

ЛЕСНОЙ ВЕСТНИК / FORESTRY BULLETIN

Научно-информационный журнал

№ 3 ' 2021 Том 25

Главный редактор

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

Редакционный совет журнала

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

Ответственный секретарь Расева Елена Александровна

Редактор Л.В. Сивай

Перевод М.А. Карпухиной

Электронная версия Ю.А. Рязской

Учредитель МГТУ им. Н.Э. Баумана

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

Свидетельство о регистрации ПИ № ФС 77-68118 от 21.12.2016

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

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

Выходит с 1997 года

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

Дата выхода в свет 27.05.2021.

Тираж 600 экз.

Заказ №

Объем 19,0 п. л.

Цена свободная

LESNOY VESTNIK / FORESTRY BULLETIN

Scientific Information Journal
№ 3 ' 2021 Vol. 25

Editor-in-chief

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

Editorial council of the journal

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

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

Assistant Editor Raseva Elena Aleksandrovna

Editor L.V. Sivay

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

Founder BMSTU

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

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

It is sent for the press 27.05.2021.
Circulation 600 copies
Order №
Volume 19,0 p. p.
Price free

СОДЕРЖАНИЕ

БИОЛОГИЧЕСКИЕ И ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЕ АСПЕКТЫ ЛЕСНОГО ХОЗЯЙСТВА

Коротков С.А., Глазунов Ю.Б., Барсуков Л.Е. Историческая динамика и тенденции формирования лесов национального парка «Лосиный остров»	5
Стороженко В.Г., Чеботарев П.А., Чеботарева В.В. Структура древостоев естественного формирования на вырубках дубовых лесов XIX в. (Филиал Теллермановское опытное лесничество ИЛАН РАН)	14
Чупров А.В., Наквасина Е.Н., Прожерина Н.А. Изменчивость шишек сосны обыкновенной (<i>Pinus sylvestris</i> L.), произрастающей в географических культурах Архангельской области	24
Попов А.В., Велисевич С.Н. Внутрипопуляционная изменчивость качества шишек и семян кедров сибирского на плантации с разреженной посадкой	34
Кулаков Е.Е., Сиволапов А.И. Микроспорогенез и образование пыльцы у лиственницы Сукачева (<i>Larix Sukaczewii</i> Djil.) на постоянном лесосеменном участке Семилукского лесопитомника	42
Ширнин Ю.А., Рукомойников К.П., Гайсин И.Г., Ширнин А.Ю. Обоснование необходимости развития стратегии технологических процессов лесоиспользования на лесных плантациях	49
Минхайдаров В.Ю., Розломий Н.Г. Ресурсная оценка лекарственных растений горных кедрово-широколиственных лесов, произрастающих в условиях юга Дальнего Востока	58
Соломенцева А.С. Укрепление и защита берегов в Калачевском районе Волгоградской области с помощью кустарниковой растительности	65
Копейкин М.А., Коптев С.В., Третьяков С.В. Влияние солнечной активности на лесные пожары в Архангельской области	73

ЛАНДШАФТНАЯ АРХИТЕКТУРА

Леонова В.А., Варданян К.К., Ефремян Л.Б. Исторический обзор создания улицы Хачатура Абовяна в г. Ереване и современное состояние одноименного сквера	82
Чернышенко О.В., Фролова В.А., Жданова Л.П. Стратегия ООН и индикаторы устойчивости экосистем для сохранения городского биоразнообразия Москвы	93
Копылов П.В. Исследование значения Садового кольца в радиально-кольцевой планировке Москвы, типологии озеленения и нормативных балансовых показателей	103

ЛЕСОИНЖЕНЕРНОЕ ДЕЛО

Саблин С.Ю., Скрипников А.В., Козлов В.Г., Прокопец В.С., Брюховецкий А.Н., Голубев М.И. Технико-экономическое обоснование элементов плана лесовозных автомобильных дорог	111
---	-----

ДЕРЕВООБРАБОТКА И ХИМИЧЕСКАЯ ПЕРЕРАБОТКА ДРЕВЕСИНЫ

Кудряшова И.А., Вахнина Т.Н., Титунин А.А. Экспериментальное обоснование способа повышения огнестойкости древесных композитов с добавкой вторичного полиэтилентерефталата	118
Кононов Г.Н., Зарубина А.Н., Веревкин А.Н., Зайцев В.Д., Чекунин Д.Б. Древесина как химическое сырье. История и современность III. Пиролиз древесины как метод ее переработки	126
Олиференко Г.Л., Иванкин А.Н., Устюгов А.В., Зарубина А.Н. Проблема коррозии технологического оборудования на предприятиях по химической переработке древесины (обзор)	142

CONTENTS

BIOLOGICAL AND TECHNOLOGICAL ASPECTS OF FORESTRY

Korotkov S.A., Glazunov Yu.B., Barsukov L.E. Historical dynamics and trends in formation of «Losiny ostrov» National Park forests	5
Storozhenko V.G., Chebotarev P.A., Chebotareva V.V. Natural formation stands composition in clearings of XIX century oak forests (Tellermanovskoe experimental forestry IFS RAS)	14
Chuprov A.V., Nakvasina E.N., Prozherina E.A. Scots pine (<i>Pinus sylvestris</i> L.) cones phenotypic variation growing in provenance trials of Arkhangelsk region	24
Popov A.V., Velisevich S.N. Intrapopulation variation of Siberian stone pine cones and seeds quality in spaced planting plots	34
Kulakov E.E., Sivolapov A.I. Microsporogenesis and pollen formation in Larch Sukachev (<i>Larix Sukaczewii</i> Djil.) on permanent forest seed plot in Semiluksky forestry	42
Shirnin Y.A., Gaisin I.G., Rukomojnikov K.P., Shirnin A.Y. Strategy for technological processes of forest management in forest plantations	49
Mirhaydarov V.Y., Rozlomy N.G. Resource assessment of medicinal plants in Mountain cedar and broad-leaved deciduous forests growing in south of Far East	58
Solomentseva A.S. Shrub vegetation shores strengthening and protection in Kalachevsky district of Volgograd area	65
Kopeykin M.A., Koptev S.V., Tretyakov S.V. Impact of solar activity on forest fires in Arkhangelsk region	73

LANDSCAPE ARCHITECTURE

Leonova V.A., Vardanyan K.K., Efremian L.B. Historical overview of Khachatur Abovyan street in Yerevan and current state of park	82
Chernyshenko O.V., Frolova V.A., Zhdanova L.P. UN strategy and ecosystem sustainability indicators for preserving Moscow's urban biodiversity	93
Kopylov P.V. Exploring practical use of Garden ring in radial-circular layout of Moscow, typology of greening and normative balance indicators	103

FOREST ENGINEERING

Sablin S.Yu., Skrypnikov A.V., Kozlov V.G., Prokopets V.S., Bryukhovetskiy A.N., Golubev M.I. Feasibility study of logging road elements plan	111
---	-----

WOODWORKING AND CHEMICAL WOOD PROCESSING

Kudryashova I.A., Vakhnina T.N., Titunin A.A. Experimental substantiation of method for increasing fire protection of wood composites with secondary polyethylene tereftalate	118
Kononov G.N., Zarubina A.N., Verevkin A.N., Zaytsev V.D., Chekunin D.B. Wood as a chemical raw material. History and modernity III. Wood pyrolysis as processing method	126
Oliferenko G.L., Ivankin A.N., Ustyugov A.V., Zarubina A.N. Issue of technological equipment corrosion at chemical wood processing enterprises (review)	142

ИСТОРИЧЕСКАЯ ДИНАМИКА И ТЕНДЕНЦИИ ФОРМИРОВАНИЯ ЛЕСОВ НАЦИОНАЛЬНОГО ПАРКА «ЛОСИНЫЙ ОСТРОВ»

С.А. Коротков^{1, 2}, Ю.Б. Глазунов², Л.Е. Барсуков¹

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

²ФГБУН «Институт лесоведения РАН» (ИЛАН РАН), Московская обл., Одинцовский р-н, с. Успенское, ул. Советская, д. 21

Skorotkov-71@mail.ru

В областной части национального парка «Лосиный остров» изучено состояние насаждений, назначенных в сплошную санитарную рубку по результатам проведенного ранее лесопатологического обследования. Обследованы 58 участков общей площадью 98,8 га, расположенные в особо охраняемой и рекреационной зонах национального парка «Лосиный остров», имеющий сравнительно небольшую площадь, расположен на стыке трех лесорастительных районов, на его территории расположен уникальный водно-болотный комплекс р. Яузы и ее притоков. Это обусловило большое разнообразие природных условий. При этом национальный парк со всех сторон окружен плотно заселенными урбанизированными территориями. На основе анализа исторического опыта создания искусственных насаждений в «Лосином острове», эдафических и гидрологических условий, а также с учетом целевого назначения лесов в пределах каждой функциональной зоны, составлены рекомендации по созданию лесных культур на участках с распавшимися древостоями. Для каждой функциональной зоны предложены по 8 вариантов лесных культур. Рассмотрены основной и альтернативный варианты культур на каждом участке. Приведено обоснование ассортимента пород и состава чистых и смешанных культур, которые определяются с учетом целевого назначения лесов, потенциала лесорастительных условий участка, типа почв и их влажности. С учетом целевого назначения лесов, предпочтительны долговечные древесные породы, устойчивые к неблагоприятным факторам среды и способные в будущем сформировать высокопродуктивные, привлекательные в рекреационном отношении и долгоживущие насаждения, соответствующие при этом исторически сформировавшейся природной среде национального парка. В качестве главных пород предложены сосна, ель, липа, дуб, лиственница, сопутствующих — вяз и ясень. Сделан вывод о том, что в рекреационной зоне нецелесообразна густота посадки культур более 2 тыс. шт./га, поскольку такие насаждения будут более комфортными для отдыха населения. В особо охраняемой зоне целесообразна густота посадки составляет 3–4 тыс. шт./га.

Ключевые слова: динамика леса, смена пород, национальный парк «Лосиный остров», лесовосстановление

Ссылка для цитирования: Коротков С.А., Глазунов Ю.Б., Барсуков Л.Е. Историческая динамика и тенденции формирования лесов национального парка «Лосиный остров» // Лесной вестник / Forestry Bulletin, 2021. Т. 25. № 3. С. 5–13. DOI: 10.18698/2542-1468-2021-3-5-13

Национальный парк «Лосиный остров» расположен на северо-востоке г. Москвы и в ближнем Подмосковье, начинаясь от парка «Сокольники» и протягиваясь за МКАД до населенных пунктов Мытищи, Королев, Щелково и Балашиха. Наибольшая его протяженность — с запада на восток составляет 22 км, с севера на юг — 10 км. Максимальная ширина парка в его средней части — около 12 км. Немногим менее 1/3 территории парка находится в черте г. Москвы.

«Лосиный остров» — один из первых национальных парков в Российской Федерации. Он служит характерным примером сосуществования лесного массива и урбанизированной территории. Разнообразие ландшафтов «Лосинового острова» весьма велико.

Будучи весьма компактным (площадь около 13 тыс. га), «Лосиный остров» отличается тем, что со всех сторон окружен плотно заселенными урбанизированными территориями и находится на стыке трех лесорастительных районов: елово-широколиственных лесов Клинско-Дмитровской гряды, сосновых заболоченных лесов Мещерской низменности и широколиственных

с елью лесов Москворецко-Окской равнины. Здесь же расположен уникальный водно-болотный комплекс р. Яузы и ее притоков. Это обусловило большое разнообразие природных условий, богатство растительного и животного мира [1].

На урбанизированных территориях лесные экосистемы, как правило, приобретают островной характер [2]. В связи с интенсивным воздействием городской среды на лесные насаждения особое значение приобретает мониторинг состояния «Лосинового острова».

На территории «Лосинового острова» издавна установлен режим, близкий к заповедному, который способствовал сохранению в его границах старовозрастных лесов. В 1842 г. здесь было проведено лесоустройство, одно из первых в России и с этого времени в лесах «Лосинового острова» началось достаточно интенсивное ведение лесного хозяйства.

Сочетание особенностей расположения и уникальной природной среды предполагает наличие взаимоисключающих требований к организации и ведению хозяйства на территории национального парка. С одной стороны, непрерывно возрастают

потребности населения в рекреации, с другой — необходимо обеспечение сохранности воспроизводства растительного и животного мира [3, 4].

В последние годы «Лосиный остров» в полной мере испытал на себе весь комплекс проблем, характерных для современных лесов Московской обл. Огромный ущерб был нанесен засухой 2010 г., после которой последовали ослабление и усыхание лесных насаждений на значительных площадях и участках, ветровалы и вспышка массового размножения такого вредителя, как короед-типограф. Указанные негативные природные явления, в том числе пожары, вызывают существенные изменения в лесных ценозах и во многих случаях приводят к гибели насаждений. В частности при мощном ветре могут происходить массовые катастрофические ветровалы, нередко с полным уничтожением древесного яруса.

Цель работы

Цель работы — оценка возможностей искусственного лесовосстановления на участках с распавшимися насаждениями, разработка предложений по созданию лесных культур с учетом необходимости сохранения природно-исторической среды национального парка, целевого назначения лесов, а также лесорастительных условий на каждом участке.

Материалы и методы

При обследовании оценивались возможности искусственного лесовозобновления на каждом участке, с учетом текущего состояния древостоев, количества валежа, расположения данного участка по отношению к водным объектам, давалась общая характеристика эдафических условий. Для более подробной оценки почв использовались данные литературных источников [5].

Полевые исследования проводились маршрутно-рекогносцировочным методом [6]. При рекогносцировочном обследовании за сравнительно короткий срок можно охватить значительную территорию.

Объект исследования

Объект исследования — лесные насаждения в областной части национального парка «Лосиный остров», погибшие в результате действия комплекса неблагоприятных факторов.

Основными почвообразующими породами «Лосиного острова» являются валунные супеси и пески древнеаллювиальных и межморенных отложений, а также отложения верхней морены. Доминируют слабодерновые глубокоподзолистые глееватые легкосуглинистые (49 % площади) и глубокоподзолистые супесчаные (27 %) почвы [1]. Для почвенного покрова характерна высокая

мозаичность. Особенностью современного почвенного покрова «Лосиного острова» является интенсивное накопление гумуса [7].

Почвенные условия способствуют успешному росту различных древесных пород. Начиная со второй половины XIX в. многие исследователи приходили к выводу о том, что для Национального парка наиболее характерными и предпочтительными являются сосна и ель [1, 7].

По результатам лесопатологического обследования, выполненного в 2019 г., в областной части Национального парка были назначены в сплошную санитарную рубку 58 участков общей площадью 98,8 га. Все участки располагались в пределах рекреационной (33 участка, 40,39 га) и особо охраняемой зон (25 участков, 58,41 га). На 41-м участке (84,32 га) преобладающей породой до распада древостоев была ель. В большинстве случаев (30 участков, 65,69 га) причиной гибели еловых насаждений стал короед-типограф. Среди прочих причин отмечены также распространение трутовиков, лубоедов, и комплекс неблагоприятных факторов. Очагов корневой губки при лесопатологическом обследовании не выявлено.

На остальных 17 участках преобладающими породами были сосна (11 участков, 8,59 га), береза (6 участков, 4,8 га) и по одному участку с преобладанием в составе вяза (1,89 га) и ясеня (0,55 га). Поскольку большинство насаждений были смешанными с участием в составе ели, одной из основных причин усыхания насаждений с преобладанием сосны и березы также назван короед-типограф. Среди прочих факторов отмечены лубоеды и трутовики.

Вероятнее всего, первопричиной ослабления насаждений, которая в итоге привела к массовому размножению вредителей и прежде всего типографа, стала засуха 2010–2011 гг., и участвовавшие в последние годы экстремально сильные ветры.

Глобальное потепление климата, особенно заметное в последние десятилетия, предположительно приведет к смещению границ ареалов всех древесных пород, а также к изменению их участия в составе насаждений [8–13].

Результаты и обсуждение

Сложные сосняки на территории Национального парка являются наиболее устойчивыми и долговечными. Вместе с тем естественное возобновление сосны в данных условиях возможно только по гарям. При постепенном естественном изреживании возобновление неконкурентоспособно по отношению к листовым древесным и кустарниковым породам и травяному покрову. Начиная, по крайней мере, с середины XIX в. сосна в «Лосином острове» удерживала позиции

только благодаря искусственному возобновлению. Ельники, в особенности чистые, по достижению ими возраста 80...100 лет становятся крайне уязвимыми к неблагоприятным природным явлениям. Так, в 1904 г. ураган уничтожил практически все старовозрастные ельники, и доминирование ели в первые десятилетия XX в. обеспечивало только искусственное возобновление с ее использованием как основной лесообразующей породы [1]. Анализ динамики покрытых лесом земель по преобладающим породам, начиная с 1842 г., когда было проведено первое лесоустройство, показал постепенное сокращение площади сосняков, и в особенности ельников, которые сменялись березой и липой. И если резкое увеличение площади березняков во второй половине XX в. можно объяснить отчасти созданием лесных культур в 1950–1960-х гг., то липа после прекращения ее хозяйственного использования постепенно самостоятельно захватывает территорию. Вероятно этому в некотором отношении способствует изменение климата.

Исследование динамики лесов «Лосино-го острова» на уровне формаций показало, что за 60...70 лет характер леса по породному составу становится менее бореальным, особенно на бывшей Лосиноостровской даче. Значительную роль начинают играть липняки [14].

В довоенные годы XX в. основной породой подростка на территории Лосиноостровской лесной дачи была ель, на втором месте была липа. Начиная с 1950-х гг. липа стала доминировать, а подрост ели находился только под 1/3 всех насаждений. Третьей по значимости породой подростка становится клен остролистный. Участки, занятые дубом, преобладавшим в подросте на 28 % площади в середине века, к концу XX в. сократились в 4 раза, не выдержав конкуренции с более быстрорастущими породами [15].

Таким образом, при отсутствии искусственного лесовозобновления в перспективе в «Лосином острове» следует ожидать смену хвойных лесов лиственными. Вместе с тем вариант естественного развития едва ли можно признать допустимым, учитывая историю Национального парка, на территории которого в известном историческом прошлом всегда преобладали сосновые и еловые леса, а также целевое назначение лесов, обусловленное современным статусом объекта.

На Национальный парк возложены следующие задачи:

- 1) сохранение природных комплексов, уникальных и эталонных природных участков и объектов;
- 2) сохранение историко-культурных объектов;
- 3) экологическое просвещение населения;
- 4) создание условий для регулируемого туризма и отдыха;

5) разработка и внедрение научных методов охраны природы и экологического просвещения;

6) осуществление государственного экологического мониторинга (государственного мониторинга окружающей среды);

7) восстановление нарушенных природных и историко-культурных комплексов и объектов.

В настоящее время в пределах «Лосино-го острова» выделяют пять сильно различающихся по площади функциональных зон, предполагающих разные режимы лесопользования и приоритеты в использовании лесов:

1) заповедная зона, предназначенная для сохранения природной среды в естественном состоянии и в границах, на которой запрещено осуществление любой экономической деятельности (площадь 182 га);

2) особо охраняемая зона, предназначенная для сохранения природной среды в естественном состоянии, в границах которой допускаются проведение экскурсий и посещение в познавательных целях (4297,4 га);

3) рекреационная зона, предназначенная для обеспечения и осуществления рекреационной деятельности, развития физической культуры и спорта, а также размещения объектов туристической индустрии, музеев и информационных центров (около 6560 га);

4) зона охраны объектов культурного наследия (памятников истории и культуры) народов Российской Федерации, предназначенная для сохранения указанных объектов, в границах которой допускается осуществление необходимой для их сохранения деятельности, а также рекреационной деятельности (около 900 га);

5) зона хозяйственного назначения, предназначенная для осуществления деятельности, направленной на обеспечение функционирования Учреждения и жизнедеятельности граждан, проживающих на территории национального парка (около 1290 га).

Для национального парка «Лосиный остров» остро стоит вопрос о предельно допустимой плотности популяции копытных. В настоящее время на территории парка обитают 45 лосей и 150 пятнистых оленей [16]. Это указывает на необходимость регулирования численности и обязательной организации подкормки. После того как в 1997 г. часть Московской кольцевой автодороги (МКАД), проходящей по парку, расширили и оградил забором, московская часть популяции лосей оказалась отрезанной от подмосковной.

Вопрос о современном и будущем породном составе лесов национального парка «Лосиный остров» напрямую связан как с их общей, так и со специфической устойчивостью к неблагоприятным воздействиям урбанизированного

Московского региона. Важно понимать направление лесообразовательного процесса в лесах, не испытывающих прямого влияния в виде рубок, но находящихся под воздействием постоянно действующих факторов — изменений мезоклимата, рекреационных нагрузок, загрязнения атмосферы, а также целевой породный состав насаждений, имеющих разное функциональное назначение. Расположение участков, назначенных в сплошную санитарную рубку, где в дальнейшем будут создаваться лесные культуры, в пределах разных функциональных зон предполагает различные требования к создаваемым искусственным насаждениям.

Ассортимент пород и состав чистых и смешанных лесных культур следует определять в соответствии с потенциалом лесорастительных условий лесного участка, а также с учетом типов леса, почвы и ее влажности. Предпочтительны долговечные древесные породы, устойчивые к неблагоприятным факторам среды и способные сформировать в будущем высокопродуктивные и долговечные насаждения. Тип смешения пород устанавливается для каждого отдельно взятого лесного участка в соответствии с целевым назначением категорий земель и разновидностей защитных лесов, а также типов создаваемых лесных культур.

