, incoming flow, pressure, Reynolds number, Karman vortex street., Strouhal number, resistance coefficient

Suggested citation: Myshenkov V.I., Malashin A.A., Galakhov G.D., Orekhov A.D., Pimenov A.S., Pronin K.N. *Issledovanie prigodnosti PPP «NUMECA» dlya chislennogo resheniya zadach vneshnego obtekaniya* [Research of the suitability of the NUMECA APP to the numerous solution of external objection]. *Lesnoy vestnik / Forestry Bulletin*, 2018, vol. 22, no. 6, pp. 123–131. DOI: 10.18698/2542-1468-2018-6-123-131

References

- [1] Shlikhting G. *Teoriya pogranichnogo sloya* [The theory of the boundary layer]. Moscow: Nauka [Science], 1974, 712 p.
- [2] Homann F. Einfluss grosser Zahigkeit bei Stromung um Zylinder. *Forsch. Ing.-Wes.*, 1936, no. 7, pp. 1–10.
- [3] Wieselsberger C. Der Luftwiderstand von Kugeln. *ZFM*, 1914, no. 5, pp. 140–144.
- [4] Flachsbarth O. Neuere Untersuchungen über den Luftwiderstand von Kugeln. *Phys. Z.*, 1927, v. 28, pp. 461–469.

- [5] Flachsbart O. Winddruck auf Gasbehälter. Reports of the AVA in Göttingen, 1932, v. IV, pp. 134–138.
- [6] Kármán, Th. von. Über den Mechanismus des Widerstandes, den ein bewegter Körper in einer Flüssigkeit erzeugt. Nachr. Ges. Wiss. Göttingen, Math. Phys. Klasse, 1911, pp. 509–517; 1912, pp. 547–556.
- [7] Kármán, Th. von, Rubach H. Über den Mechanismus des Flüssigkeits und Luftwiderstandes. Phys. Z., 1912, v. 13, pp. 49–59.
- [8] Naumann A. Luftwiderstand von Kugeln bei hohen Unterschallgeschwindigkeiten. Allgem. Wärmetechnik, 1953, v. 4, pp. 217–221.
- [9] Naumann A., Pfeifer H. Über die Grenzschichtströmung am Zylinder bei hohen Geschwindigkeiten. Advances in Aeronautical Sciences (Ed. Th. v. Karman'a), 1962, t. 3, pp. 185–206.
- [10] Roshko A. On the development of turbulent wakes from vortex streets. NACA Rep., 1954, p. 1191.
- [11] Strouhal V. Über eine besondere Art der Tonerregung. Ann. Phys. und Chemie. Neue Folge, 1878, v. 5, pp. 216–251.
- [12] Proceedings of the First International Congress for Applied Mechanics, ed. by B. Biezeno and J. M. Burgers, Delft, 1924, pp. 113.
- [13] Frimberger R. Experimentelle Untersuchungen an Karmanschen Wirbelstrassen. ZFW, 1957, v. 5, pp. 355–359.
- [14] Blenk H., Fuchs D., Liebers L. Über die Messung von Wirbelfrequenzen. Luftfahrtforschung, 1935, v. 12, pp. 38–41.
- [15] Domm U. Ein Beitrag zur Stabilitätstheorie der Wirbelstrassen unter Berücksichtigung endlicher und zeitlicher anwachsender Wirbelkerndurchmesser. Ing.-Arch., 1954, v. 22, pp. 400–410.
- [16] Lin C.C. On periodically oscillating wakes in the Oseen approximation. Mises Anniversary «Studies in Mathematics and Mechanics». New York: Academic Press, 1950, pp. 170–176.
- [17] Möller E. Luftwiderstandsmessungen am Volkswagen-Lieferwagen. Automobil- technische Z. 53, Nein., 1951, v. 6, pp. 1–4.
- [18] Prandtl L. Der Luftwiderstand von Kugeln. Nachr. Ges. Wiss. Göttingen. Math. Phys. Klasse, 1914, pp. 177–190.
- [19] Tietjens O. Hydro- und Aeromechanik nach Vorlesungen von L. Prandtl. Band 1. Gleichgewicht und reibungslose Bewegung. Berlin: Springer, 1929, 238 p.
- [20] Rubach H. Über die Entstehung und Fortbewegung des Wirbelpaares bei zylindrischen Körpern. Diplomarbeit, Göttingen 1914. VDI-Forschungsheft, 1916, pp. 185.
- [21] Schlichting H. Aerodynamische Untersuchungen an Kraftfahrzeugen. Berichtsband der Technischen Hochschule Braunschweig, 1954, pp. 130–139.
- [22] Schrenk O. Versuche mit Absaugeflügeln. Luftfahrtforschung, 1935, v. XII, pp. 10–27.
- [23] Timme A. Über die Geschwindigkeitsverteilung in Wirbeln. Ing.-Arch., 1957, v. 25, pp. 205–225.
- [24] Poiseuille J. Recherches experimentelles sur le mouvement des liquides dans les tubes de tres petits diameters. Comptes Rendus, 1840, v. 11, pp. 961–967, 1041–1048; 1841, v. 12, pp. 112–115.
- [25] Blasius H. Grenzschichten in Flüssigkeiten mit kleiner Reibung. Diplomarbeit, Göttingen 1907. Z. Math. u. Phys., 1908, v. 56, pp. 1–37.
- [26] User Manual FINE™/Open v2.12 Documentation v2.12c. URL: https://sanet.st/blogs/downloaddownload/numeca_fine_opentm_v_windows_linux_ssq.1217550.html
- [27] Theoretical Manual FINE™/Open v 2.12 (Including OpenLabs) Flow Integrated Environment.

Authors' information

Myshenkov Vitaly Ivanovich — Dr. Sci. (Phis.-math.), Professor of the BMSTU (Mytishchi branch), myshenkov.@mgul.ac.ru

Malashin Alexey Anatolyevich — Dr. Sci. (Phis.-math.), Professor of the BMSTU (Mytishchi branch), malashin_a@mail.ru

Galakhov George Dmitrievich — student of the BMSTU (Mytishchi branch)

Orekhov Arkady Dmitrievich — student of the BMSTU (Mytishchi branch)

Pimenov Alexander Sergeevich — student of the BMSTU (Mytishchi branch)

Pronin Kirill Nikolaevich — student of the BMSTU (Mytishchi branch)

Received 20.09.2018.

Accepted for publication 23.10.2018.