Береза — дерево недолговечное, подверженное ветровалу и выпадению. Леса становятся захлещенными. Такие ландшафты неустойчивы, не привлекают эстетически, леса не выполняют своих средообразующих функций, территории заболачиваются.

Динамика породного состава лесов характерна и для лесов Европы. Так, например, в Германии, Швеции и Дании хвойные породы стали доминировать главным образом в течение двух последних столетий [17]. Ель была хорошей экономической альтернативой широколиственным породам: она обладает широкой экологической амплитудой, высоким темпом роста и качеством древесины [18, 19].

В то же время на дерново-среднеподзолистых среднесуглинистых почвах на флювиогляциальных отложениях сформирован коренной тип леса — сосняк. Ель в этих условиях недолговечна [20].

В пределах своего ареала распространения дуб черешчатый образует ряд форм в результате приспособления к местным климатическим и почвенным условиям. Он растет на любых почвах, исключая борозные песчаные и с застойным избыточным увлажнением. Однако в молодом возрасте дуб очень уязвим. По причине медленного роста в первые годы своей жизни дубки легко заглушаются подростом или порослью быстрорастущих пород.

В литературе есть информация о том, что в степи дуб хорошо растет в смешении с такими

породами, которые имеют одинаковую быстроту роста с дубом или растут медленнее его (липа, клен остролистный, клен полевой, клен татарский, граб, лещина). Роль подгона с успехом выполняет сам дуб, когда он растет в сомкнутых группах [21]. В изученных В.В. Гревцовой (2020) в Московском регионе лесных культурах 60–70-летнего возраста с участием дуба черешчатого применяемые древесно-кустарниковые и древесно-теневые типы смешения, предложенные в 1893 г. Г.Н. Высоцким (1960) с липой, вязом, кленом остролистным, не дали положительных результатов. Дуб оказывается угнетенным во втором ярусе под пологом липы и клена остролистного или его присутствие единично, поскольку окружение дуба быстрорастущими породами противоречит его биологии и ведет не к улучшению его роста, а к ослаблению и гибели [22, 23].

В настоящее время в Подмоскovie формируются условия, в которых возможно активное формирование липняков в типах лесорастительных условий С2-D2. Во многом это зависит от источников возобновления липы как порослевого, так и семенного происхождения.

Исходными данными для проектирования лесных культур являются естественно-исторические условия участка и целевое назначение лесов. Исходя из экологической (типа лесорастительных условий, типа вырубков, гранулометрического состава и влажности почв) и лесоводственно-технологической оценок (категории лесокультурной площади, количества пней на 1 га, состояния и характера развития напочвенного покрова, наличия естественного возобновления древесных видов), необходимо обосновать выбор главных и сопутствующих пород, метод создания лесных культур, способ и схему смешения, густоту посадки и размещение посадочных мест [24, 25].

При формировании еловых насаждений в соответствующих лесотипологических условиях следует утвердить минимизацию посадки чистых ельников (8–10 единиц в составе).

Методы лесовозобновления и закладки новых поколений леса, в основном определяются и реализуются в сочетании с выбором и применением метода рубок лесных насаждений в соответствующих лесотипологических условиях согласно целевой структуре лесного фонда. Образование елового древостоя происходит в расчете на дополняющее возобновление лиственных пород в местах отсутствия хвойных, и затем формируется смешанный по составу древостой. Закладка лесных культур ели в условиях, где естественное возобновление ели не обеспечивается (но успешно возобновляются лиственные — береза с осинкой, а иногда и с дубом и липой), осуществляется по специальным схемам «неполных лесных культур» [26].

Иногда рядами — с расстоянием между ними, превышающем нормативное (для создания чистых ельников) обычно в 1,5–2 раза при расчете на относительно равномерное смешение пород.

Следует учитывать тот факт, что смешение лиственных и хвойных насаждений снижает таксационные показатели деревьев ели и несколько замедляет их рост [27]. Практически путем регламентирования расстояния между рядами лесных культур, соотношения закладываемых кулис (в том числе прерывистых и в виде площадок определенных размеров), по существу, обеспечивается закладка лесных насаждений смешанного состава на основе комбинированного возобновления разных пород.

В зависимости от ландшафтно-лесотипологических условий конкретных территорий для создания лесных культур смешанного породного состава с преобладанием ели можно использовать липу, дуб, а также хвойные породы — сосну,

лиственницу. Закладку лесных культур смешанного породного состава можно осуществлять по схемам, подобным используемым при комбинированном лесовозобновлении. При этом учитывается положительный, и особенно отрицательный, прошлый опыт создания таких культур, поскольку выращивание их гораздо сложнее, чем чистых или близких к чистым ельников. Это связано с разной интенсивностью роста перечисленных и других лесобразующих пород, а также небольшой теневыносливостью таких ценных пород, как сосна и дуб, которые при отсутствии необходимого четкого по срокам метода интенсивности ухода, будут утрачены.

Таким образом, для создания насаждений в условиях Национального парка «Лосиный остров», наилучшим образом соответствующих целевому назначению лесов, в качестве главных пород следует использовать сосну, ель, липу, дуб,

Рекомендуемые типы лесных культур в областной части Национального парка «Лосиный остров»

Recommended types of forest crops in the district part of «Losiny Ostrov» National Park

Тип лесорастительных условий	Порода	Возраст посадочного материала, лет	Густота посадки, шт./га	Схема смешения пород	Проект лесных культур:			
					основной		альтернативный	
					кол-во участков, шт.	площадь, га	кол-во участков, шт.	площадь, га
Особо охраняемая зона								
В2, В3, С2, С3	Сосна обыкновенная	Саженьцы, 3 года	3000	С-С-С-Е, чистыми рядами	8	12,12	3	2,97
	Ель европейская	Саженьцы, 3–4 года	1000					
С2, С3	Ель европейская	Саженьцы, 3–4 года	3000	Е-Е-Е-Лп, чистыми рядами	4	28,82	7	10,68
	Липа мелколистная	Сеянцы, 2 года	1000					
В2, В3, С2, С3	Сосна обыкновенная	Саженьцы, 3 года	2000	С-Д-С-Д, чистыми рядами	–	–	3	3,63
	Дуб черешчатый	Саженьцы, 3 года	2000					
В2, В3, С2, С3	Сосна обыкновенная	Саженьцы, 3 года	2000	С-С-Е-Е, чистыми рядами	3	4,11	3	5,87
	Ель европейская	Саженьцы, 3–4 года	2000					
В2, В3, С2, С3	Сосна обыкновенная	Саженьцы, 3 года	2000	С-Е-С-Е, чистыми рядами	2	3,01	2	2,46
	Ель европейская	Саженьцы, 3–4 года	2000					
В2, В3, С2, С3	Сосна обыкновенная	Саженьцы, 3 года	2400	С-С-С-Лп-Лп, чистыми рядами	1	0,64	2	2,76
	Липа мелколистная	Сеянцы, 2 года	1600					
В2, В3, С2, С3	Сосна обыкновенная	Саженьцы, 3 года	4000	С-С-С-С, чистыми рядами	4	4,49	–	–
С2, С3	Ель европейская	Саженьцы, 3–4 года	4000	Е-Е-Е-Е, чистыми рядами	3	5,22	5	30,04

Окончание таблицы

Тип лесорастительных условий	Порода	Возраст посадочного материала, лет	Густота посадки, шт./га	Схема смешения пород	Проект лесных культур:			
					основной		альтернативный	
					кол-во участков, шт.	площадь, га	кол-во участков, шт.	площадь, га
Рекреационная зона								
В2, В3, С2, С3	Дуб черешчатый	Саженьцы, 3 года	833	Д-Лп-Д-Лп, чистыми рядами	4	3,32	5	5,87
	Липа мелколистная	Сеянцы, 2 года	833					
С2, С3	Вяз обыкновенный	Саженьцы, 3 года	1250	Вз-Вз-Вз-Лп, чистыми рядами	-	-	1	1,89
	Липа мелколистная	Сеянцы, 2 года	417					
В2, В3, С2, С3	Дуб черешчатый	Саженьцы, 3 года	1250	Д-Д-Д-Лп, чистыми рядами	1	0,2	3	5,29
	Липа мелколистная	Сеянцы, 2 года	417					
В2, В3, С2, С3	Лиственница европейская	Саженьцы, 3 года	1667	Лц-Лц-Лц-Лц, чистыми рядами	-	-	3	2,71
В2, В3, С2, С3	Сосна обыкновенная	Саженьцы, 3 года	833	С-Д-Д-С, чистыми рядами	3	2,87	7	13,58
	Дуб черешчатый	Сеянцы, 2 года	833					
В2, В3, С2, С3	Сосна обыкновенная	Саженьцы, 3 года	1000	С-С-С-Лп-Лп, чистыми рядами	7	5,35	5	3,27
	Липа мелколистная	Сеянцы, 2 года	667					
С2, С3	Липа мелколистная	Сеянцы, 2 года	1667	Лп-Лп-Лп-Лп, чистыми рядами	6	8,64	8	6,79
В2, В3, С2, С3	Сосна обыкновенная	Саженьцы, 3 года	1250	С-С-С-Лп, чистыми рядами	12	20,01	1	0,99
	Липа мелколистная	Сеянцы, 2 года	417					

лиственницу. В качестве сопутствующих пород в создаваемых смешанных культурах могут быть приняты вяз и ясень. Схемы смешения и густота посадки должны соответствовать функциональным зонам. В рекреационной зоне нецелесообразно применять густоту посадки более 2 тыс. шт./га, поскольку при редкой посадке насаждения более комфортны для отдыха населения. В особо охраняемой зоне целесообразно создавать культуры с густотой посадки 3–4 тыс. шт./га. Учитывая характерный для «Лосинового острова» густой травяной покров, быстро образующийся на вырубках, в качестве посадочного материала хвойных и твердолиственных пород следует использовать саженьцы. При посадке необходимо учитывать условия местопроизрастания. Вблизи водных объектов, в условиях, где происходит постоянное или временное переувлажнение, посадку осуществляют в плужные гребни. На хорошо

дренированных участках, особенно в условиях местопроизрастания В2/С2, посадку проводят в борозды.

Для участков, назначенных в сплошную санитарную рубку, нами предложены 16 типов лесных культур, по 8 для особо охраняемой и рекреационной зон (таблица). Для рекреационной зоны рекомендована редкая посадка с расстоянием между рядами культур 3,0 м и между растениями в ряду 2,0 м, при этом густота культур составит 1667 шт./га. Для особо охраняемой зоны целесообразна более густая посадка с расстоянием между рядами 2,5 м и в ряду 1,0 м, густота культур будет равна 4 тыс. шт./га. Учитывая характерный для «Лосинового острова» густой напочвенный покров, посадку целесообразно проводить саженьцами. Это облегчит уход за культурами в первые годы после посадки и позволит сократить период до смыкания крон деревьев.

Для каждого участка предложено по 2 проекта лесных культур: основной и альтернативный (см. таблицу). В качестве главных пород в особо охраняемой зоне приняты сосна обыкновенная и ель европейская, в рекреационной зоне предполагается большее участие лиственных пород, прежде всего дуба черешчатого и липы мелколистной.

Таким образом, выбор целевой породы и структура формирующихся насаждений зависит от функционального зонирования национального парка и типа лесорастительных условий. В системе лесоводственных мероприятий в фазах молодняка и жердняка необходимо предусмотреть огораживание создаваемых лесных культур от копытных-дендрофагов, своевременный уход за лесом и использование потенциала естественного возобновления.

Выводы

1. Выбор главной породы, состав и структура искусственных насаждений, создаваемых на землях особо охраняемой природной территории, определяются комплексом факторов. Первостепенное значение имеет целевое назначение лесов в пределах функциональных зон, а также эдафические и гидрологические условия участков, отводимых под лесные культуры. Главными требованиями к защитным лесам являются их устойчивость и долговечность, что соответствует смешанным по составу и сложным по структуре насаждениям.

2. В пределах рекреационной зоны целесообразно создавать редкие лесные культуры с густотой посадочных мест не более 2 тыс. шт./га, поскольку при редкой посадке насаждения более комфортны для отдыха населения. В особо охраняемой зоне имеет смысл создавать культуры с густотой посадки 3–4 тыс. шт./га.

3. В системе лесоводственных мероприятий в фазах молодняка и жердняка необходимо предусмотреть огораживание создаваемых лесных культур от копытных, регулирование их численности и организация подкормки. Эти мероприятия особенно необходимы с учетом специфики Национального парка «Лосиный остров», окруженного урбанизированными территориями, препятствующими миграции животных. Необходимы также своевременные уходы за лесом и использование потенциала естественного возобновления.

Список литературы

- [1] Мерзленко М.Д., Мельник П.Г., Сухоруков А.С. Лесоводственная экскурсия в Лосиный Остров. М.: МГУЛ, 2008. 128 с.
- [2] Беднова О.В., Кузнецов В.А. Эффективность экологических функций лесной экосистемы в границах современного мегаполиса // Матер. XVII Междунар. науч.-практ. конф. «Проблемы озеленения крупных городов». М.: ВДНХ, 2016. С. 22–27.
- [3] O'Neil K. The international politics of national parks // *Human Ecology*, 1996, no. 24(4), pp. 521–539.
- [4] Attiwill P.M. The disturbance of forest ecosystems: The ecological basis for conservative management // *Forest Ecology and Management*, 1994, no. 63, pp. 247–300.
- [5] Почвы заповедников и национальных парков Российской Федерации / под ред. Г.В. Добровольского, отв. ред. О.В. Черновой. М.: НИА-Природа — Фонд «Инфосфера», 2012. 478 с.
- [6] Шенников А.П. Общие замечания к методике маршрутного геоботанического исследования // *Методика полевых геоботанических исследований*. М.; Л.: Изд-во АН СССР, 1938. С. 5–26.
- [7] Абатуров А.В., Кочевая О.В., Янгутов А.И. 150 лет Лосиноостровской лесной даче. М.: Аслан, 1997. 228 с.
- [8] Замолодчиков Д.Г., Краев Г.Н. Влияние изменений климата на леса России: зафиксированные воздействия и прогнозные оценки // *Устойчивое лесопользование*, 2016. № 4. С. 23–31.
- [9] Kokorin A.O., Nazarov I. The analysis of growth parameters of Russian boreal forests warming, and its use in carbon budget model // *Ecological modeling*, 1995, v. 82, pp. 139–150.
- [10] Pommerening A. Transformation to continuous cover forestry in a changing environment // *Forest Ecology and Management*, 2006, v. 224, pp. 227–228.
- [11] Seabrook L., McAlpine C.A., Bowen M.E. Restore, repair or reinvent: Options for sustainable landscapes in a changing climate // *Landscape and Urban Planning*, 2011, v. 100, pp. 407–410.
- [12] *Urban Ecology. An International Perspective on the Interaction Between Humans and Nature*. Springer Science + Business Media, LLC, 2008. 807 p.
- [13] Yue T.X., Fan Z.M., Chen C.F. Surface modelling of global terrestrial ecosystems under three climate change scenarios // *Ecological Modelling*, 2011, v. 222, no. 14, pp. 2342–2361.
- [14] Стоноженко Л.В., Коротков С.А., Киселева В.В. Тенденции естественного возобновления в хвойно-широколиственных лесах (на примере Щелковского учебно-опытного лесхоза, национальных парков «Лосиный остров» и «Угра») // *Актуальные направления научных исследований XXI века: теория и практика*, 2017. Т. 5. № 1 (27). С. 116–119.
- [15] Коротков С.А., Киселева В.В., Стоноженко Л.В., Иванов С.К., Найденова Е.В. О направлении лесообразовательного процесса в северо-восточном Подмосковье // *Лесотехнический журнал*, 2015. Т. 5. № 3 (19). С. 41–54.
- [16] Киселева В.В., Койнов А.Д. Применение ГИС для оценки запасов древесно-веточных кормов и расчетов допустимой плотности популяции копытных // *Аэрокосмические методы и геоинформационные технологии в лесоведении, лесном хозяйстве и экологии: доклады VII Всерос. конф.* М.: Изд-во ЦЭПЛ РАН, 2019. С. 133–134.
- [17] Lindbladh M., Axelsson A.-L., Hultberg T., Brunet J., Felton A. From broadleaves to spruce — the borealization of southern Sweden // *Scand. J. For. Res.*, 2014, v. 29(7), pp. 686–696.
- [18] Spiecker H., Hansen J., Klimo E., Skovsgaard J.P., Sterba H., von Teuffel K. Norway Spruce Conversion — Options and Consequences // *European Forest Institute Research Report*, v. 18. Leiden, Boston, Köln, 2004, p. 269.
- [19] Hansen J., Spiecker H. Conversion of Norway spruce (*Picea abies* [L.] Karst.) forests in Europe // *Restoration of Boreal and Temperate Forests*. Ed. J.A. Stanturf. Boca Raton: CRC Press, 2015, ch. 17, pp. 355–364.
- [20] Мерзленко М.Д., Бабич Н.А. Лесоводство. Искусственное лесовосстановление. М.: Юрайт, 2019, 184 с.

- [21] Лосицкий К.Б., Чуенков В.С. Эталонные леса. М.: Лесная пром-сть, 1980. 192 с.
- [22] Гревцова В.В. Особенности подбора древесных растений для формирования культур фитоценозов с участием дуба черешчатого в Московском регионе // Проблемы ботаники Южной Сибири и Монголии, 2020. Т. 19. № 2. С. 194–197.
- [23] Высоцкий Г.Н. Избранные труды. М.: Сельхозгиз, 1960. 435 с.
- [24] Ecological basis of agroforestry. Ed. D.R. Batish. Boca Raton, FL USA: CRC Press, 2008, v. XV, p. 382.
- [25] Restoration of Boreal and Temperate Forests. Ed. John A. Stanturf. Boca Raton, FL USA: CRC Press, 2015, 561 p.
- [26] Желдак В.И. Формационно-лесотипологические приоритетно-целевые системы лесоводственных мероприятий. М.: Изд-во ВНИИЛМ, 2010. 228 с.
- [27] Коротков С.А. Особенности формирования ельников в условиях антропогенного стресса (на примере лесов Клинско-Дмитровской гряды): дис. ... канд. биол. наук. М., 1998. 24 с.

Сведения об авторах

Коротков Сергей Александрович — кандидат биол. наук, доцент МГТУ им. Н.Э. Баумана (Мытищинский филиал), Skorotkov-71@mail.ru

Глазунов Юрий Борисович — канд. с.-х. наук, вед. науч. сотр., заведующий лабораторией лесоводства и биологической продуктивности, Институт лесоведения РАН, root@ilan.ras.ru

Барсуков Лев Евгеньевич — МГТУ им. Н.Э. Баумана (Мытищинский филиал), Skorotkov-71@mail.ru

Поступила в редакцию 20.02.2021.

Принята к публикации 15.03.2021.

HISTORICAL DYNAMICS AND TRENDS IN FORMATION OF «LOSINY OSTROV» NATIONAL PARK FORESTS

S.A. Korotkov^{1, 2}, Yu.B. Glazunov², L.E. Barsukov²

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

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

Skorotkov-71@mail.ru

In the district part of «Losynyi Ostrov» National Park the state of plantations bound for clear sanitary felling based on the results of an earlier forest pathological survey was studied. 58 plots with a total area of 98,8 hectares, located in the specially protected and recreational zones of the national park, were examined. «Losynyi Ostrov», which has a relatively small area, is located at the junction of the three forest-growing regions; on its territory there is a unique wetland complex of the Yauza river and its tributaries. This led to a wide variety of natural conditions. At the same time, the national park is surrounded by densely populated urbanized areas. Recommendations to create forest plantations in areas with decayed stands were made, being based on the analysis of the historical experience of creating artificial plantations in «Losynyi Ostrov», edaphic and hydrological conditions, as well as considering the designated purpose of forests within each functional zone. 8 variants of forest cultures are proposed for each functional zone. The main and alternative crop options at each site are considered. The substantiation of the species range and the stand composition of pure and mixed crops, which are determined taking into account the designated purpose of forests, the potential of the forest growing conditions of the site, the type of forest, the type of soils and their moisture content, are given. Taking into account the designated purpose of forests, perennial tree species that are resistant to adverse environmental factors and are capable of forming in the future highly productive, recreationally attractive and long-lived plantations, corresponding to the historically formed natural environment of the national park, are preferable. Pine, spruce, linden, oak and larch are suggested as the main species, accompanied with elm and ash. It is concluded that the density of planting crops of more than 2 thousand pieces/ha in the recreational zone is impractical, since such plantings will be more comfortable for recreation. In a specially protected area, the appropriate planting density is 3–4 thousand pieces/ha.

Keywords: forest dynamics, species composition changes, national park Losynyi ostrov, reforestation

Suggested citation: Korotkov S.A., Glazunov Yu.B., Barsukov L.E. *Istoricheskaya dinamika i tendentsii formirovaniya lesov natsional'nogo parka «Losinyi ostrov»* [Historical dynamics and trends in formation of «Losinyi ostrov» National Park forests]. *Lesnoy vestnik / Forestry Bulletin*, 2021, vol. 25, no. 3, pp. 5–13. DOI: 10.18698/2542-1468-2021-3-5-13

References

- [1] Merzlenko M.D., Mel'nik P.G., Sukhorukov A.S. *Lesovodstvennaya ekskursiya v Losinyi ostrov* [Silvicultural excursion to Losinyi ostrov]. Moscow: MSFU, 2008, 128 p.
- [2] Bednova O.V., Kuznetsov V.A. *Effektivnost' ekologicheskikh funktsiy lesnoy ekosistemy v granitsakh sovremennoy megapolisa* [Efficiency of ecological functions of a forest ecosystem within the boundaries of a modern megalopolis]. *Materialy XVII Mezhdunarodnoy nauchn.-prakt. konf. «Problemy ozeleneniya krupnykh gorodov»* [Materials of the XVIIth International scientific-practical. conf. «Problems of greening large cities»]. Moscow, VДNY Publ., 2016, pp. 22–27.

- [3] O'Neil K. The international politics of national parks. *Human Ecology*, 1996, no. 24(4), pp. 521–539.
- [4] Attiwill P.M. The disturbance of forest ecosystems: The ecological basis for conservative management. *Forest Ecology and Management*, 1994, no. 63, pp. 247–300.
- [5] Pochvy zapovednikov i natsional'nykh parkov Rossiyskoy Federatsii [Soils of reserves and national parks of the Russian Federation]. Ed. G.V. Dobrovolsky, otv. ed. O.V. Rough. Moscow: NIA-Priroda-Fond «Infosfera», 2012, 478 p.
- [6] Shennikov A.P. Obshchie zamechaniya k metodike marshrutnogo geobotanicheskogo issledovaniya [General remarks to the method of route geobotanical research]. *Metodika polevykh geobotanicheskikh issledovaniy* [Method of field geobotanical research]. Moscow–Leningrad: Publishing house of the Academy of Sciences of the USSR, 1938, pp. 5–26.
- [7] Abaturov A.V., Kochevaya O.V., Yangutov A.I. *150 let Losinoostrovskoy lesnoy dache* [150 years of Losinoostrovskaya forest dacha]. Moscow: Aslan, 1997, 228 p.
- [8] Zamolodchikov D.G., Kraev G.N. Vliyanie izmeneniy klimata na lesa Rossii: zafiksirovannyye vozdeystviya i prognozyne otsenki [The impact of climate change on Russian forests: recorded impacts and predictive estimates]. *Ustoychivoe lesopol'zovanie* [Sustainable forest management], 2016, no. 4, pp. 23–31.
- [9] Kokorin A.O., Nazarov I. The analysis of growth parameters of Russian boreal forests warming, and its use in carbon budget model. *Ecological modeling*, 1995, v. 82, pp. 139–150.
- [10] Pommerening A. Transformation to continuous cover forestry in a changing environment. *Forest Ecology and Management*, 2006, v. 224, pp. 227–228.
- [11] Seabrook L., Mcalpine C.A., Bowen M.E. Restore, repair or reinvent: Options for sustainable landscapes in a changing climate. *Landscape and Urban Planning*, 2011, v. 100, pp. 407–410.
- [12] *Urban Ecology. An International Perspective on the Interaction Between Humans and Nature*. Springer Science + Business Media, LLC, 2008, 807 p.
- [13] Yue T.X., Fan Z.M., Chen C.F. Surface modelling of global terrestrial ecosystems under three climate change scenarios. *Ecological Modelling*, 2011, v. 222, no. 14, pp. 2342–2361.
- [14] Stonozhenko L.V., Korotkov S.A., Kiseleva V.V. *Tendentsii estestvennogo vozobnovleniya v khvoynno-shirokolistvennykh lesakh (na primere Shchelkovskogo uchebno-opytного leskhozа, natsional'nykh parkov «Losinyy ostrov» i «Ugra»)* [Trends in natural regeneration in coniferous-broad-leaved forests (on the example of the Shchelkovo educational and experimental forestry enterprise, the Losiny ostrov and Ugra national parks)]. *Aktual'nye napravleniya nauchnykh issledovaniy XXI veka: teoriya i praktika* [Actual directions of scientific research of the XXI century: theory and practice], 2017, v. 5, no. 1 (27), pp. 116–119.
- [15] Korotkov S.A., Kiseleva V.V., Stonozhenko L.V. Ivanov S.K., Naydenova E.V. *O napravlenii lesobrazovatel'nogo protsessа v severo-vostochnom Podmoskov'e* [On the direction of the forest-forming process in the northeastern Moscow region]. *Lesotekhnicheskii zhurnal* [Forestry journal], 2015, v. 5, no. 3 (19), pp. 41–54.
- [16] Kiseleva V.V., Koynov A.D. *Primenenie GIS dlya otsenki zapasov drevesno-vetochnykh kormov i raschetov dopustimoy plotnosti populyatsii kopytnykh* [The use of GIS for assessing stocks of woody and branch fodder and calculating the permissible population density of ungulates]. *Aerokosmicheskie metody i geoinformatsionnye tekhnologii v lesovedenii, lesnom khozyaystve i ekologii: doklady VII Vserossiyskoy konferentsii* [Aerospace methods and geoinformation technologies in forestry, forestry and ecology: reports of the VII All-Russian conference]. Moscow: TsEPL RAN, 2019, pp. 133–134.
- [17] Lindbladh M., Axelsson A.-L., Hultberg T., Brunet J., Felton A. From broadleaves to spruce — the borealization of southern Sweden. *Scand. J. For. Res.*, 2014, v. 29(7), pp. 686–696.
- [18] Spiecker H., Hansen J., Klimo E., Skovsgaard J.P., Sterba H., von Teuffel K. *Norway Spruce Conversion — Options and Consequences*. European Forest Institute Research Report, v. 18. Leiden, Boston, Köln, 2004, p. 269.
- [19] Hansen J., Spiecker H. *Conversion of Norway spruce (Picea abies [L.] Karst.) forests in Europe. Restoration of Boreal and Temperate Forests*. Ed. J.A. Stanturf. Boca Raton: CRC Press, 2015, ch. 17, pp. 355–364.
- [20] Merzlenko M.D., Babich N.A. *Lesovodstvo. Iskusstvennoe lesovosstanovlenie* [Forestry. Artificial reforestation]. Moscow: Yurayt, 2019, 184 p.
- [21] Lositskiy K.B., Chuenkov V.S. *Etalonnye lesа* [Reference scaffolding]. Moscow: Lesnaya promyshlennost' [Timber industry], 1980, 192 p.
- [22] Grevtsova V.V. *Osobennosti podbora drevesnykh rasteniy dlya formirovaniya kul'tur fitotsenozov s uchastiem dubа chereschatogo v Moskovskom regione* [Features of the selection of woody plants for the formation of cultural phytocenoses with the participation of pedunculate oak in the Moscow region]. *Problemy botaniki Yuzhnoy Sibiri i Mongolii* [Problems of Botany of Southern Siberia and Mongolia], 2020, v. 19, no. 2, pp. 194–197.
- [23] Vysotskiy G.N. *Izbrannye trudy* [Selected Works]. Moscow: Selkhozgiz, 1960, 435 p.
- [24] *Ecological basis of agroforestry*. Ed. D.R. Batish. Boca Raton, FL USA: CRC Press, 2008, v. XV, p. 382.
- [25] *Restoration of Boreal and Temperate Forests*. Ed. John A. Stanturf. Boca Raton, FL USA: CRC Press, 2015, 561 p.
- [26] Zheldak V.I. *Formatsionno-lesotipologicheskie prioritno-tselevyye sistemy lesovodstvennykh meropriyatiy* [Formation-forest typological priority-target systems of silvicultural activities]. Moscow: VNIILM, 2010, 228 p.
- [27] Korotkov S.A. *Osobennosti formirovaniya el'nikov v usloviyakh antropogennogo stressа (na primere lesov Klinsko-Dmitrovskoy gryady)* [Features of the formation of spruce forests under anthropogenic stress (on the example of the forests of the Klinsko-Dmitrovskaya ridge)]. *Diss. Cand. Sci. (Biol.)*. Moscow, 1998, 24 p.

Authors' information

Korotkov Sergey Aleksandrovich — Cand. Sci. (Biology), Associate Professor of the BMSTU (Mytishchi branch), Skorotkov-71@mail.ru

Glazunov Yuriy Borisovich — Cand. Sci. (Agriculture), Leading Researcher, Head of the Laboratory of Forestry and Biological Productivity, Forest Science Institute RAS, root@ilan.ras.ru

Barsukov Lev Evgenevich — BMSTU (Mytishchi branch), Skorotkov-71@mail.ru

Received 20.02.2021.

Accepted for publication 15.03.2021.

УДК 581.5

DOI: 10.18698/2542-1468-2021-3-14-23

СТРУКТУРА ДРЕВОСТОЕВ ЕСТЕСТВЕННОГО ФОРМИРОВАНИЯ НА ВЫРУБКАХ ДУБОВЫХ ЛЕСОВ XIX В. (ФИЛИАЛ ТЕЛЛЕРМАНОВСКОЕ ОПЫТНОЕ ЛЕСНИЧЕСТВО ИЛАН РАН)

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

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

lesoved@mail.ru

Приведены архивные сведения о составе древостоев Теллермановского опытного лесничества ИЛАН РАН, сформировавшихся естественным путем на вырубках спелых древостоев конца XIX в. в дубраве нагорной и проведенных в них лесохозяйственных уходах. На пробных площадях в таких древостоях изучены породный, ярусный состав древостоев, рассчитаны объемные и количественные показатели состава древесных пород и древостоев и определена приоритетность присутствия различных пород в формировании ярусной структуры древостоев. Установлены состояние всех древесных пород, найдены количественные показатели естественного возобновления, характеристики которого объясняют породную структуру древостоев, появляющихся на площади сплошных рубок спелых древостоев. Показано, что после проведенных в конце XIX в. сплошных рубок спелых дубовых древостоев сформировались смешанные лиственные леса из ясеня, клена остролистного, липы и вяза преимущественно сложной вертикальной структуры без участия (или с малым участием) дуба в составе с густым подростом из тех же пород и полным отсутствием подроста дуба. Учеты состояния основных древесных пород позволили выявить наивысшие баллы ослабления у деревьев дуба, наименьшие — у деревьев ясеня и клена остролистного. Метод воспроизводства дубовых лесов от пней, оставшихся после сплошных рубок спелых древостоев, оказался полностью несостоятельным, его применение обусловило сокращение площадей дубовых лесов, утрату генофонда ценной породы и изменение коренного биоразнообразия природных лесных экосистем лесостепи.

Ключевые слова: дубовые древостои, сплошные рубки, естественное формирование древостоев, количество и объемы деревьев, воспроизводство дубовых лесов

Ссылка для цитирования: Стороженко В.Г., Чеботарев П.А., Чеботарева В.В. Структура древостоев естественного формирования на вырубках дубовых лесов XIX в. (Филиал Теллермановское опытное лесничество ИЛАН РАН) // Лесной вестник / Forestry Bulletin, 2021. Т. 25. № 3. С. 14–23. DOI: 10.18698/2542-1468-2021-3-14-23

Дубовые леса зоны лесостепи — уникальные по выполнению экосистемных, природоохранных, социальных, хозяйственных функций лесные сообщества, которые поддерживают биоразнообразие природных комплексов, сохраняющих генофонд ценнейшей породы. В то же время примерно с середины XX в. определились тенденции интенсификации процессов усыхания дуба и трансформации дубовых древостоев в лиственные без его участия. Прогрессирующими темпами нарастали угрозы сокращения площадей дубовых древостоев и участия породы в составе насаждений [1–10]. Проблема обсуждается с разных позиций и в том числе исходя из возможности формирования дубовых древостоев естественным возобновлением от пней срубленных деревьев, оставшихся после рубок спелых древостоев. Этот метод воспроизводства древостоев широко используется многими лесохозяйственными организациями как самый малозатратный при нынешнем финансировании лесной отрасли. Оценке эффективности создания древостоев с приемлемым для экологических и хозяйственных нужд присутствием дуба в составе формирующихся естественным путем древостоев посвящена настоящая работа.

Дубовые леса лесостепной зоны еще с допетровских времен представляли собой древостои с участием дуба до 5(6) единиц в составе, а фрагментами почти чистые дубовые леса. По данным лесоустройства Борисоглебского лесничества 1938 г., которое располагало архивными материалами лесоустройств конца XIX в., дубрава имела в среднем состав 5(6)Д2(3)Лп2(3)Яс(Кло) [11]. Признавалось, что примерно такой или с еще большим участием дуба в формуле древостоев состав дубрав был во времена Петра I, который своим именованным указом оберегал дубравы этого региона для нужд корабельного строительства и отдавал под рубки только породы второго яруса — спутники дуба: ясень, клен, липу [12]. Предполагалось, что вышеуказанный состав дубовых лесов просуществовал до 1876 г. Но с этого периода Лесным департаментом России были разрешены сплошные рубки дубовых лесов. С 1880 по 1886 гг. сплошными рубками целыми кварталами (1050×1050 м) было срублено 13 кварталов лесничества. С 1886 по 1905 гг. также сплошными рубками полос 210×105 м с расположением делянок длинной стороной с запада на восток вырублены еще 7 кварталов. Таким образом, значительная часть

древостоев Теллермановского леса в настоящих границах Теллермановского опытного лесничества была вырублена в относительно короткий период времени. По сведениям того же лесоустройства, агро- и лесохозяйственные уходы за порослевым возобновлением дуба на лесосеках не проводились, и площади оставались на самозаращивание. По прошествии более 130 лет на площадях сплошных рубок естественным путем сформировались древостои с различными лесоводственными характеристиками, структура которых представляет значительный интерес как показатель процессов смены пород при естественном ходе зарастания лесосек. Некоторые из сформированных на этих рубках древостои представлены в настоящей работе.

Цель работы

Цель работы — изучение породной, санитарной, возобновительной структур и объемных показателей древостоев, сформировавшихся естественным путем на площадях сплошных рубок спелых древостоев конца XIX в., на основе полученных данных оценка возможности формирования древостоев с высоким присутствием дуба в составе насаждений при естественном зарастании рубок спелых древостоев, проведение сравнительного анализа запасов древостоев, представленных данными последнего лесоустройства [15], исчисленных по методу круговых реласкопических площадок [13], и данными натурных исследований 2020 г., рассчитанных по таблицам [14].

Объекты и методы исследований

В качестве объектов исследований приняты древостои естественного происхождения с различным участием дуба в составе формул насаждений, сформировавшихся естественным путем от пней вырубленного древостоя на сплошных лесосеках дубовых лесов в конце XIX в. в кв. 7 и кв. 60. В целях детальных учетов запасов, породной, горизонтальной, возобновительной структур и состояния древостоев для анализа приняты две пробные площади в кв. 7 выд. 1 — ПП 1(1) и ПП 1(2), выд. 4 — ПП 3 и в кв. 60 выд. 2 — ПП 4. Кроме того, дополнительно в кв. 7 выд. 1, для подтверждения неравномерности изъятия дуба при проведении рубок ухода в этих древостоях, приводятся данные ведомостей материально-денежной оценки лесосек, содержащих сведения о сортиментном и породном составе полученной лесопроодукции на делянках сплошных рубок спелых древостоев в кв. 7 — делянки 2, 4–11. По результатам этой оценки вычислены составы срубленных древостоев по количеству деревьев.

На пробных площадях детального учета проводился сплошной пересчет деревьев по породам, диаметрам, категориям состояния [16], отношению к определенному ярусу в составе древостоя. Проводился учет благонадежного естественного возобновления всех пород по грациям высоты через 0,5 м. В камеральный период определялся состав древостоев по количеству деревьев и по их объемам, экспериментальные данные по запасам древостоев сравнивались с данными таксационных описаний древостоев [15]. Объемные показатели деревьев и древостоев исчислялись по таблицам высот и диаметров [14]. Разряды высот для всех пород деревьев согласовывались с таковыми по документам последнего лесоустройства [15]. Для различных выделов они различны. В частности, для древостоя выдела 1: дуб — 2-й разряд высот, ясьень — 1-й, клен остролистный — 3-й, липа — 2-й, клен полевой и вяз — 3-й разряд высот; для выдела 4 разряды высот: дуб — 2-й, ясьень — 2-й, клен остролистный — 3-й, липа — 2-й, клен полевой и вяз — 3-й. Те же разряды высот применялись для исчисления запасов древостоев при лесоустройстве Теллермановского опытного лесничества 2016 г.

Результаты и обсуждение

Состав естественного древостоя, возобновившегося после сплошной рубки на всей площади кв. 7 имел вид 5Яс2Лп2Вз1Д. Значительно позже (в 1947, 1949, 1956, 1963, 1996 гг.) в различных частях кв. 7 были проведены проходные и выборочные санитарные рубки разной интенсивности с выборкой разного количества деревьев дуба и других лиственных пород, в результате чего в процессе лесоустройства 1978 г. древостои кв. 7 были разделены на четыре выдела с разным представительством дуба в составе (табл. 1).

При анализе данных табл. 1 настораживают данные запасов древостоев, взятых из таксационных описаний 1938 и 2016 гг., т. е., по прошествии 88 лет запасы древостоев почти не изменились, что, скорее всего, маловероятно, даже если учитывать проведенные за этот период рубки ухода. Этот факт подтверждают и данные натурных расчетов запасов древостоев 2016 г. (табл. 2).

Данные таксационных описаний по составу пород в древостоях описывают текущее соотношение пород в объемных величинах в формуле насаждений. Состав древостоя в длительной перспективе можно представить значительно показательнее по соотношению числа стволов различных пород, слагающих древостой.

По результатам расчетов объемов стволов и количества деревьев всех пород определены составы древостоев на ПП.

Т а б л и ц а 1

**Лесоводственные характеристики древостоев пробных площадей
по таксационным описаниям разных периодов таксации**

**Silvicultural characteristics of trial plot stands according
to taxation descriptions of different taxation periods**

Квартал – выдел	Год лесоустройства	Возраст	Состав	Тип леса	Бонитет	Полнота	Запас на 1 га, м ³ /га	Рубки ухода
7–1(1)	1938	55	5Яс2Лп2Вз1Д	Ясн	II	0.8	220	Уходов нет
	2016	140	4Яс2Д2Кло2Лп	Ясно	II		220	ПРХ-1947, 1949, 1956, 1963, 1996; ВСП-2000, 2007, 2008
7–1(2)	1938	55	5Яс2Лп2Вз1Д	Ясн	II	0.8	220	Уходов нет
	2016	140	4Яс2Д2Кло2Лп	Ясно	II		220	ПРХ-1947, 1949, 1956, 1963, 1996; ВСП-2000, 2007, 2008
7–4	1938	55	5Яс2Лп2Вз1Д	Ясн			220	Уходов нет
	2016	140	7Д2Яс1Лп+Кло	Дсн	II	0.7	290	ПРХ-1947, 1949, 1956, 1963, 1996; ВСП-2000, 2007, 2008
60–2	1938	55	5Яс2Кло1Д1Вз1Лп	Ясно	II	0.7	220	Уходов нет
	2016	140	5Яс2Д2Лп1Кло	Ясно	II	0.7	250	Намечена ВР – 30 %

Примечание. Ясн — ясненник снытьевый, Ясно — ясненник снытьево-осоковый, Дсн — дубняк снытьевый, ПРХ — проходные рубки, ВСП — выборочные санитарные рубки, ВР — выборочная рубка.

Т а б л и ц а 2

Объем и количество деревьев основных пород на пробных площадях, заложенных в выделах кварталов 7 и 60, вычисленный по сортиментным таблицам, принятым в лесоустройстве

**The volume and number of trees of the main species on the trial plots laid down in the allotments
of quarters 7 and 60, calculated according to the assortment tables used in forestry**

Квартал – выдел	Основные породы деревьев							Итого
	Дуб	Ясень	Клен остролиственный	Клен полевой	Липа	Вяз	Осина	
7–1(1)	–	30 – 7,3 45 – 13,6	210 – 51,2 135 – 40,9	10 – 2,4 5 – 1,5	150 – 36,6 125 – 37,9	–	10 – 2,5 20 – 6,1	330,0 410
	26,7 – 3,7 66,7 – 14,2	80 – 11,1 213,3 – 45,3	453,3 – 63,0 73,3 – 15,6	26,7 – 3,7 2,0 – 0,4	120 – 16,7 99,0 – 21,0	–	13,3 – 1,8 16,6 – 3,5	470,9 720
7–4	126,7 – 23,2 265,7 – 54,3	60 – 11 144,1 – 29,5	280 – 51,2 62,8 – 12,8	33,3 – 6,1 2,8 – 0,6	20 – 3,6 9,0 – 1,8	26,7 – 4,9 4,5 – 1,0	–	488,9 547
	3,3 – 0,5 6,4 – 1,6	186,7 – 29,8 161,3 – 40,7	213,3 – 34,1 65,3 – 16,4	40 – 6,4 5,4 – 1,4	180 – 28,7 158,2 – 40	3,3 – 0,5 0 – 0	–	396,7 627

Примечание. В числителе — объем стволов, м³/га – %, в знаменателе — количество деревьев всех пород, шт., % в пересчете на 1 га.

Составы древостоев в выделах кварталов 7 и 60 можно представить в виде:

кв. 7 выд. 1(1)

по запасу древостоя 4Кло4Лп1Яс1Ос+Клп
по количеству деревьев 5Кло4Лп1Яс+Клп,Ос

кв. 7 выд. 1(2)

по запасу древостоя 4Яс2Лп2Кло2Д+Ос,Клп
по количеству деревьев 6Кло2Лп1Яс1Д+Клп,Ос

кв. 7 выд. 4(3)

по запасу древостоя 6Д3Яс1Кло+Лп,Вз,Клп
по количеству деревьев 5Кло2Д1Яс1Вз1Клп1Лп

кв. 60 выд. 2

по запасу древостоя 4Яс4Лп2Кло+Д Клп
по количеству деревьев 3Кло3Яс3Лп1Клп.

Полученные данные о составе древостоев пробных площадей (см. табл. 2) можно сравнивать только с данными лесоустройства 2016 г. для выдела в целом (см. табл. 1). Ни в одной из четырех пробных площадей общий запас по древостою на 1 га не соответствует запасу, определенному лесоустройством (см. табл. 1). Составы древостоев по запасам разных пород не согласуются с такими по запасам для выдела в целом (см. табл. 1).

В кв. 7 на ПП 1 выд. 1 в составе формулы древостоев по количеству деревьев дуба нет, в то время как для выдела в целом, по данным таксации в формуле по массе, он присутствует в количестве до двух единиц.

Т а б л и ц а 3

Объемы и количество деревьев основных пород в древостоях на делянках сплошных вырубок спелого древостоя кв. 7, выд. 1, сформировавшегося естественным путем в конце XIX в.

The volume and number of trees of the main species in the stands on the clear-cut plots of the mature stand sq. 7, formed naturally at the end of the 19th century

Номер делянки	Основные породы деревьев					Итого	Формулы составов древостоев по запасу, м ³ /га и количеству деревьев, шт.
	Дуб	Ясень	Клен остролистный	Осина	Липа		
2	$\frac{48-10}{106-30}$	$\frac{100-22}{126-36}$	$\frac{192-41}{48-14}$	–	$\frac{126-27}{68-20}$	$\frac{466}{348}$	$\frac{3Д4Яс2Лп1Кло}{4Кло3Лп2Яс1Д}$
4	$\frac{22-4}{68-18}$	$\frac{100-21}{142-38}$	$\frac{216-45}{72-20}$	–	$\frac{142-30}{88-24}$	$\frac{480}{370}$	$\frac{4Яс2Лп2Кло2Д}{5Кло3Лп2Яс+Д}$
5	$\frac{60-13}{142-38}$	$\frac{68-15}{104-27}$	$\frac{174-38}{58-15}$	–	$\frac{158-34}{76-20}$	$\frac{460}{380}$	$\frac{4Д3Яс2Лп1Кло}{4Кло3Лп2Яс1Д}$
6	$\frac{10-2}{26-7}$	$\frac{148-27}{204-52}$	$\frac{234-42}{70-18}$	–	$\frac{160-29}{88-23}$	$\frac{552}{388}$	$\frac{5Яс2Лп2Кло1Д}{4Кло3Яс3Лп+Д}$
7	$\frac{35-8}{93-26}$	$\frac{63-14}{102-29}$	$\frac{223-49}{60-17}$	$\frac{3-1}{3-1}$	$\frac{128-28}{95-27}$	$\frac{452}{353}$	$\frac{3Яс3Лп2Д2Кло+Ос}{5Кло3Лп1Яс1Д+Ос}$
8	$\frac{18-4}{56-15}$	$\frac{80-16}{124-34}$	$\frac{238-49}{82-23}$	$\frac{4-1}{4-1}$	$\frac{146-30}{96-27}$	$\frac{486}{362}$	$\frac{3Яс3Лп2Кло2Д+Ос}{5Кло3Лп2Яс+Д+Ос}$
9	$\frac{8-2}{28-7}$	$\frac{118-23}{176-46}$	$\frac{194-39}{60-16}$	–	$\frac{182-36}{120-31}$	$\frac{502}{384}$	$\frac{5Яс3Лп1Кло1Д}{4Кло4Лп2Яс+Д}$
10	$\frac{12-2}{36-10}$	$\frac{60-11}{96-26}$	$\frac{260-49}{108-29}$	–	$\frac{206-38}{130-35}$	$\frac{538}{370}$	$\frac{3Кло3Яс3Лп1Д}{5Кло4Лп1Яс+Д}$
11	$\frac{46-10,0}{108-29}$	$\frac{67-15}{119-32}$	$\frac{248-55}{77-21}$	–	$\frac{93-20}{64-18}$	$\frac{454}{368}$	$\frac{3Яс3Д2Кло2Лп}{6Кло2Лп1Яс1Д}$
Среднее	$\frac{29-6}{73,6-20}$	$\frac{89-18}{132,5-36}$	$\frac{220-45}{70,6-19}$	$\frac{0,8-0}{0,8-0}$	$\frac{149-31}{91,7-25}$	$\frac{487,8}{369,2}$	$\frac{4Яс2Лп2Д2Кло+Ос}{4Кло3Лп2Яс1Д+Ос}$
Ошибки средних	$\frac{9-3}{18-4}$	$\frac{10-2}{13-3}$	$\frac{27-2}{8-1}$	$\frac{1-1}{1-1}$	$\frac{10-2}{6-2}$	$\frac{8}{33}$	–

Примечание. В числителе — объем стволов, м³/га — %, в знаменателе — количество деревьев всех пород, шт., % в пересчете на 1 га

В выделе 4 того же квартала по количеству деревьев в составе древостоя дуб присутствует только двумя единицами, в то время как, по данным таксации лесоустройства 2016 г. [15], для выдела по массе он имеет семь единиц в составе (см. табл. 1). Такие расхождения могут иметь два объяснения: во-первых, более значительное присутствие дуба в древостоях (см. табл. 1) можно объяснить большим объемом деревьев этой породы по сравнению с другими породами; во-вторых — некорректными данными объема породы при определении запасов на 1 га при лесоустроительных работах методом круговых реласкопических площадок по сравнению с натурными данными [13]. Можно также отметить значительные расхождения в величинах объемов деревьев в формулах древостоев данных таксационных и натурных расчетов в отношении всех пород — спутников дуба. Для подтверждения или несостоятельности этих предположений проведен анализ отводов лесосек методом сплошного перечета деревьев по породам и диаметрам стволов на высоте 1,3 м от поверхности почвы с определением запасов по сортиментным таблицам [14].

По данным таксации, вся площадь кв. 7 была пройдена проходными рубками (шесть рубок ухода), и в итоге можно было ожидать значительно большего присутствия дуба в сформированных рубками древостоях. Однако только в выд. 4 древостой отвечает статусу дубового, в древостоях остальных двух выделов кв. 7 и в кв. 60 выд. 2 присутствие дуба не превышает двух единиц в составе, и древостой отнесен к ясеневой хозсекции. Такое положение можно объяснить, вероятно, следующими соображениями: если рубками ухода (проходными) и санитарными рубками на части кв. 7 выд. 4, примыкающей к дороге, с хорошим обзором состава древостоя удалось сформировать действительно дубовый древостой с семью единицами дуба в составе, то на большей части этого квартала (выд. 1) такая цель не ставилась и, напротив, рубки велись с различным по интенсивности изъятием дуба. Именно поэтому присутствие дуба в этом выделе крайне неравномерно по площади древостоя, но везде состав древостоя не соответствует статусу дубового.

Этот факт подтверждают данные табл. 3, в которой приведен состав древостоев, определенный

по результатам обработки ведомостей материально-денежной оценки делянок на корню, отведенных под группово-выборочные и чересполосные рубки спелых насаждений, в том же кв. 7 — делянки 2, 4–11.

По данным табл. 3 видно, что ни в одном варианте из девяти при расчете состава древостоя по количеству деревьев не сформировался древостой со статусом дубового. В основном, при естественном методе формирования на вырубках спелых древостоев от пней срубленных деревьев появляются древостои с преобладанием клена остролистного, липы и ясеня.

Дуб в составе древостоев в лучшем случае присутствует в единичном или плюсовом количестве. При расчете состава древостоев по запасу после рубок конца XIX в. сформировалось два древостоя с представительством дуба в три и четыре единицы (2-й и 5-й), но по количеству деревьев они также относятся к кленовникам. Из расчетов количества деревьев следует важный вывод для прогноза формирования древостоев, представленных выше и любых других древостоев с похожими условиями естественного формирования в недалекой перспективе — все они, за малым исключением, переформируются в лиственные без участия дуба в составе древостоев.

При этом необходимо учитывать, что все площади вырубок в кв. 7 оставались на самовозобновление и на всей площади проводились рубки ухода с разной интенсивностью изъятия дуба. Подтверждением этому служит соответствие запасов древостоев пробных площадей в кв. 7 выд. 1: от 330,0 до 470,9 м³/га (см. табл. 2) и пограничных запасов насаждений в том же квартале и выделе — от 348 до 388 м³/га (см. табл. 3). Более чем в 1,5 раза заниженные объемы древостоев, по данным лесоустройства, влекут за собой внесение изменений в проект освоения лесов при каждой подаче декларации на право рубки спелых древостоев более чем на 10 % ввиду несоответствия материалов отводов и таксационных характеристик участка в материалах лесоустройства. Можно констатировать, что представленные данные еще раз убедительно доказывают несостоятельность метода воспроизводства дуба от пней срубленных деревьев даже при значительном его количестве в составе древостоев до проведенных в них рубок спелых древостоев с составом 5(6)Д2(3)Лп2(3)Яс(Кло).

В кв. 60 после сплошной рубки конца XIX в. дуб присутствовал в составе древостоя в малом количестве, а проведенные выборочные рубки мало способствовали увеличению его запаса в составе древостоя.

Наряду с изучением породного состава древостоев, сформировавшихся естественным путем из

подроста после сплошных рубок конца XIX в., проведено изучение ярусной структуры принятых для анализа насаждений для определения приоритетности роста древесных пород за период 120 лет до возраста главной рубки в текущих период по результатам детальных учетов в кв. 7 и 60 в 2020 г. (табл. 4).

По данным табл. 4, в древостоях естественного формирования без участия в составе дуба первый ярус занимают ясень, клен и липа. В древостоях с участием в составе дуба первый ярус занимает эта порода с участием ясеня. Клен и липа занимают последующие ярусы, образуя многоярусные древостои, структура которых в целом характерна для лиственных древостоев естественного формирования лесостепной зоны. Важным показателем структуры формирующихся на сплошных вырубках спелых древостоев естественного происхождения являются характеристики их породного состава.

Для понимания перспективных изменений в составах древостоев при естественном ходе формирования следует иметь в виду текущий состав естественного возобновления (табл. 5). Учеты естественного возобновления основных лесообразующих пород проведены в двух участках детального учета древостоев естественного происхождения спелого возраста (см. табл. 5). На всех участках под пологом древостоев жизнеспособного подроста дуба выше 0,5 м не обнаружено. Он может присутствовать в виде единичных всходов 1–3 лет только на освещенных опушечных местоположениях.

Формулы состава подроста имеют следующий вид:

кв. 7 выд. 1

6Клп2Кло1Вз1Лщ + Д,Я, Клт, Лп, Брс

кв. 6 выд. 2

7Клп2Кло1Брс + Лщ,Дн,Яо, Клт,Лп, Брс

По данным табл. 5 можно сделать вывод о том, что в спелых насаждениях на богатых почвах дубравы нагорной Теллермановского опытного лесничества приоритетно возобновляемыми породами являются клен полевой и клен остролистный, хотя эти оба вида не равноценные приемники дуба в составе будущих насаждений, и особенно это касается клена полевого, не выходящего даже в первый ярус древостоев. Дуб в виде подроста присутствует единично или отсутствует вовсе.

Под пологом древостоев с полнотой 0,7–0,8 повсеместно, но с разным участием пород в составе, присутствует естественное возобновление ясеня обыкновенного, клена остролистного, липы мелколистной, клена полевого, вяза, лещины. Общее количество подроста этих пород распределено не равномерно по площади древостоев и может достигать местами 40 тыс. шт. на 1 га. Соотноше-

Т а б л и ц а 4

Вертикальное строение древостоев естественного формирования на пробных площадях после сплошных вырубок спелых древостоев конца XIX в.

Vertical structure of naturally formed stands on test plots after clear cutting of mature stands of the late 19th century

Квартал – выдел	Ярус	Распределение древесных пород по ярусам от общего количества деревьев на 1 га, %							Итого
		Дуб	Ясень	Клен остролиственный	Клен полевой	Липа	Вяз	Осина	
7–1(1)	1	–	3,6	24,1	–	9,7	–	–	37,4
	2	–	2,4	22,9	1,2	20,5	–	–	47,0
	3	–	1,2	2,4	1,2	2,4	–	–	7,2
	4	–	–	1,2	–	4,8	–	2,4	8,4
7–1(2)	1	3,7	11,1	6,5	–	9,3	–	0,9	31,5
	2	–	–	11,1	–	5,6	–	0,9	17,6
	3	–	–	34,4	1,8	1,8	–	–	38,0
	4	–	–	11,1	1,8	–	–	–	12,9
7–4	1	24,1	9,6	–	–	–	–	–	33,7
	2	–	1,2	16,9	–	1,2	1,2	–	20,5
	3	–	–	19,3	1,2	–	–	–	20,5
	4	–	–	14,5	4,8	2,4	3,6	–	25,3
60–1	1	0,6	24,2	4,9	0,6	18,7	–	–	49,0
	2	–	3,8	10,4	0,6	7,1	–	–	21,9
	3	–	1,1	18,1	6,6	3,3	–	–	29,1
	4	–	–	–	–	–	–	–	–

Т а б л и ц а 5

Состав естественного возобновления на пробных площадях детального учета в кв. 7 выд. 1, выд. 4, кв. 60 выд. 2 в пересчете на 1 га

Composition of natural regeneration on trial plots of detailed accounting in sq. 7th edition 1, 2 per 1 ha

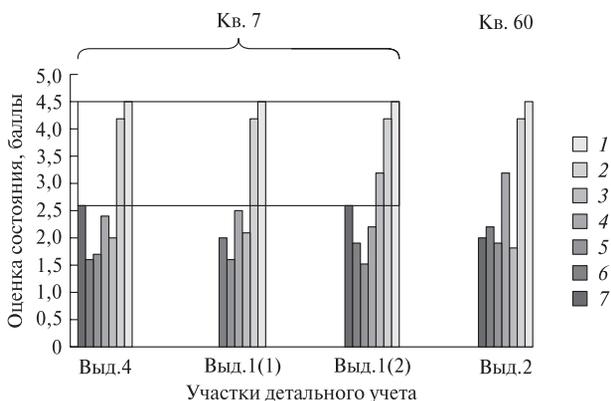
Квартал – выдел	Основные породы деревьев									
	Дуб	Ясень	Клен остролиственный	Клен полевой	Клен татарский	Вяз	Липа	Бересклет	Лещина	Итого
7–1	$\frac{50}{0,15}$	$\frac{100}{0,3}$	$\frac{5150}{15,6}$	$\frac{20050}{60,6}$	$\frac{50}{0,15}$	$\frac{1850}{5,6}$	$\frac{1400}{4,2}$	$\frac{700}{2,1}$	$\frac{3750}{11,3}$	$\frac{33100}{100}$
60–2	нет нет	$\frac{650}{1,7}$	$\frac{5800}{14,8}$	$\frac{26850}{68,6}$	нет нет	$\frac{100}{0,2}$	$\frac{150}{0,4}$	$\frac{4700}{12,0}$	$\frac{900}{2,3}$	$\frac{39150}{100}$

Примечание. В числителе — древесные породы, шт/га, в знаменателе — %.

ния пород в общей массе подроста составляют в среднем для ясеня и клена остролистного — 35 %, для клена полевого — 10, для липы — 15, для вяза — 5 %. Кроме того, под пологом древостоев в массе присутствует лещина, которая вместе с другими породами создает значительное затенение подпологового пространства, препятствующего появлению возобновления дуба. Эти данные наглядно демонстрируют положение, при котором оставление вырубок спелых древостоев под естественное зарастание неизбежно приведет к формированию смешанных лиственных древостоев без участия в их составе дуба.

В составе работ при детальных обследованиях спелых древостоев, возникших в Теллермановском опытном лесничестве ИЛАН РАН после сплошных рубок конца XIX в., проведен учет состояния деревьев, оцененный в баллах от 1 до 6 баллов [16]: 1 балл — здоровые, 2 — ослабленные, 3 — сильно ослабленные, 4 усыхающие, 5 — свежий сухостой, 6 — старый сухостой (рисунок).

Дуб из числа всех пород, слагающих первый ярус древостоев участков детальных учетов, имеет самые значительные показатели ослабления, приближающиеся к сильно ослабленным. В древостое кв. 7 выд. 1(1) дуба в составе нет. Ясень,



Оценка (в баллах) состояния древесных пород в баллах на участках детального учета, ряды:
 1 — дуб; 2 — ясень; 3 — клен остролистный; 4 — клен полевой; 5 — липа; 6 — вяз; 7 — осина

Assessment (in points) of the state of tree species in points at the sites of detailed registration, rows:
 1 — oak; 2 — ash; 3 — Norway maple; 4 — English field maple; 5 — linden; 6 — elm; 7 — aspen

клен и липа имеют близкие к норме показатели ослабления, клен полевой и вяз как породы подчиненных ярусов всегда ослаблены в наибольшей степени, а также и осина. Учет развития вторичных крон, появляющихся на основных скелетных ветвях и на стволах деревьев всех пород, выявил значительное их участие в формировании крон деревьев и поддержании их жизнеспособности: средние значения их объемов от общего для деревьев составляют у дуба — 40 %, у ясеня — 30, у клена остролистного — 41, у клена полевого — 34, у липы — 80, у вяза — 60 %. Можно утверждать, что для спутников дуба за счет формирования вторичных крон обеспечивается относительно приемлемое функционирование в составе древостоев в зоне лесостепи. Для дуба, у которого вторичные кроны формируются в основном по скелетным ветвям первичной кроны, их объема явно недостаточно для нормального функционирования деревьев, и порода постепенно деградирует в составе древостоев, сменяясь на сопутствующие породы.

Выводы

В результате проведенных в конце XIX в. сплошных рубок спелых дубовых древостоев на территории Теллермановского опытного лесничества естественным путем сформировались смешанные лиственные леса из ясеня, клена остролистного, липы и вяза в составе древостоев преимущественно сложной вертикальной структуры без участия (или с малым участием) дуба в составе, с густым подростом из тех же пород и полным отсутствием подроста дуба. Учеты состояния

основных древесных пород показали наивысшие баллы ослабления у деревьев дуба, наименьшие — у деревьев ясеня и клена остролистного.

Формирование дубового древостоя из послеуборочного возобновления от пней, оставшихся после сплошных рубок спелых древостоев, как метод воспроизводства дубовых лесов показал свою полную несостоятельность. Только интенсивными рубками ухода с высоким качеством их проведения к возрасту спелости возможно сформировать древостой с участием дуба в составе до 4–6 единиц из естественно возникших после рубок спелых насаждений. Этот широко используемый в производстве метод интенсифицирует процессы деградации дубовых лесов и трансформации их в лиственные древостои без участия дуба, способствует сокращению площадей дубовых лесов, утрате генофонда ценной породы и коренного биоразнообразия природных экосистем.

Сравнительный анализ запасов древостоев по данным таксации лесов методом круговых реласкопических площадок [13] и натуральных учетов запасов при сплошном переборе на пробных площадях с применением сортиментных таблиц [14] показал значительные расхождения в запасах древостоев, достигающие 1,5–2,0-кратных значений. В то же время согласно действующей на настоящий период лесоустроительной инструкции допустимая ошибка при определении запаса на выделе составляет $\pm 15\%$ [17].

Представленные сведения выявляют недостатки в точности таксационных учетов с помощью реласкопических площадок, что снижает качество лесоустроительных материалов.

Для объективной оценки тенденций изменения породного состава древостоев целесообразно в таксационных описаниях, наряду с формулой состава насаждения **по массе** (для оценки запасов отдельных пород при хозяйственной деятельности), приводить такую же формулу, исходя из процентного соотношения **количества** деревьев каждой породы. Такая формула необходима для оценки перспектив формирования состава (структур) древостоев при принятии решений по оптимизации мер хозяйственного воздействия до периода главной рубки.

Список литературы

- Minckler L.S. How pin oak stands respond to changes in stand density and structure // J. of Forestry, 1967, v. 65, no. 4, pp. 256–257.
- Lang G.E. Litter dynamics in a mixed Oak forest on the New Jersey Piedmont // Bull. Torrey. Bot. Club., 1974, v. 101, no. 5, pp. 277–286.
- Oleksyn J., Przybyl K. Oak decline in the Soviet Union Scale and hypotheses // Eur. J. For. Path., 1987, v. 17, pp. 321–336.

- [4] Siwecki R, Liese W. Oak decline in Europe // Proceedings of an International IUFRO Symposium, Kornik, 1990, p. 360.
- [5] Яковлев А.С. Дубравы Среднего Поволжья (история, причины деградации и современное состояние). Йошкар-Ола: Изд-во МарГТУ, 1999. 352 с.
- [6] Царалунга В.В. Деградация порослевых дубрав и их реабилитация с помощью санитарных рубок: дис. ... д-ра с.-х. наук. Брянск, 2005. 395 с.
- [7] Харченко Н.А. Деградация дубрав Центрального Черноземья. Воронеж: Изд-во ВГЛТА, 2010. 604 с.
- [8] Харченко Н.А., Харченко Н.Н. К вопросу о происхождении дубрав в Центральной лесостепи // Лесотехнический журнал, 2013. № 3 (11). С. 43–50.
- [9] 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 БелГУ, 2016. Вып. 37. № 25(246). С. 14–20.
- [10] Чеботарев П.А., Чеботарева В.В., Стороженко В.Г. Формирование полога дубового древостоя при различной интенсивности уходов за лесными культурами в зоне лесостепи (на примере Теллермановского опытного лесничества Института лесоведения РАН) // Лесоведение, 2017. № 6. С. 403–410.
- [11] Таксационное описание Борисоглебского лесничества: материалы лесоустройства. Воронеж: Изд-во Управления лесоохраны и лесонасаждений Воронежско-Курское, 1938. 244 с.
- [12] Зверев А.И. Первый лесовод России. Исток. М.: Альтаир, 2012. 120 с.
- [13] Наставления по отводу и таксации лесосек в лесах Российской Федерации. URL: <http://docs.cntd.ru/document/9013525> (дата обращения 12.12.2020).
- [14] Сортиментные и товарные таблицы для лесов центральных и южных районов европейской части РСФСР. URL: <http://docs.cntd.ru/document/568904979> (дата обращения 12.12.2020).
- [15] Таксационное описание Грибановского участкового лесничества урочища «Теллермановское опытное» Теллермановского лесничества Воронежской области. Воронеж, 2016. 249 с.
- [16] О правилах санитарной безопасности в лесах. URL: <http://docs.cntd.ru/document/573053313> (дата обращения 12.12.2020).
- [17] Об утверждении лесоустроительной инструкции. URL: <http://docs.cntd.ru/document/542621790> (дата обращения 12.12.2020).
- [18] Kiseleva V., Stonozhenko L., Korotkov S. The dynamics of forest species composition in the eastern Moscow region // Folia Forestalia Polonica, Series A, 2020, t. 62, no. 2, pp. 53–67.
- [19] Kiseleva V., Korotkov S., Naidenova E., Stonozhenko L. Structure and regeneration of spruce forests as affected by forest management practices in the Moscow region // IOP Conference Series: Earth and Environmental Science, 2019, p. 012042.
- [20] Обыденников В.И., Волков С.Н., Коротков С.А. Зонально-типологические основы лесного хозяйства. М.: МГУЛ, 2015. 220 с.
- [21] Александрова М.С., Коровин В.В., Коротков С.А., Крылов А.М., Липаткин В.А., Румянцев Д.Е., Николаев Д.К., Мельник П.Г., Стоноженко Л.В. Дендрохронологическая информация в лесоводственных исследованиях. М.: МГУЛ, 2007. 138 с.

Сведения об авторах

Стороженко Владимир Григорьевич — д-р биол. наук, вед. науч. сотр. лаборатории лесоводства и биологической продуктивности, Институт лесоведения РАН, lesoved@mail.ru

Чеботарева Валентина Васильевна — директор филиала Теллермановское опытное лесничество Федерального государственного бюджетного учреждения науки Института лесоведения РАН, chebotareva@ilan.ras.ru

Чеботарев Павел Анатольевич — вед. инженер Института лесоведения РАН, tol@icmail.ru

Поступила в редакцию 25.01.2021.

Принята к публикации 19.02.2021.

NATURAL FORMATION STANDS COMPOSITION IN CLEARINGS OF XIX CENTURY OAK FORESTS (TELLERMANOVSKOE EXPERIMENTAL FORESTRY IFS RAS)

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

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

lesoved@mail.ru

The article presents archival information about the composition of the stands in the Tellerman experimental forestry of ILAN RAS, which were formed naturally on the felling of mature stands of the late XIX century in the upland oak forest and forestry care carried out in them. On sample plots in such stands, the species and layered composition of stands were studied, volumetric and quantitative indicators of the composition of tree species and stands were calculated, and the priority of the presence of various species in the formation of the layered structure of stands was determined. In the stands, the state of all tree species is determined, the quantitative indicators of natural renewal, the characteristics of which determine the species structure of the stands that appear on the area of continuous felling of mature stands. The studies revealed that in the late nineteenth century clear-cutting of mature oak stands formed a mixed deciduous forest of ash, maple, linden, elm mainly complex vertical structure without (or with small presence) oak in the dense undergrowth of the same species and the complete absence of oak undergrowth. Records of the state of the main tree species showed the highest points of weakening in oak trees, the lowest in ash and Norway maple trees. The method of reproduction of oak forests from stumps left after continuous logging of mature stands has shown its complete failure and contributes to the reduction of the area of oak forests, the loss of the gene resource of valuable species and the indigenous biodiversity of natural forest ecosystems of the forest-steppe.

Keywords: oak stands, continuous logging, natural formation of stands, number and volume of trees, reproduction of oak forests

Suggested citation: Storozhenko V.G., Chebotarev P.A., Chebotareva V.V. *Struktura drevostoev estestvennogo formirovaniya na vyrubkakh dubovykh lesov XIX v. (Tellermanovskoe opytное lesnichestvo ILAN RAN)* [Natural formation stands composition in clearings of XIX century oak forests (Tellermanovskoe experimental forestry IFS RAS)]. *Lesnyy vestnik / Forestry Bulletin*, 2021, vol. 25, no. 3, pp. 14–23. DOI: 10.18698/2542-1468-2021-3-14-23

References

- [1] Minckler L.S. How pin oak stands respond to changes in stand density and structure. *J. of Forestry*, 1967, v. 65, no. 4, pp. 256–257.
- [2] Lang G.E. Litter dynamics in a mixed Oak forest on the New Jersey Piedmont. *Bull. Torrey. Bot. Club.*, 1974, v. 101, no. 5, pp. 277–286.
- [3] Oleksyn J., Przybyl K. Oak decline in the Soviet Union Scale and hypotheses. *Eur. J. For. Path.*, 1987, v. 17, pp. 321–336.
- [4] Siwecki R., Liese W. Oak decline in Europe. *Proceedings of an International IUFRO Symposium, Kornik, 1990*, p. 360.
- [5] Yakovlev A.S. *Dubravyy Srednego Povolzh'ya (istoriya, prichiny degradatsii i sovremennoe sostoyanie)* [Oak groves of the Middle Volga region (history, causes of degradation and current state)]. Yoshkar-Ola: MarSTU, 1999, 352 p.
- [6] Tsaralunga V.V. *Degradatsiya poroslevykh dubrav i ikh reabilitatsiya s pomoshch'yu sanitarnykh rubok* [Degradation of coppice oak forests and their rehabilitation with the help of sanitary felling]. *Dis. Dr. Sci. (Agric.)*. Bryansk, 2005, 395 p.
- [7] Kharchenko N.A. *Degradatsiya dubrav Tsentral'nogo Chernozem'ya* [Degradation of oak forests of the Central Black Earth Region]. Voronezh: VGLTA, 2010, 604 p.
- [8] Kharchenko N.A., Kharchenko N.N. *K voprosu o proiskhozhdenii dubrav v Tsentral'noy lesostepi* [To the question of the origin of oak forests in the Central forest-steppe]. *Lesotekhnicheskii zhurnal [Forestry journal]*, 2013, no. 3 (11), pp. 43–50.
- [9] Chebotarev P.A., Chebotareva V.V., Storozhenko V.G. *Poroslevoe vozobnovlenie duba na sploshnykh vyrubkakh dubrav snyt'evoy v zone lesostepi (na primere drevostoev Tellermanovskogo opytного lesnichestva ILAN RAN)* [Coppice regeneration of oak in clear cuttings of the Snyt'eva oak forest in the forest-steppe zone (on the example of stands of the Tellermanovsky experimental forestry of the Institute of Natural Sciences of the Russian Academy of Sciences)]. *Nauchnye vedomosti Belgorodskogo GU [Scientific Bulletin of Belgorod State University]*, 2016, iss. 37, no. 25 (246), pp. 14–20.
- [10] Chebotarev P.A., Chebotareva V.V., Storozhenko V.G. *Formirovaniye pologa dubovogo drevostoya pri razlichnoy intensivnosti ukhodov za lesnymi kul'turami v zone lesostepi (na primere Tellermanovskogo opytного lesnichestva Instituta lesovedeniya RAN)* [Formation of a canopy of an oak stand at different intensities of care for forest crops in the forest-steppe zone (on the example of the Tellermanovsky experimental forestry of the Institute of Forest Science of the Russian Academy of Sciences)]. *Lesovedenie*, 2017, no. 6, pp. 403–410.
- [11] *Taksatsionnoe opisaniye Borisoglebskogo lesnichestva: materialy lesoustroystva* [Taxation description of Borisoglebsk forestry: forest inventory materials]. Voronezh: Upravleniye lesookhrany i lesonasazhdeniy Voronezhskoy-Kurskoy [Department of forest protection and afforestation Voronezh-Kursk], 1938, 244 p.
- [12] Zverev A.I. *Pervyy lesovod Rossii. Istok* [The first forester in Russia. Source]. Moscow: Altair, 2012, 120 p.
- [13] *Nastavleniya po otvodu i taksatsii lesosek v lesakh Rossiyskoy Federatsii* [Instructions on the allocation and taxation of cutting areas in the forests of the Russian Federation]. Available at: <http://docs.cntd.ru/document/9013525> (accessed 12.12.2020).
- [14] *Sortimentnye i tovarnye tablitsy dlya lesov tsentral'nykh i yuzhnykh rayonov evropeyskoy chasti RSFSR* [Assortment and commodity tables for forests in the central and southern regions of the European part of the RSFSR]. Available at: <http://docs.cntd.ru/document/568904979> (accessed 12.12.2020).

- [15] *Taksatsionnoe opisaniye Gribanovskogo uchastkovogo lesnichestva urochishcha «Tellermanovskoye opytное» Tellermanovskogo lesnichestva Voronezhskoy oblasti* [Taxation description of the Gribanovsky district forestry of the Tellermanovskoye experienced tract of the Tellermanovsky forestry of the Voronezh region]. Voronezh, 2016, 249 p.
- [16] *O pravilakh sanitarnoy bezopasnosti v lesakh* [On the rules of sanitary safety in forests]. Available at: <http://docs.cntd.ru/document/573053313> (accessed 12.12.2020).
- [17] *Ob utverzhdenii lesoustroitel'noy instruktsii* [On the approval of the forest management instruction]. Available at: <http://docs.cntd.ru/document/542621790> (accessed 12.12.2020).
- [18] Kiseleva V., Stonozhenko L., Korotkov S. The dynamics of forest species composition in the eastern Moscow region. *Folia Forestalia Polonica, Series A*, 2020, t. 62, no. 2, pp. 53-67.
- [19] Kiseleva V., Korotkov S., Naidenova E., Stonozhenko L. Structure and regeneration of spruce forests as affected by forest management practices in the Moscow region. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, 2019, p. 012042.
- [20] Obydennikov V.I., Volkov S.N., Korotkov S.A. *Zonal'no-tipologicheskie osnovy lesnogo khozyaystva* [Zonal-typological foundations of forestry]. Moscow: MGUL, 2015, 220 p.
- [21] Aleksandrova M.S., Korovin V.V., Korotkov S.A., Krylov A.M., Lipatkin V.A., Rummyantsev D.E., Nikolaev D.K., Mel'nik P.G., Stonozhenko L.V. *Dendrokronologicheskaya informatsiya v lesovodstvennykh issledovaniyakh* [Dendrochronological information in silvicultural research]. Moscow: MGUL, 2007, 138 p.

Authors' information

Storozhenko Vladimir Grigorievich — Dr. Sci. (Agriculture), Chief research worker of Laboratory Forestry and biological productivity, Forest Science Institute RAS, lesoved@mail.ru

Chebotareva Valentina Vasilievna — Director of Tellermanovskoye experimental forestry, Forest Science Institute RAS, chebotareva@ilan.ras.ru.

Chebotarev Pavel Anatolievich — Lead Engineer of Forest Science Institute RAS, tol@icmail.ru

Received 25.01.2021.

Accepted for publication 19.02.2021.

ИЗМЕНЧИВОСТЬ ШИШЕК СОСНЫ ОБЫКНОВЕННОЙ (*PINUS SYLVESTRIS* L.), ПРОИЗРАСТАЮЩЕЙ В ГЕОГРАФИЧЕСКИХ КУЛЬТУРАХ АРХАНГЕЛЬСКОЙ ОБЛАСТИ

А.В. Чупров^{1,2}, Е.Н. Наквасина¹, Н.А. Прожерина³

¹ФГАОУ ВО «Северный (Арктический) федеральный университет имени М.В. Ломоносова» (САФУ), 163002, Россия, г. Архангельск, Наб. Северной Двины, д. 17

²Министерство природных ресурсов и лесопромышленного комплекса Архангельской области, 163000, г. Архангельск, ул. Выучейского, д. 18

³ФГБУН Федеральный исследовательский центр комплексного изучения Арктики имени академика Н.П. Лаврова УрО РАН, 163000, г. Архангельск, Наб. Северной Двины, д. 23

nakvasina@yandex.ru

Приведены результаты изучения фенотипической изменчивости шишек климатипов сосны обыкновенной (23 варианта) в географических культурах в Плесецком лесничестве Архангельской обл., созданных в 1977 г. Представлено распределение шишек в коллекции климатипов по формам апофиза, предложенных Л.Ф. Правдиным, определены линейные параметры, масса, коэффициент формы и плотность шишек. Климатипы сосны обыкновенной (*Pinus sylvestris* L.) условно подразделены на две группы в зависимости от географических координат исходных насаждений: западную (с широтной локализацией климатипов с севера на юг от 68 до 55° с. ш., но близких по долготе) и восточную (с долготной локализацией климатипов с запада на восток от 40 до 73° в. д., но близких по широте) группы. Установлено, что в обеих группах распределение шишек по формам апофиза имеет сходную структуру, наиболее выражена форма апофиза f. gibba, что может быть связано с генетическими особенностями вида и условиями места произрастания исходных насаждений. Найдены значимые корреляционные связи между формой апофиза шишек с температурными показателями. В коллекции климатипов при произрастании в однотипных условиях отмечено выравнивание длины и ширины шишки между потомствами, однако увеличение массы шишки и снижение ее плотности находится под большим генетическим контролем, хотя и связано с географическим происхождением потомства.

Ключевые слова: географические культуры, сосна обыкновенная, апофиз шишки, биометрические показатели, климатические характеристики

Ссылка для цитирования: Чупров А.В., Наквасина Е.Н., Прожерина Н.А. Изменчивость шишек сосны обыкновенной (*Pinus sylvestris* L.), произрастающей в географических культурах Архангельской области // Лесной вестник / Forestry Bulletin, 2021. Т. 25. № 3. С. 24–33. DOI: 10.18698/2542-1468-2021-3-24-33

Приспособленность сосны обыкновенной (*Pinus sylvestris* L.) к произрастанию в различных климатических условиях — начиная от Крайнего Севера и до субтропиков, а также на болотистых и засушливых территориях, послужила причиной распространения ареала вида в Евразии как в широтном, так и долготном градиенте [1]. При этом отмечаются изменения не только в росте и высоте особей, продуктивности насаждений, но и в параметрах репродуктивной сферы, в том числе в размерах шишек. Установлена закономерность увеличения линейных показателей и массы шишки с уменьшением широты. При испытании потомств популяций в географических культурах (в однотипных условиях произрастания) можно проследить наследуемость признаков или их адаптационные модификации, оценить свойства репродукции сосны обыкновенной, которые одновременно с устойчивостью и ростом формируют наследственную специфику материнских насаждений, определяют приспособленность к несвойственным условиям роста и важны в селекции и семеноводстве [2].

Исследования, характеризующие влияние климатических факторов среды на рост и продуктивность сосны обыкновенной в географических культурах, а также на показатели шишек, проводятся на Европейском Севере [3], в центральной полосе России [4] и в Сибири [5]. Опыты, доказывающие влияние внешних факторов окружающей среды на культуры сосны обыкновенной, к тому же проводятся в Юго-Восточной Европе [6], Северной Америке [7] и Китае [8]. Установлено, что генетическая адаптация видов к температурному режиму и количеству осадков может значительно влиять на рост и продуктивность популяций сосны обыкновенной. Экспериментально установлена существенная взаимосвязь места происхождения исходных насаждений и размера, массы и формы шишек [9]. По мнению Н.Н. Бесчетновой [10], преобладающим является влияние факторов внешней среды на размеры шишек. Кроме того, это влияние также может проявиться в генетических особенностях и предопределить возможность фенотипических изменений.

На примере сосны каменной (*Pinus pinea*) установлено, что на диаметр шишки наибольшее

влияние оказывает высота над уровнем моря, меньшее — широта и долгота. Среди климатических факторов влияние оказывают максимальные значения температуры воздуха в летний период [11].

Масса шишек сосны обыкновенной меняется при произрастании потомства в условиях, отличающихся от мест произрастания исходных насаждений. Северная сосна (сосна лапландская), произрастающая в средней и южной тайге, отличается увеличенной массой семян и повышенной всхожестью. В случае искусственной миграции климатипов сосны обыкновенной, в частности из Вологодской обл. в более северные районы Европейской части России происходит резкое уменьшение массы семян [12].

Изучение морфометрии шишек в географических культурах показало, с одной стороны, наследуемость показателей в потомстве, с другой — нивелирование признаков в связи с однотипностью условий произрастания разных потомств в одном месте [13]. Размеры и масса шишек в пределах коллекции климатипов изменялись незначительно, а в отдельные годы лучшие показатели имели северные климатипы, отличающиеся меньшими показателями на родине исходных насаждений. В то же время было показано [1, 4, 14], что фенотипическое разнообразие шишек по форме апофиза находится под большим генетическим контролем: северные климатипы сосны в географических культурах имеют более однородное распределение по формам апофиза по сравнению с южными.

Цель работы

Цель работы — изучение фенотипического разнообразия шишек по форме апофиза и биометрическим показателям у сосны обыкновенной, произрастающей в коллекции географических культур Архангельской обл., и установление их связи с географическими показателями и климатическими факторами мест произрастания исходных популяций.

Объект исследования

Изучение фенотипической изменчивости шишек проводилось в географических культурах Архангельской обл., в частности в Плесецком лесничестве (средняя подзона тайги, по С.Ф. Курнаеву) [15]. Культуры созданы в 1977 г. путем посадки трехлетних сеянцев сосны обыкновенной на вырубке из-под ельника черничного, входят в состав государственной сети географических культур, заложенных согласно приказу Гослесхоза СССР № 29 от 06.02.1973 г. «О создании сети географических культур основных лесобразующих пород». Куратором является Северный НИИ лесного хозяйства (СевНИИЛХ).

В состав коллекции сосны обыкновенной (общая площадь 3,0 га) входит 23 климатипа различного географического происхождения. В связи с широким градиентом представленности исходных насаждений в зависимости от восточной долготы — от 28° до 73° в. д. — климатипы были условно подразделены на группы западных и восточных, при этом границей служила координата 40° в. д. В группе западных климатипов различия в координатах примерно равны: с. ш. — от 68° до 55°, в. д. — от 30° до 40° и включают в себя потомства из трех лесорастительных подзон (северной, средней, южной тайги). Группа восточных климатипов представлена климатипами, достаточно широко разбросанными по восточной долготе (от 40° до 73°) при совсем небольшом разбросе по северной широте (от 58° до 61°). В нее входят потомства из средней, южной тайги и северной подзоны смешанных лесов (табл. 1).

Методика исследования

В каждом климатипе отобрано не менее 30 образцов шишек. Это количество позволяет достаточно объективно провести их оценку [16].

Основопологающей методикой для определения фенотипической изменчивости шишек сосны обыкновенной служит методика Л.Ф. Правдина [1], который в зависимости от формы семенной чешуи выделил перечисленные ниже формы апофизов шишек:

- с гладкой поверхностью (*f. plana*);
- семенная чешуя в виде пирамидки (*f. gibba*);
- б — апофизы в виде пирамидки вытянуты по всей длине шишки, б1 — апофизы в виде пирамидок только с освещенной стороны шишки, б2 — апофизы в виде пирамидок в верхней части шишек, в нижней части они гладкие с обеих сторон или почти гладкие;
- крючковатая семенная чешуя (*f. reflexa*); в — апофизы развернуты к основанию шишки в виде крючка, в1 — апофизы развернуты к основанию шишки только с освещенной стороны, в2 — на освещенной стороне шишки в верхней ее части апофизы в виде пирамидок, в нижней части — загнуты в виде крючка к основанию, на теневой стороне апофизы гладкие.

Линейные показатели формы шишек (длина, ширина) определены с помощью штангенциркуля с точностью до 0,1 мм. Коэффициент формы определен как отношение длины шишки к ее максимальному диаметру. Плотность шишки рассчитана как отношение массы шишки к ее суммарному объему, рассчитанному через объемы конуса и сегмента по методике Н.Н. Бессчетновой [10].

Проведен дисперсионный анализ и рассчитаны коэффициенты корреляции, позволившие выявить зависимость формового разнообразия,

Т а б л и ц а 1

Характеристика физико-климатических условий произрастания районов происхождения климатипов сосны обыкновенной в географических культурах Архангельской обл.

Characteristics of the physical and climatic conditions of growth areas of Scots pine provenances in the geographical cultures of the Arkhangelsk region

Номер климатипа	Происхождение потомства Область (республика), лесхоз	Географические координаты		Лесорастительная зона/подзона	Продолжительность вегетационного периода, дни	Среднегодовая температура, °С	Сумма температур за год > 5 °С	Сумма осадков за год, мм
		с. ш.	в. д.					
Западные климатипы								
1	Мурманская, Мончегорский	67°51'	32°57'	СТ	90	-1,5	1220	460
2	Мурманская, Кандалакшский	67°00'	32°33'	СТ	90	-1,5	1220	460
3	Архангельская, Пинежский	64°45'	43°14'	СТ	132	-0,1	1510	500
4	Архангельская, Плесецкий	62°54'	40°24'	СрТ	148	1	1810	400
9	Вологодская, Тотемский	60°00'	43°00'	СрТ	155	1,9	1940	580
12	Карелия, Чупинский	66°22'	33°00'	СТ	120	0,5	1300	380
14	Карелия, Медвежьегорский	62°54'	34°27'	СрТ	150	2	1800	600
15	Карелия, Пряжинский	61°40'	33°40'	СрТ	150	2	1800	600
16	Карелия, Сортгавальский	61°50'	30°28'	СрТ	150	2	1800	600
17	Карелия, Пудожский	61°40'	36°33'	СрТ	150	2	1800	600
19	Ленинградская, Лисинский	60°00'	30°25'	ЮТ	160	5	1900	650
22	Псковская, Псковский	57°50'	28°26'	СрТ	165	5,9	1950	530
23	Новгородская, Крестецкий	58°15'	32°28'	СрТ	165	5,9	1950	530
42	Тверская, Бежецкий	57°45'	36°40'	ЮТ	150	3,3	2200	500
43	Московская, Куровской	55°32'	38°57'	ЮТ	155	3,6	2300	500
Восточные климатипы								
47	Костромская, Мантуровский	58°30'	44°45'	ЮТ	150	3,1	2100	500
48	Костромская, Костромской	57°50'	41°00'	ЮТ	150	3,1	2100	500
67	Удмуртия, Воткинский	57°03'	54°00'	СмЛ	160	2,1	2500	450
68	Кировская, Слободской	58°49'	50°06'	ЮТ	130	1,3	1800	500
77	Свердловская, Тавдинский	58°04'	65°18'	ЮТ	156	1,3	2106	438
78	Свердловская, Ивдельский	60°40'	60°24'	СрТ	145	-0,8	1885	450
81	Тюменская, Сургутский	61°25'	73°20'	СрТ	130	-3	1615	600
88	Томская, Колпашевский	58°33'	83°00'	ЮТ	143	-1,8	1890	635

Примечание. Номера климатипов и названия лесхозов приведены в соответствии с реестром государственной регистрации; наименования подзон тайги приведены по С.Ф. Курнаеву [15]; СТ — северная подзона тайги; СрТ — средняя подзона тайги; ЮТ — южная подзона тайги; СмЛ — смешанные леса.

производных и фактических линейных показателей и массы шишек от климатических условий мест произрастания исходных потомств. Степень корреляционных связей установлена по методике С.А. Мамаева для селекционных исследований [17]. Значения коэффициента корреляции 0,35 и выше признаются значимыми, 0,25...0,35 средними, 0,15...0,25 слабыми. При коэффициенте корреляции до 0,15 связь считается отсутствующей.

Результаты и обсуждение

В группе западных климатипов, места происхождения исходных насаждений которых приурочены к Восточно-Европейской равнине, доля формы шишек с формой апофиза *f. plana* составляет от 3,1 до 34,3 %, форма *f. gibba* имеет представленность от 14,3 до 100 %, форма *f. reflexa* — от 6,7 до 78,6 % (табл. 2).

В пяти климатипах (14, 16, 17, 22 и 42), отнесенных нами к западной группе, шишки с гладкой формой апофиза не представлены. Из всей группы наибольшим является количество ши-

шек с формой апофиза *f. plana* в 43 климатипе (34,3 %). Представленность шишек с формой апофиза *f. gibba* заметно ниже у мурманского климатипа (1), тогда как у других потомств в группе она составляет более 50 %. Количество шишек с формой апофиза *f. reflexa* у этого климатипа достаточно высокое, по сравнению с другими климатипами (78,6 %). Такое перераспределение шишек по формам апофиза может быть связано с генетическими особенностями происхождения исходного климатипа, представленного подвидом *Pinus sylvestris* L. var. *lapponica* Fries., а также с условиями и особенностями роста, характерными для Кольского полуострова [18, 19].

У климатипов западной группы среди шишек с формой апофиза *f. gibba* преобладает центральная подформа б1, ее доля составляет примерно половину всех шишек по климатипу. Остальные шишки распределяются между подформами б и б2.

Форма апофиза *f. reflexa* максимально представлена только в одном климатипе сосны лапландской из Мурманской обл. (1).

Т а б л и ц а 2

Разнообразие шишек сосны обыкновенной по формам апофиза шишек в географических культурах Архангельской обл.

Variety of Scots pine cones according to the apophysis of cones in the geographical cultures of the Arkhangelsk region

Номер климатипа	Количество шишек по формам апофиза шишки, (%)									
	<i>f. plana</i>	<i>f. gibba</i>				<i>f. reflexa</i>				
		Всего	б	б1	б2	Всего	в	в1	в2	в3
Западные климатипы										
1	7,1	14,3	3,6	7,1	3,6	78,6	0,0	3,6	75,0	0,0
2	12,9	64,5	19,4	45,2	0,0	22,6	0,0	22,6	0,0	0,0
3	10	70,0	20,0	26,7	23,3	20,0	0,0	0,0	13,3	6,7
4	7,1	71,4	32,1	32,1	7,1	21,4	0,0	3,6	3,6	14,3
9	19,4	51,6	6,5	38,7	6,5	29,0	0,0	6,5	19,4	3,2
12	13,3	70,0	26,7	36,7	6,7	16,7	0,0	0,0	6,7	10,0
14	0	82,1	3,6	64,3	14,3	17,9	0,0	0,0	14,3	3,6
15	3,1	78,1	46,9	28,1	3,1	18,8	0,0	9,4	0,0	9,4
16	0	90,9	27,3	54,5	9,1	9,1	0,0	0,0	9,1	0,0
17	10	83,3	33,3	40,0	10,0	6,7	0,0	0,0	0,0	6,7
19	6,7	86,7	31,1	28,9	26,7	6,7	0,0	0,0	0,0	6,7
22	0	69,0	31,0	27,6	10,3	31,0	10,3	6,9	0,0	13,8
23	9,4	68,8	15,6	28,1	25,0	21,9	3,1	6,3	12,5	0,0
42	0	100	25,0	43,8	31,3	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
43	34,3	65,7	0,0	14,3	51,4	0	0,0	0,0	0,0	0,0
Восточные климатипы										
47	3,7	77,8	0,0	33,3	44,4	18,5	0,0	0,0	3,7	14,8
48	10,8	89,2	0,0	21,6	67,6	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
67	0,0	96,4	0,0	28,6	67,9	3,6	0,0	0,0	3,6	0,0
68	39,4	60,6	0,0	36,4	24,2	0,0	0,0	0	0,0	0,0
77	8,6	65,7	0,0	5,7	60,0	25,7	0,0	8,6	17,1	0,0
78	14,3	69,0	0,0	33,3	35,7	16,7	0,0	2,4	11,9	2,4
81	3,0	42,4	0,0	9,1	33,3	54,5	0,0	24,2	27,3	3,0
88	20,0	70,0	0,0	23,3	46,7	10,0	0,0	3,3	6,7	0,0

Во всех остальных климатипах западной группы, она встречается реже (6,1...30 %), а в ряде климатипов (42, 43) вовсе отсутствует. Среди форм апофиза *f. reflexa* чаще встречается подформа в2.

В группе восточных климатипов распределение шишек у потомств близко к группе западных климатипов, однако представленность форм и подформ в пределах группы имеет свои особенности. Так, доля шишек с формой апофиза *f. plana* изменяется от 3,0 до 39,4 %, однако они не представлены в климатипе 67 из Удмуртии. Преобладают шишки с формой апофиза *f. gibba*, доля которых составляет 42,4...96,4 %. Среди формы *f. gibba* не были обнаружены шишки с подформой б, а среди подформ б1 и б2 по количеству собранных шишек наиболее выражена подформа б2: количество шишек с этой подформой составляет 24,2...67,9 %, в то время как доля шишек с подформой апофиза б1 составляет 9,1...36,4 %.

Количество шишек с формой апофиза *f. reflexa* находится в пределах от 3,6 до 54,5 %, однако она не представлена в климатипах 48 и 68 (Костромская и Кировская обл.). Так же, как в форме *f. gibba*, в пределах формы *f. reflexa* не представлены шишки с подформой в. Кроме того, в пределах этой формы наиболее представлена подформа в2 — доля шишек составляет от 3,6 до 27,3 %. Наименее представлена подформа в3 — от 2,4 до 24,2 %.

Наиболее значимые корреляционные связи географических координат и климатических характеристик как в группе западных климатипов, так и в целом по коллекции, проявляются у шишек с формами апофиза *f. gibba* и *f. reflexa*. Отсутствие корреляционных связей у шишек с формами апофиза *f. plana* обусловлено меньшим ее проявлением в целом по коллекции климатипов, а также в западной группе (табл. 3).

Закономерно более тесная связь в группе западных климатипов географических культур сосны обыкновенной проявляется с северной широтой ($r = 0,4...0,5$), но не с восточной долготой. В то же время в группе восточных климатипов, где представлены климатипы с большим разбросом по восточной долготе, значимая корреляционная связь установлена как с северной широтой ($r = 0,7...0,8$), так и с восточной долготой ($r = 0,5$).

В пределах западной и восточной групп климатипов наиболее значимая корреляционная связь установлена для шишек с формой апофизов *f. gibba* и *f. reflexa* с такими характеристиками как продолжительность вегетационного периода, среднегодовая температура воздуха и сумма температур за год > 5 °С. Для потомств западной группы коэффициент корреляции составляет $r = 0,4...0,6$, для потомств восточной группы — $r = 0,3...0,9$. Наиболее тесная корреляционная

Т а б л и ц а 3

Коэффициент корреляции (r) между представленностью различных фенотипических форм по апофизам шишек в потомствах сосны обыкновенной с географическими координатами и основными климатическими характеристиками мест происхождения исходных насаждений

Correlation coefficient (r) between the representation of various phenotypic forms by apophysis of cones in the Scots pine offspring with geographic coordinates and the main climatic characteristics of the places of origin of the original plantations

Географические координаты и основные климатические характеристики	Коэффициент корреляции (r)		
	<i>f. plana</i>	<i>f. gibba</i>	<i>f. reflexa</i>
Западные климатипы			
Северная широта	-0,18	-0,43	0,54
Восточная долгота	0,48	-0,11	-0,12
Продолжительность вегетационного периода	-0,08	0,58	-0,57
Среднегодовая температура воздуха	-0,09	0,45	-0,42
Сумма температур за год > 5 °С	0,13	0,50	-0,59
Годовая сумма осадков	-0,24	0,38	-0,28
Восточные климатипы			
Северная широта	0,03	-0,80	0,72
Восточная долгота	0,00	-0,55	0,51
Продолжительность вегетационного периода	-0,57	0,80	-0,34
Среднегодовая температура воздуха	-0,08	0,74	-0,63
Сумма температур за год > 5 °С	-0,44	0,90	-0,52
Годовая сумма осадков	0,13	-0,46	0,31
Все климатипы			
Северная широта	-0,18	-0,43	-0,53
Восточная долгота	0,22	-0,17	0,05
Продолжительность вегетационного периода	-0,16	0,59	-0,51
Среднегодовая температура воздуха	-0,13	0,50	-0,43
Сумма температур за год > 5 °С	-0,01	0,56	-0,56
Годовая сумма осадков	-0,11	0,14	-0,08

связь наблюдается для шишек с формой *f. gibba* с продолжительностью вегетационного периода, среднегодовой температурой воздуха и суммой температур за год > 5 °С.

Указанные закономерности для шишек с формой *f. gibba* и *f. reflexa* характерны и в целом для коллекции климатипов, хотя коэффициенты корреляции несколько ниже ($r = 0,4...0,5$). Наибольшее значение этого коэффициента характерно для

суммы температур за год >5 °С и продолжительности вегетационного периода ($r = 0,5 \dots 0,6$), а также северной широты ($r = 0,4 \dots 0,5$), но не для восточной долготы и годовой суммы осадков.

По размерам шишек (длине и ширине) колебания составляют в пределах 3,6...4,5 см и 1,5...2,2 см. Различия между группой западных и восточных климатипов незначительны (табл. 4). Хотя в западной группе сосредоточено наибольшее число климатипов, имеющих длину шишек больше 4 см. У четырех климатипов этой группы (14, 23, 42, 43) шишки имеют наименьшие размеры, их длина менее 4 см, ширина — менее 2 см. В восточной группе только один климатип (47) имеет мелкие шишки (длина 3,7 см, ширина 1,7 см).

Показатель плотности шишек, учитывающий их массу и объем, варьирует от 0,71 до 2,4 г/см³, но у большинства климатипов он близок к 1 г/см³, за исключением московского климатипа (43) из западной группы и двух климатипов из восточной группы (67, 68), у которых плотность шишки наиболее высокая и составляет 1,5...2,1 г/см³. Шишки этих климатипов отличаются и наиболее высоким значением коэффициента формы (2...2,4).

Среднее значение показателя плотности шишек в западной группе климатипов составляет 0,97 г/см³, в восточной — 1,10 г/см³. По данным Н.Н. Бессчетновой [3], значение показателя плотности для шишек сосны обыкновенной из зоны хвойно-широколиственных лесов составляет 1,27 г/см³. Более низкий показатель плотности шишки у климатипов в географических культурах может быть связан с произрастанием потомства несвойственных им условиях.

Наибольшее количество значимых корреляционных связей между биометрическими показателями шишек и климатическими характеристиками установлено в климатипах восточной группы ($r = 0,2 \dots 0,6$). Однако в целом по коллекции наибольшее количество связей между линейными показателями и климатическими зафиксировано характеристиками (табл. 5).

В группе западных климатипов, локализованных на Восточно-Европейской равнине, устойчивая связь линейных показателей (диаметра и длины шишки) с северной широтой ($r = 0,38 \dots 0,61$), менее значимая — с восточной долготой ($r = -0,18 \dots -0,31$), в то время как у группы восточных климатипов, большинство из которых располагается меридионально, значительные корреляционные связи установлены как с северной широтой ($r = 0,36$), так и с восточной долготой ($r = 0,49 \dots 0,60$). В какой-то мере эти особенности локализации климатипов отражаются и в большей корреляционной связи коэффициента формы и плотности шишки с северной широтой в запад-

Т а б л и ц а 4

Размер и масса шишек сосны обыкновенной, произрастающей в географических культурах Архангельской обл.

The size and weight of Scots pine cones growing in the geographical cultures of the Arkhangelsk region

Номер климатипа	Размер шишки, мм		Коэффициент формы	Масса шишки*, г	Плотность шишки, г/см ³
	длина	ширина			
Западные климатипы					
1	40,9	21,5	1,9	2,8	0,96
2	41,2	21,2	1,9	3,5	0,87
3	41,8	20,1	2,1	3,2	0,91
4	40,8	19,9	1,9	2,8	0,99
9	41,3	20,3	2,0	2,8	0,9
12	41,2	21,2	2,1	3,1	0,94
14	39,8	19,6	1,9	2,7	0,79
15	42,8	20,7	2,0	3,1	0,77
16	40,4	19	2,1	2,9	0,85
17	44,8	21,2	2,1	3,7	0,97
19	42,2	22	1,9	4,6	0,71
22	43,9	20,3	2,2	3,5	0,98
23	37,9	19,8	1,9	2,5	0,87
42	35,8	18,9	1,9	2,4	0,94
43	36,3	15,3	2,4	4,5	2,1
M**	40,74	20,07	2,02	3,21	0,97
±m***	0,66	0,42	0,03	0,17	0,08
Восточные климатипы					
47	37,1	16,9	2,2	5,7	0,99
48	40,4	21,9	1,8	4,9	0,91
67	40,9	17,5	2	6	1,51
68	40,9	17,8	2,3	6,1	1,64
77	41,8	21,8	1,9	5	0,89
78	43,0	21,7	2	5,4	0,99
81	41,4	21,9	1,9	5,1	0,96
88	43,6	22,8	1,9	5,5	0,91
M**	41,14	20,29	2,00	5,46	1,10
±m***	0,73	0,92	0,07	0,17	0,11

*В абсолютно сухом состоянии.
 **Среднее значение по группе климатипов.
 ***Ошибка среднего значения.

ной группе климатипов и с восточной долготой в восточной группе климатипов ($r = 0,37 \dots 0,39$).

Среди климатипов восточной группы сильные корреляционные связи размеров шишек установлены с показателями, связанными со среднегодовой температурой воздуха и годовой суммой осадков, но не с продолжительностью вегетационного периода ($r = 0,24 \dots 0,68$). В западной группе отмечена устойчивая связь ширины шишки и продолжительности вегетационного периода ($r = 0,36$).

Масса шишек и в той, и в другой группе климатипов менее связана с географическими координатами и климатическими показателями

Таблица 5

Коэффициент корреляции (r) между размерами и массой шишек потомств сосны обыкновенной с географическими координатами и основными климатическими характеристиками мест происхождения исходных насаждений

Correlation coefficient (r) between the size and mass of cones of Scots pine offspring with geographic coordinates and the main climatic characteristics of the places of origin of the original plantations

Географические координаты и основные климатические характеристики	Коэффициент корреляции (r)				
	Длина шишки, мм	Ширина шишки, мм	Масса шишки, г	Коэффициент формы	Плотность шишки, г/см ³
Западные климатотипы					
Северная широта	0,38	0,61	-0,23	-0,39	-0,43
Восточная долгота	-0,18	-0,31	-0,13	0,11	0,30
Продолжительность вегетационного периода	-0,08	-0,36	0,11	0,25	0,09
Среднегодовая температура	-0,16	-0,27	0,22	0,21	0,11
Сумма температур за год > 5 °С	-0,42	-0,65	0,15	0,32	0,41
Годовая сумма осадков	0,24	0,06	0,25	-0,02	-0,25
Восточные климатотипы					
Северная широта	0,36	0,46	-0,26	-0,04	-0,27
Восточная долгота	0,60	0,49	0,20	-0,37	-0,33
Продолжительность вегетационного периода	-0,14	-0,11	-0,08	-0,33	-0,17
Среднегодовая температура	-0,69	-0,60	0,20	0,27	0,26
Сумма температур за год > 5 °С	-0,24	-0,41	0,24	-0,11	0,24
Годовая сумма осадков	0,24	0,39	-0,12	-0,20	-0,28
Все климатотипы					
Северная широта	0,34	0,48	-0,47	-0,24	-0,43
Восточная долгота	0,22	0,08	0,67	-0,16	0,12
Продолжительность вегетационного периода	-0,09	-0,26	-0,11	0,12	0,06
Среднегодовая температура, °С	-0,34	-0,49	-0,17	0,24	0,07
Сумма температур за год > 5 °С	-0,35	-0,52	0,39	0,16	0,41
Годовая сумма осадков	0,23	0,18	-0,02	-0,02	-0,27

($r = -0,13 \dots +0,26$). Для всей коллекции установлена сильная связь массы шишек с восточной долготой ($r = 0,67$), что вызвано значительным разбросом места происхождения исходных насаждений в меридианальном отношении.

Размеры, масса и плотность шишек значимо связаны с северной широтой, суммой температур за год > 5 °С ($r = 0,43 \dots 0,47$) и средней годовой температурой ($r = 0,34 \dots 0,49$). Подобные зависимости обуславливает отзывчивость сосны обыкновенной на изменение температурного фактора, отмеченная ранее И.Б. Белецким [20] для мурманской сосны и нами в географических культурах [12, 21, 22]. При произрастании в более теплых условиях в пределах средней подзоны тайги в северотаежных потомствах сосны увеличиваются размеры шишек, но, видимо, при этом снижается плотность их древесины, что отражается на массе шишек.

В пределах изучаемой коллекции масса шишки очень слабо связана с ее размерами (длиной и шириной), больше ($r = 0,22$) — с комплексным пока-

зателем — коэффициентом формы. Однако высокие коэффициенты корреляции ($r = -0,35 \dots -0,72$) длины и ширины, соответственно, с показателем плотности шишек позволяют утверждать, что увеличение размерности шишек в связи с переносом в несвойственные им условия произрастания может снизить плотность формирующихся древесных тканей. Особенно это заметно в пределах группы западных климатотипов, в которую входят потомства северотаежных потомств. Коэффициент корреляции между длиной, шириной шишек и плотностью достигал $r = -0,45 \dots -0,82$. Большую значимость при этом имеет разрастание шишек в ширину (по диаметру), что отражается в корреляционных зависимостях коэффициента формы шишки массой шишки ($r = 0,22 \dots 0,81$) и с плотностью ее тканей ($r = 0,66 \dots 0,75$) как при рассмотрении в пределах выделенных групп климатотипов, так и в целом по коллекции.

Результаты корреляционного анализа подтверждены дисперсионным анализом по изучаемым признакам (табл. 6).

Т а б л и ц а 6

Анализ влияния происхождения климатипов на параметры шишек по критериям Фишера и уровням статистической значимости

Influence of the origin of climatypes on the parameters of cones according to Fisher's criteria and levels of statistical significance

Показатель	Критерий Фишера (F)	Критерий уровня значимости (p)
Масса, г	74,7	0,001
Коэффициент формы шишки	0,1	0,771
Плотность, г/см ³	0,9	0,356
Длина, мм	0,1	0,702
Ширина, мм	0,1	0,795

Все линейные показатели (длина, ширина шишки) и рассчитанный с их использованием коэффициент формы подтверждают сходство между выделенных групп климатипов. Это свидетельствует о равной отзывчивости потомства сосны обыкновенной на однотипные условия произрастания и нивелирование признаков при испытании в географических культурах. Однако климатипы этих групп значимо различаются по показателю «масса шишки» (абсолютно сухая), подтверждая его наследственную закрепленность и слабую реакцию на изменение условий произрастания. Комплексный показатель, связанный как с биометрическими показателями, так и с массой шишек (плотность шишек), сохраняет эффект выравнивания между группами климатипов, хотя и менее значимо.

Выводы

Климатические факторы мест произрастания исходных насаждений и пункта испытания оказывают значительную роль как на изменчивость апофиза шишек, так и на их биометрические показатели.

В целом по коллекции климатипов сосны обыкновенной и по группам (западные и восточные), наибольшее количество шишек имеют форму *f. gibba*. Остальные формы апофиза выражены по коллекции в большей или меньшей степени. На формирование определенной формы апофиза шишек оказывают влияние и генетические особенности климатипа, и условия роста исходных насаждений определенных климатипов, прежде всего температурные условия. В пределах коллекции климатипов сохраняются зависимости формы апофизов от географического происхождения материнских насаждений.

В пределах изучаемой коллекции наблюдается выровненность шишек по размерам между различными потомствами, что подтверждается и близостью показателя формы шишек. При этом сохраняется генетическая предрасположенность

повышения средних показателей массы шишек у климатипов, исходные насаждения которых произрастают в более благоприятных климатических условиях. Проявляется эффект увеличения массы шишек при одновременном снижении плотности ее тканей у северных потомств, при их произрастании в более благоприятных условиях подзоны средней тайги.

Несмотря на выравнивание биометрических и массовых показателей шишек в однотипных условиях произрастания потомства, их связь с климатическими и географическими показателями в пределах коллекции наблюдается, но степень ее проявления зависит от локализации исходных насаждений группы климатипов.

Список литературы

- [1] Правдин Л.Ф. Сосна обыкновенная. М.: Наука, 1964. 190 с.
- [2] Новикова Т.Н. Особенности семеношения сосны обыкновенной в географических культурах в Красноярской лесостепи // Хвойные бореальной зоны, 2008. Т. 25, № 1–2. С. 62–68.
- [3] Наквасина Е.Н., Прожерина Н.А., Чупров А.В., Беляев В.В. Реакция роста сосны обыкновенной на климатические изменения в широтном градиенте // ИзВУЗ. Лесной Журнал, 2018. № 5. С. 82–93.
- [4] Однополова И.С. Семеношение различных климатипов сосны обыкновенной в Красноярском лесничестве Самарской области // Изв. Оренбургского государственного аграрного университета, 2017. № 2. С. 53–56.
- [5] Кузьмина Н.А. Особенности генеративных органов сосны обыкновенной разного происхождения в географических культурах // Хвойные бореальной зоны, 2007. Т. 24. № 2–3. С. 225–235.
- [6] Memišević Hodžić M., Bejtić S., Ballian D. Interaction Between the Effects of Provenance Genetic Structure and Habitat Conditions on Growth of Scots Pine in International Provenance Tests in Bosnia and Herzegovina // South-east European forestry, 2020, v. 11, no. 1, pp. 1–6.
- [7] Sophan Chhin Dendroclimatic analysis of white pine (*Pinus strobus* L.) using long-term provenance test sites across eastern North America // Forest Ecosystems, 2018, no. 18, pp. 1–15.
- [8] Zhang, Z., Jin, G., Feng, Z. Joint influence of genetic origin and climate on the growth of Masson pine (*Pinus massoniana* Lamb.) in China // Scientific Reports, 2020, no. 10, p. 4653.
- [9] Иванов А.М. Изучение морфологической изменчивости шишек сосны обыкновенной (*Pinus Sylvestris* L.) в Костромской области // Вестник МГУЛ – Лесной вестник, 2011. № 4. С. 192–195.
- [10] Бессчетнова Н.Н. Сосна обыкновенная (*Pinus sylvestris* L.). Репродуктивный потенциал плосовых деревьев. Нижний Новгород: Нижегородская государственная сельскохозяйственная академия, 2015. 586 с.
- [11] Balekogu, S., Calinskan, S. & Dirik, H. Effects of geoclimatic factors on the variability in *Pinus pinea* cone, seed, and seedling traits in Turkey native habitats // Ecological Processes, 2020, no. 9, p. 55.
- [12] Наквасина Е.Н., Бедрицкая Т.В. Семенные плантации северных экотипов сосны обыкновенной. Архангельск: ПГУ, 1999. 143 с.
- [13] Наквасина Е.Н., Юдина О.А., Прожерина Н.А., Камалова И.И., Минин Н.С. Географические культуры в ген-экологических опытах на Европейском Севере. Архангельск: Архангельский ГТУ, 2008. 308 с.

- [14] Проказин, Е.П., Богачев, А.В. Наследственная адаптация сосны обыкновенной к климатическим факторам и возможность ее оценки и прогнозирования // Генетика, селекция, семеноводство и интродукция лесных пород / под ред. Н.В. Чусова. М.: Центральный научно-исследовательский институт лесной генетики и селекции, 1975. С. 131–146
- [15] Курнаев С.Ф. Лесорастительное районирование СССР. М.: Лесная пром-сть, 1973. 240 с.
- [16] Ромедер Э., Шенбах Г. Генетика и селекция лесных пород. М.: Сельхозиздат, 1962. 268 с.
- [17] Мамаев С.А. Основные признаки методики исследования видовой изменчивости древесных растений // Индивидуальная и экологическая изменчивость растений / под ред. П.Л. Горчаковского. Свердловск: Уральский научный центр академии наук СССР, 1975. С. 3–14.
- [18] Kuusela K. Development of Nordic Forest Resources in the results of the European Timber Trend Studies // Communications of the Norwegian Forest Research Institute, 1986, v. 39, no. 15, pp. 265–281.
- [19] Ярмишко В.Т. Сосна обыкновенная и атмосферное загрязнение на Европейском Севере. СПб.: Изд-во НИИ химии, 1997. 210 с.
- [20] Белецкий И.Б. Плодоношение сосны на Кольском полуострове. Мурманск: Мурманское книжное изд-во, 1968. 131 с.
- [21] Каппер О.Г. Хвойные породы, Лесоводственная характеристика. М.: Гослесбумиздат, 1954. 303 с.
- [22] Наквасина Е.Н. Изменения в генеративной сфере сосны обыкновенной при имитации потепления климата // Изв. Санкт-Петербургской лесотехнической академии, 2018. № 209. С. 114–125.

Сведения об авторах

Чупров Алексей Владимирович — аспирант, Северный (Арктический) Федеральный университет имени М.В. Ломоносова, ст. специалист 1-го разряда управления использования лесов и договорных отношений Министерства природных ресурсов и лесопромышленного комплекса Архангельской обл., alexchuprov@mail.ru

Наквасина Елена Николаевна — д-р с.-х. наук, профессор, Северный (Арктический) Федеральный университет имени М.В. Ломоносова, nakvasina@yandex.ru

Прошерина Надежда Александровна — канд. биол. наук, ст. науч. сотр., ФГБУН Федеральный исследовательский центр комплексного изучения Арктики имени академика Н.П. Лаврова УрО РАН, pronad1@yandex.ru

Поступила в редакцию 12.01.2021.

Принята к публикации 26.03.2021.

SCOTS PINE (*PINUS SYLVESTRIS* L.) CONES PHENOTYPIC VARIATION GROWING IN PROVENANCE TRIALS OF ARKHANGELSK REGION

A.V. Chuprov^{1,2}, E.N. Nakvasina¹, E.A. Prozherina³

¹Northern (Arctic) Federal University named after M.V. Lomonosov, 17, Naberezhnaya Severnoy Dviny, 163002, Arkhangelsk, Russia

²Ministry of Natural Resources and Timber Industry of the Arkhangelsk Region, 18, Vyucheyskogo, 163000, Arkhangelsk, Russia

³N. Laverov Federal Center for Integrated Arctic Research of the Ural Branch of the Russian Academy of Sciences, 23, Naberezhnaya Severnoy Dviny, 163000, Arkhangelsk, Russia

nakvasina@yandex.ru

The study results of phenotypic variability of Scots pine cones climatype (23 variants) in provenance trials in the Plesetsk forestry of the Arkhangelsk region, created in 1977, are given. The distribution of cones in the collection of provenance according to the forms of the apophysis proposed by Pravdin L.F. is presented, linear parameters, mass, shape coefficient and density of cones are determined. Pine provenances were conditionally divided into two groups depending on the geographical coordinates of the original plantations — western (with a latitudinal localization of climates from 68 to 55 degrees. N., but close in longitude) and eastern (with a longitude localization of climates from 40 to 73 degrees. E., but close in latitude) groups. In both groups, the distribution of cones according to the forms of the apophysis has a similar structure, the form of the apophysis f. gibba is most pronounced. The severity of the shape of the apophysis of the cone can be associated with the genetic features of the species and with the conditions of the growth place of the original plantations. Significant correlation connections between shape of cones apophysis with temperature climatic indices are established. In the collection of provenances, when growing under the same type of conditions, the length and width of the cone are equalized between offspring, however, the increase in the mass of the bump and the decrease in its density are under great genetic control, although it is associated with the geographical origin of the offspring.

Keywords: provenance trial, Scots pine, apophysis of cones, biometric indicators, climatic characteristics

Suggested citation: Chuprov A.V., Nakvasina E.N., Prozherina E.A. *Izmenchivost' shishek sosny obyknovennoy (Pinus sylvestris L.), proizrastayushchey v geograficheskikh kul'turakh Arkhangel'skoy oblasti* [Scots pine (*Pinus sylvestris* L.) cones phenotypic variation growing in provenance trials of Arkhangelsk region]. *Lesnoy vestnik / Forestry Bulletin*, 2021, vol. 25, no. 3, pp. 24–33. DOI: 10.18698/2542-1468-2021-3-24-33

References

- [1] Pravdin L.F. *Sosna obyknovennaya* [The Scots pine], Moscow: Nauka, 1964, 190 p.
- [2] Novikova T.N. *Osobennosti semenosheniya sosny obyknovennoy v geograficheskikh kul'turakh v Krasnoyarskoy lesostepi* [Features of seed-growing scots pine in provenance trial in the Krasnoyarsk forest-steppe]. *Khvoynye boreal'noy zony* [Coniferous boreal zones], 2008, iss. 25, no. 1–2, pp. 62–68.
- [3] Nakvasina E.N., Prozherina N.A., Chuprov A.V., Belyaev V.V. *Reaktsiya rosta sosny obyknovennoy na klimaticheskie izmeneniya v shirotnom gradiente* [Growth response of Scots Pine to Climate in the Latitudinal Gradient] *Lesnoy Zhurnal* (Russian Forestry Journal), 2018, no. 5, pp. 82–93.
- [4] Odnopolova I.S. *Semenoshenie razlichnykh klimatipov sosny obyknovennoy v Krasnoyarskom lesnichestve Samarskoy oblasti* [Seed of various climates of cots pine in the Krasnoyarsk forestry of the Samara region]. *Izvestiya Orenburgskogo gosudarstvennogo agrarnogo universiteta* [Bulletin of the Orenburg State Agrarian University], 2017, no. 2, pp. 53–56.
- [5] Kuz'mina N.A. *Osobennosti generativnykh organov sosny obyknovennoy raznogo proiskhozhdeniya v geograficheskikh kul'turakh* [Features of generative organs of scots pine of various origins in provenance trial]. *Khvoynye boreal'noy zony* [Coniferous boreal zones], 2007, no. 24, pp. 225–235.
- [6] Memišević Hodžić M., Bejtić S., Ballian D. Interaction Between the Effects of Provenance Genetic Structure and Habitat Conditions on Growth of Scots Pine in International Provenance Tests in Bosnia and Herzegovina. *South-east European forestry*, 2020, v. 11, no. 1, pp. 1–6.
- [7] Sophan Chhin Dendroclimatic analysis of white pine (*Pinus strobus* L.) using long-term provenance test sites across eastern North America. *Forest Ecosystems*, 2018, no. 18, pp. 1–15.
- [8] Zhang, Z., Jin, G., Feng, Z. Joint influence of genetic origin and climate on the growth of Masson pine (*Pinus massoniana* Lamb.) in China. *Scientific Reports*, 2020, no. 10, p. 4653.
- [9] Ivanov A.M. *Izuchenie morfologicheskoy izmenchivosti shishek sosny obyknovennoy (Pinus Sylvestris L.) v Kostromskoy oblasti* [Study of morphological variability of scots pine cones (*Pinus Sylvestris* L.) in the Kostroma region]. *Moscow state forest university bulletin – Lesnoy vestnik*, 2011, no. 4, pp. 192–195.
- [10] Besschetnova N.N. *Sosna obyknovennaya (Pinus sylvestris L.). Reproductivnyy potentsial plyusovykh derev'ev* [Scots pine. Breeding potential of plus tree]. *Nizhny Novgorod: Nizhegorodskaya gosudarstvennaya sel'skokhozyaystvennaya akademiya* [Nizhny Novgorod State Agricultural Academy], 2015, 586 p.
- [11] Balekogu, S., Calinskan, S. & Dirik, H. Effects of geoclimatic factors on the variability in *Pinus pinea* cone, seed, and seedling traits in Turkey native habitats. *Ecological Processes*, 2020, no. 9, p. 55.
- [12] Nakvasina E.N., Bedritskaya T.V. *Semennye plantatsii severnykh ekotipov sosny obyknovennoy* [Seed plantations of northern ecotypes of scots pine], Arkhangelsk: PGU, 1999, 143 p.
- [13] Nakvasina E.N., Yudina O.A., Prozherina N.A., Kamalova I.I., Minin N.S. *Geograficheskie kul'tury v gen-ekologicheskikh opytakh na Evropeyskom Severe* [Provenance trials in gene-ecological experiments in the European North]. Arkhangelsk: Arkhangelsk State Technical University, 2008, 308 p.
- [14] Prokazin E.P., Bogachev A.V. *Nasledstvennaya adaptatsiya sosny obyknovennoy k klimaticheskim faktoram i vozmozhnost' ee otsenki i prognozirovaniya* [Hereditary adaptation of scots pine to climatic factors and the possibility of its assessment and forecasting]. *Genetika, selektsiya, semenovodstvo i introduktsiya lesnykh porod* [Genetics, selection, seed production and introduction of forest species], 1975, pp. 131–146.
- [15] Kurnaev S.F. *Lesorastitel'noe rayonirovanie SSSR* [Forest zoning in USSR]. Moscow: Lesnaya promyshlennost' [Forest Industry], 1973, 240 p.
- [16] Romeder E., Shenbakh G. *Genetika i selektsiya lesnykh porod* [Genetics and breeding of forest species]. Moscow: Sel'khozizdat, 1962, 268 p.
- [17] Mamaev S.A. *Osnovnye priznaki metodiki issledovaniya vidovoy izmenchivosti drevesnykh rasteniy* [Main features of the methodology for studying species variability of woody plants]. *Individual'naya i ekologicheskaya izmenchivost' rasteniy* [Individual and ecological variability of plants], 1975, pp. 3–14.
- [18] Kuusela K. Development of Nordic Forest Resources in the results of the European Timber Trend Studies. *Communications of the Norwegian Forest Research Institute*, 1986, v. 39, no. 15, pp. 265–281.
- [19] Yarmishko V.T. *Sosna obyknovennaya i atmosfernoe zagryaznenie na Evropeyskom Severe* [Scots pine and atmospheric pollution in the European North]. St. Petersburg: Izd-vo NII khimii [Publishing House of Research Institute of Chemistry], 1997, 210 p.
- [20] Beletskiy I.B. *Plodonoshenie sosny na Kol'skom poluostrove* [Fruiting of pine on the Kola Peninsula]. Murmansk: Murmanskoe knizhnoe izd-vo [Murmansk book publishing house], 1968, 131 p.
- [21] Kapper O.G. *Khvoynye porody, Lesovodstvennaya kharakteristika* [Softwood. Silvicultural characteristic]. Moscow: Goslesbumizdat, 1954, 303 p.
- [22] Nakvasina E.N. *Izmeneniya v generativnoy sfere sosny obyknovennoy pri imitatsii potepelenii klimata* [Changes in the generative sphere of scots pine when simulating climate warming]. *Izvestiya Sankt-Peterburgskoy lesotekhnicheskoy akademii* [Bulletin of the St. Petersburg Forestry Academy], 2018, no. 209, pp. 114–125.

Authors' information

Chuprov Aleksey Vladimirovich — Pg. Student of the Northern (Arctic) Federal University, named after M.V. Lomonosov, Senior Specialist of the 1st category of Ministry of Natural Resources and Forestry of Arkhangelsk Region, alexchuprov@mail.ru

Nakvasina Elena Nikolaevna — Dr. Sci. (Agriculture), Professor of the Northern (Arctic) Federal University named after M.V. Lomonosov, nakvasina@yandex.ru

Vezherina Nadezhda Aleksandrovna — Cand. Sci. (Biology), Senior Researcher of the N. Laverov Federal Center for Integrated Arctic Research of the Ural Branch of the Russian Academy of Sciences, pronad1@yandex.ru

Received 12.01.2021.

Accepted for publication 26.03.2021.

УДК 630*165.3: 581.483

DOI: 10.18698/2542-1468-2021-3-34-41

ВНУТРИПОПУЛЯЦИОННАЯ ИЗМЕНЧИВОСТЬ КАЧЕСТВА ШИШЕК И СЕМЯН КЕДРА СИБИРСКОГО НА ПЛАНТАЦИИ С РАЗРЕЖЕННОЙ ПОСАДКОЙ

А.В. Попов^{1,2}, С.Н. Велисевич¹

¹Институт мониторинга климатических и экологических систем СО РАН, 634055, г. Томск, пр. Академический, д. 10/3

²Национальный исследовательский Томский государственный университет, 634050, г. Томск, пр. Ленина, д. 36

tomskceltic@gmail.com

Представлены результаты изучения уровня и характера изменчивости качества шишек и семян у 32 деревьев кедров сибирского (*Pinus sibirica* Du Tour). Использована система признаков, которая отражает последовательность процесса формирования урожая — от дифференциации шишки до созревания семян. Установлен максимальный уровень изменчивости у признаков, характеризующих отклонения в эмбриогенезе семян, что приводит к увеличению доли недоразвитых, пустых и неполных семян, а у признаков, обусловленных влиянием материнского растения на особенности заложения, дифференциации и роста шишек (число чешуй и семян) уровень изменчивости существенно ниже. Определено нормальное распределение признаков, характеризующих количество различных элементов шишек. Показано, что распределения признаков, отражающих уровень абортности семяпочек на различных этапах их развития, свойственны положительные асимметрия и эксцесс. Предлагается в качестве итогового селекционного признака с высоким уровнем внутрипопуляционной изменчивости использовать массу полных семян дерева в пересчете на единицу площади горизонтальной проекции кроны, поскольку использование этого признака является перспективным для поиска деревьев, сочетающих узкокронность с большой массой семян.

Ключевые слова: кедр сибирский, внутрипопуляционная изменчивость, плантация с разреженной посадкой, структура шишек, качество семян

Ссылка для цитирования: Попов А.В., Велисевич С.Н. Внутрипопуляционная изменчивость качества шишек и семян кедров сибирского на плантации с разреженной посадкой // Лесной вестник / Forestry Bulletin, 2021. Т. 25. № 3. С. 34–41. DOI: 10.18698/2542-1468-2021-3-34-41

Кедр сибирский (*Pinus sibirica* Du Tour) — единственный в России орехоплодный вид, семена которого являются популярным пищевым продуктом как в России, так и за рубежом, высокоценным для человека и природных экосистем. В настоящее время тем не менее продолжают незаконные рубки в кедровых лесах, изъятие семян из естественных популяций, что крайне негативно отражается на их воспроизводстве [1]. Единственным выходом из сложившегося положения представляется введение кедров в культуру путем создания специальных орехоплодных плантаций (прививочным или семенным материалом), ориентированных на производство товарного кедрового ореха. Такая мера будет значительно способствовать решению проблемы рационального использования российского лесного генофонда и актуального на сегодняшний день развития импорта кедровых орехов.

Кедровые орехоплодные плантации в России создаются уже давно, однако заметных успехов до сих пор достичь не удалось по нескольким причинам. Прежде всего ограничивают развитие этого процесса медленный рост деревьев кедров на ранних этапах онтогенеза, их позднее вступление в половую репродукцию [2], невозможность ввоза селекционного материала из-за рубежа, поскольку вид характеризуется исключительно российским ареалом. Усложняет ситуацию и

необходимость длительного многоступенчатого селекционного процесса [3], начинающегося с отбора в естественных или полустественных насаждениях (припоселковых кедровниках) плюсовых высокоурожайных деревьев по фенотипу. После этого следуют несколько этапов испытания отобранного материала на клоновых плантациях: выделение плюсовых генотипов, затем элитных сортов-клонов из их числа, и лишь после этого возможен окончательный отбор проверенных высокоурожайных генотипов [4]. Кроме трудоемкости самого селекционного процесса и отсутствия финансирования создание орехоплодных плантаций тормозится несовершенством методик. Например, в действующих «Рекомендациях по отбору плюсовых деревьев кедров сибирского на семенную продуктивность» [5] прямой отбор по обилию плодоношения предлагается проводить с использованием примитивной глазомерной методики.

Сочетание перечисленных выше негативных факторов привело к тому, что селекционная работа остановилась на этапе отбора плюсовых деревьев по фенотипу и создания первого цикла испытательных культур [1, 3, 4, 6–10]. Однако даже этих исследований оказалось достаточно, чтобы понять, что высокая фенотипическая изменчивость по урожайности в естественных популяциях, где проводился отбор плюсовых

деревьев, практически не имеет генотипической природы [11]. Иначе говоря, свойственная материнским деревьям повышенная урожайность не проявилась в их вегетативном потомстве. Это свидетельствует о том, что в естественных насаждениях и припоселковых кедровниках доля генотипической изменчивости плодоношения в общей фенотипической изменчивости незначительна [12]. Таким образом, перспективные для селекции генотипы можно выявить только при глубоком анализе генеративной структуры кроны деревьев [13, 14], а это, к сожалению, еще более усложнило бы и растянуло во времени селекционный процесс.

Повышение эффективности первоначального отбора на урожайность возможно путем создания специальных искусственных популяций. Об актуальности этой работы уже говорилось ранее [4, 10–13, 15–18]. Это — лесные плантации с разреженной посадкой, созданные из семян местного происхождения с близким к исходному уровню генетического полиморфизма [19]. Разреженная посадка почти вдвое сокращает возраст вступления в половую репродукцию [4, 20, 21]. Однако наиболее важным их преимуществом является отсутствие внутри- и межвидовой конкуренции, что существенно снижает уровень естественного отбора и увеличивает генетический полиморфизм [22, 23]. Это позволяет выживать особям с предрасположенностью к более раннему и обильному плодоношению, которые в условиях сомкнутого насаждения вследствие больших энергетических затрат на эти цели и отставания в росте имели бы мало шансов выжить в борьбе за существование. Индивидуальная селекция на количество и качество урожая, проводимая на таких плантациях, может быть результативнее, поскольку здесь больше возможностей для отбора деревьев с нехарактерным для естественных насаждений аномально ранним и обильным плодоношением [21], высоким качеством шишек и семян.

Цель работы

Цель работы — анализ уровня внутрипопуляционной изменчивости признаков, характеризующих весь ход формирования урожая семян — от дифференциации шишки до созревания семян на примере молодых плодоносящих деревьев кедр сибирского, произрастающих на плантации с разреженной посадкой, а по результатам этого анализа — оценка значимости и перспективности отдельных признаков дерева, характеризующих генеративное развитие для селекции, выдача рекомендаций по усовершенствованию методов первичного отбора в естественных и искусственных популяциях.

Материалы и методы исследования

Анализируемая плантация расположена на юге равнинной западносибирской части ареала кедр сибирского на территории Калтайского участкового лесничества Томской обл. (56°13' с. ш., 84°49' в. д.). Она создана из семян местной популяции, которые были высажены в 1977 г. в качестве производственных культур с обычной плотностью — 0,75×3 м. В 1987 г., по достижении деревьями высоты 1,5 м, их выкопали и рассаживали по схеме 8×8 м. За деревьями плантации осуществляется регулярный лесотехнический уход. К 2019 г. они достигли 42-летнего возраста и генеративного этапа развития.

Для анализа качества шишек и семян с каждого дерева в конце августа 2019 г. был взят образец — 10 зрелых шишек, отобранных случайно из числа неповрежденных насекомыми и птицами. Анализ структуры шишек проводили по общепринятым методикам [24, 25]. Для этого отделяли чешуи от оси и подсчитывали число стерильных (без семян) и фертильных (с семенами). Стерильные чешуи были сосредоточены в проксимальной и дистальной частях шишек, но в небольшом количестве встречались и в медиальной части, где должны располагаться фертильные чешуи. Поэтому подсчет этих трех категорий стерильных чешуй проводили раздельно. Семена подразделяли на развитые (нормального размера) и недоразвитые (явно меньшего размера). Качество развитых семян определяли методом рентгенографии [26, 27].

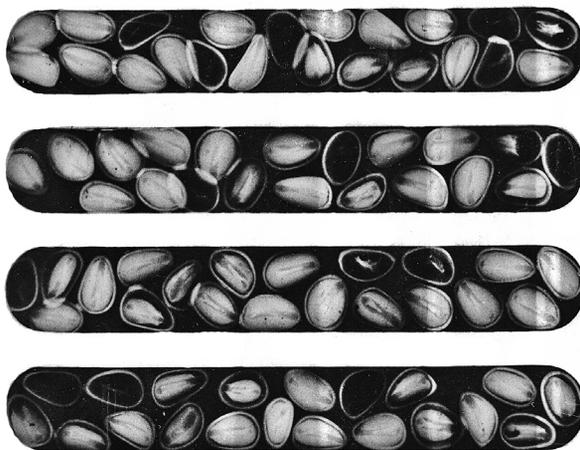


Рис. 1. Фрагмент рентгенограммы семян. Полные семена имеют светло окрашенный эндосперм, занимающий весь объем семени, пустые семена имеют темную окраску со светлыми остатками сохшегося эндосперма, неполные семена представлены различными вариантами дефекта эндосперма

Fig. 1. The fragments of seeds x-ray. Full seeds have a light colored endosperm that occupies the entire volume of the seed, empty seeds are dark in color with light residues of shriveled endosperm, incomplete seeds have a various variants of endosperm defect

На рентгенограмме (рис. 1) подсчитывали число: полных семян с полноценным эндоспермом и зародышем, семян с недоразвитым эндоспермом с живым или мертвым зародышем и пустых семян без эндосперма и зародыша. Массу семян определяли путем взвешивания 100 полных семян. Кроме абсолютных показателей использовали относительный — массу полных семян дерева на единицу площади горизонтальной проекции кроны.

Анализ фактического материала проводили с использованием программ Microsoft Excel и Statistica 12.0.

Результаты и обсуждение

У кедра сибирского цикл развития шишки (женского стробила) растянут на три года [13], поэтому структура зрелых шишек складывается на протяжении трехлетнего периода под действием разнообразных факторов, подразделяющихся на три качественно различающиеся группы [25]: 1) подверженные влиянию материнского растения на особенности заложения, дифференциации и роста шишек и семян; 2) зависящие от условий опыления, т. е. пыльцевого режима, количества и качества пыльцы; 3) зависящие от взаимодействия пыльцы и семяпочки, мужских и женских гамет, совместимости их генотипов в процессах оплодотворения и эмбриогенеза. Признаки, использованные в настоящей работе, складываются под действием различного соотношения этих трех групп факторов.

Первые две группы факторов определяют структуру шишек. Она характеризуется соотношением различных категорий чешуй: фертильных, стерильных в проксимальной, дистальной и медиальной зонах. При благоприятном течении процессов опыления и оплодотворения медиальная зона шишек почти полностью занята фертильными чешуями, под которыми формируются семена. Стерильных чешуй в этом случае мало или же они отсутствуют. Сокращение доли фертильных чешуй за счет увеличения доли стерильных свидетельствует о возможных отклонениях в ходе опыления и оплодотворения.

Анализ полученных результатов показал, что для общего количества чешуй в шишке характерен низкий уровень изменчивости и тенденция к отрицательной асимметрии (табл. 1). Более половины всех чешуй приходится на самые мелкие и лишенные семян стерильные чешуи у проксимального и дистального полюсов шишки, причем более четверти из них — проксимальные. Уровень изменчивости этих двух признаков связан с числом чешуй в каждой из зон: чем выше доля зоны, тем меньше уровень индивидуальной изменчивости. Распределение характеризуется значительной положительной асимметрией. Доля

медиальной зоны шишки, где располагаются фертильные (потенциально семенные) чешуи составляет всего лишь 46 %. К примеру, у зрелых деревьев из припоселковых кедровников она достигает 60 % [25]. Тем не менее, значительный уровень изменчивости по структуре шишек позволяет отобрать особи с долей фертильной зоны, превышающей среднее для популяции значение на 20–25 %. Таких деревьев на исследуемой нами плантации оказалось 4 шт.

Вторая и третья группа факторов, которые в совокупности влияют на успех взаимодействия пыльцы и семяпочки, оплодотворение и ход эмбриогенеза, определяют количество и качество семян с учетом их потерь на последовательных стадиях развития. Каждая семенная чешуя в норме несет две семяпочки и соответственно два семени. Если бы каждая из потенциально семенных чешуй в медиальной зоне зрелой шишки имела два семени, то при среднем числе чешуй 45,4 шт. исходное число семяпочек составило бы 90,8 шт. (табл. 2). Однако 5,5 % чешуй фертильной зоны шишки не имеют семян, т. е. являются стерильными (см. табл. 1). Кроме того, часть фертильных чешуй имеют одно семя вместо двух. Поэтому фактическое количество семян (в процентах потенциально возможного — уровень семификации) составляет в среднем 70,3 %. Часть семян (в среднем 4,9 %) являются недоразвитыми. Они не имеют ни зародыша, ни эндосперма. Из числа развитых семян 16,5 % являются совершенно пустыми, 6,3 % имеют недоразвитый эндосперм. Доля полных семян в шишке — 55 % потенциально возможного количества. Таким образом, 45,9 % семяпочек не образуют полноценных семян: 26 % вообще не дают семян, 3,6 % развиваются в недоразвитые, 11,8 % — в пустые семена нормального размера и 4,5 % — в семена с недоразвитым эндоспермом.

Исходное число семяпочек отличается средним уровнем изменчивости и близким к нормальному распределению. В распределении по числу потенциальных → развитых → полных семян проявляется тенденция к положительной асимметрии, а уровень изменчивости в этой последовательности увеличивается. Однако резкая асимметрия распределений особенно хорошо заметна при анализе признаков, непосредственно характеризующих потери урожая семян на различных стадиях развития. Наблюдается аномально высокий уровень изменчивости по числу недоразвитых семян. У некоторых деревьев потери на отдельных этапах практически отсутствуют, у большинства незначительны и лишь у немногих деревьев достигают 40...50 %. Например, из 32 деревьев 3 имеют долю недоразвитых семян свыше 10 %, 2 дерева — свыше 20 % и одно

Т а б л и ц а 1

Внутрипопуляционная изменчивость числа чешуй шишек**Intrapopulation variability number of scales in cone**

Признак	$X \pm \sigma$	Min...max	$C_v, \%$	A_s	E_k
Сумма чешуй, шт.	84,2 ± 10,52	61...120	12,5	-0,44	-0,61
Стерильные в проксимальной зоне, шт.	26,2 ± 4,82	15...44	18,4	0,49	-0,19
Стерильные в дистальной зоне, шт.	12,6 ± 3,71	6...26	29,4	0,89	0,61
Фертильные в медиальной зоне, шт.	40,8 ± 10,04	15...71	24,6	0,15	-0,02
Стерильные в медиальной зоне, шт.	4,6 ± 4,94	0...27	107,9	1,59	2,13

Примечание. X – среднее значение; σ – стандартное отклонение; C_v — коэффициент вариации; A_s — асимметрия; E_k — эксцесс.

Т а б л и ц а 2

Внутрипопуляционная изменчивость в ряду признаков, характеризующих количество семян с учетом их потерь на последовательных стадиях развития**Intrapopulation variability of group traits characterizing the number of seeds into record their losses at successive stages of development**

Признак	$X \pm \sigma$	Min...max	$C_v, \%$	A_s	E_k
Исходное число семяпочек, шт.	90,8 ± 20,61	38...146	22,7	0,05	-0,2
Число погибших семяпочек, шт.	23,6 ± 14,41	1...83	61,0	0,69	-0,35
Число развитых семян, шт.	64,8 ± 19,53	16...121	30,6	0,21	0,28
Число недоразвитых семян, шт.	3,3 ± 8,27	0...51	249,5	4,86	25,21
Число полных семян	50,0 ± 18,69	9...96	38,2	0,03	0,16
Число пустых семян	10,7 ± 7,56	1...37	70,7	0,78	-0,14
Число семян с недоразвитым эндоспермом	4,1 ± 5,29	0...30	127,7	1,98	4,65

дерево — свыше 45 %. Подобное распределение характерно и для доли пустых семян и семян с недоразвитым эндоспермом. Уровень внутрипопуляционной изменчивости этих признаков также очень высок.

Что касается потерь урожая семян, то традиционно рассматривают несколько этапов (последовательных хронологических периодов развития семяпочек), на которых происходит остановка развития [13]. Семяпочки, прекратившие развитие до оплодотворения, образуют недоразвитые семена. Семена нормального размера, но пустые, формируются в результате отсутствия оплодотворения, а имеющие неполный или поврежденный эндосперм — вследствие нарушений в эмбриогенезе. Следовательно, остановка развития, приводящая к образованию недоразвитых и неполных семян, может происходить практически на любом этапе, но у большинства исследованных нами деревьев основная масса погибших до оплодотворения семяпочек останавливается в развитии в самом начале периода роста по причине отсутствия оплодотворения. Это самый «критический» этап, когда смертность семяпочек резко увеличивается.

Из признаков, характеризующих потери урожая семян, наиболее хорошо изучена только внутрипопуляционная изменчивость полнозернистости. Этот признак в популяциях варьирует

примерно от 50 до 95 % [28–30]. Распределение деревьев по полнозернистости имеет распределение близкое к нормальному, так как у большинства деревьев плантации доля пустых семян не превышает 17 %, а деревья с более высокой их долей (25–57 %) не превышают 18 % всех деревьев плантации. Поэтому наши данные по внутрипопуляционной изменчивости доли пустых семян согласуются с имеющимися в литературе. Другие признаки потери урожая (доля погибших семяпочек, доля недоразвитых семян и доля семян с недоразвитым эндоспермом) имеют такие же высокий уровень изменчивости, асимметрию и эксцесс. По каждому из этих признаков встречаются деревья практически без потерь урожая на данном этапе и деревья с потерями до 87 %. Деревья без семян в шишках или с абсолютно пустыми семенами в нашей работе не встречены.

Итоговый результат формирования семени мы оцениваем по его массе. Природа этого признака сложная и определяется влиянием различных факторов. С одной стороны, масса семян зависит от размера шишки. Из предшествующих исследований известно, что чем больше шишка, тем больше масса одного полного семени [18]. С другой стороны, если в шишке по какой-то причине мало развитых семян, например, в среднем не по два развитых семени под чешуей,

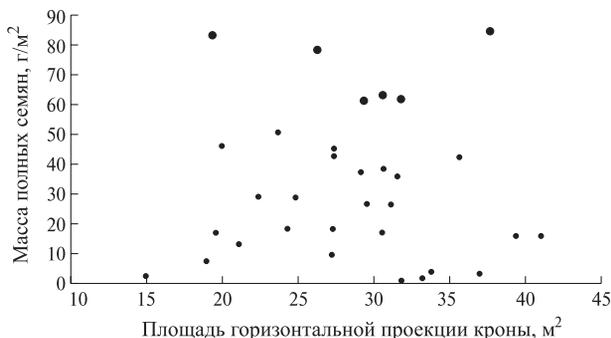


Рис. 2. Связь между массой полных семян на 1 м² площади проекции кроны и ее площадью у деревьев кедра сибирского на плантации с разреженной посадкой (крупным маркером выделены шесть деревьев, сочетающих большую массу семян на дереве при минимальных размерах кроны)

Fig. 2. The relationship between the weight of full seeds per 1 m² of crown projection area and area crown of Siberian cedar trees on a sparse stand plantation (a large marker are marked the six trees, combining a large mass of seeds on a tree with a minimum crown size)

а по одному, то масса одного полного семени сразу же заметно увеличивается по причине того, что одно семя под чешуей имеет больше возможностей для роста. Анализ полученных результатов показал, что масса одного полного семени (286,7 мг) оказалась положительно связана с длиной ($r = 0,36$) и диаметром шишки ($r = 0,62$) и отрицательно связана с числом развитых семян в шишке ($r = -0,17$). Иначе говоря, масса семени в большей степени зависит от размера шишки — ее потенциала, чем от потерь урожая.

Масса семени отличается очень низким уровнем внутрипопуляционной изменчивости (5%), однако тенденция к положительной асимметрии в распределении деревьев по массе одного полного семени позволяет отобрать особи, у которых значение этого признака на 30...40% превышает средний уровень. Таких деревьев на исследуемой плантации — 2 шт.

Итоговый показатель, по которому предполагается вести селекцию — это масса всех полных семян в шишке. Он определяется прежде всего числом полных семян в шишке ($r = 0,79$), в меньшей степени зависит от размеров самой шишки — ее длины ($r = 0,59$) и диаметра ($r = 0,62$), а также от числа фертильных чешуй ($r = 0,53$). По этому признаку выделяемы 5 деревьев с массой семян в шишке, превышающей 19 г. Уровень внутрипопуляционной изменчивости по данному признаку — высокий ($C_v = 32,2\%$).

Оптимизировать отбор особей с генотипической предрасположенностью к обильному плодоношению позволит использование «фоновых» признаков. А.И. Ирошников [15] и В.Н. Воробьев [31] ранее предлагали использовать число

шишек в расчете на 1 см диаметра ствола в качестве главного селектируемого признака. Мы полагаем, что более адекватным поставленной задаче будет расчет урожайности на единицу площади горизонтальной проекции кроны, которая точнее характеризует текущее физиологическое состояние дерева. Поэтому в качестве итогового селекционного признака мы предлагаем использовать массу всех полных семян дерева на 1 м² площади горизонтальной проекции кроны. В среднем по плантации значение этого признака составило 32,1 г/м², а высокий уровень его изменчивости (76,4%) позволил выделить шесть лучших деревьев, которые сочетают узкокронность с большой массой семян (56,6 г/м²) (рис. 2). Такие выдающиеся деревья перспективны для заложения промышленной орехоплодной плантации, селекционный дифференциал которой может увеличиться почти вдвое. Поскольку самоопыление у кедра сибирского не снижает качества семян [32], возможно заложение таких плантаций на основе небольшого числа клонов.

Выводы

Анализ внутрипопуляционной изменчивости структуры урожая кедра сибирского показал, что максимальный уровень изменчивости отмечается у признаков, характеризующих отклонения в эмбриогенезе семян, которые обуславливают увеличение доли недоразвитых, пустых и неполных семян. Уровень изменчивости признаков, вызванных влиянием материнского растения на особенности заложения, дифференциации и роста шишек (число всех чешуй, в том числе в проксимальной и дистальной зонах, число всех семян), существенно меньше. Эти признаки имеют нормальное распределение. Положительные асимметрия и эксцесс свойственны распределениям признаков, отражающих уровень абортивности семяпочек на различных этапах их развития (число стерильных чешуй в медиальной зоне шишки, число недоразвитых семян, число пустых и неполных семян). В качестве итогового селекционного признака с высоким уровнем внутрипопуляционной изменчивости предлагается использовать массу полных семян в шишке в пересчете на единицу площади горизонтальной проекции кроны. Использование этого признака перспективно для поиска деревьев, сочетающих узкокронность с большой массой семян.

Список литературы

- [1] Ильичев Ю.Н., Шуваев Д.Н. Состояние клоновых объектов кедра сибирского *Pinus sibirica* Du Tour Республики Алтай: сохранность и перспективы селекции // Сибирский лесной журнал, 2016. № 5. С. 33–44.

- [2] Николаева С.А., Велисевич С.Н., Савчук Д.А. Онтогенез *Pinus sibirica* на юго-востоке Западно-Сибирской равнины // Журнал Сибирского федерального университета. Биология, 2011. Т. 4. № 1. С. 3–22.
- [3] Титов Е.В. Плантационное выращивание кедровых сосен. Воронеж: ВГЛТА, 2004. 165 с.
- [4] Титов Е.В. Эффективный метод определения урожайности прививок кедров сибирского // Лесотехнический журнал, 2015. № 3. С. 112–122. DOI: 10.12737/14159
- [5] Ирошников А.И., Титов Е.В. Рекомендации по отбору плюсовых деревьев кедров сибирского на семенную продуктивность. Воронеж: Изд-во ЗАО «ВНИИЦлесресурс», 2000. 36 с.
- [6] Колегова Н.Ф. Географические прививочные плантации кедров и сосны // Географические культуры и плантации хвойных в Сибири / под ред. Е.Г. Мининой. Новосибирск: Наука, 1977. С. 154–166.
- [7] Кузнецова Г.В. Семеношение и качество семян клонов кедров сибирского разного происхождения на плантации в Красноярской лесостепи // Лесоведение, 2003. № 6. С. 42–48.
- [8] Брынцев В.А. Исследование семеношения кедров сибирского при интродукции // Лесохозяйственная информация, 1993. № 7. С. 29.
- [9] Земляной А.И., Ильичев Ю.Н., Тараканов В.В. Межклоновая изменчивость кедров сибирского по элементам семенной продуктивности: перспективы отбора // Хвойные бореальной зоны, 2010. № 1–2. С. 77–82.
- [10] Титов Е.В. Выделение сортов-клонов по семенной продуктивности у кедров сибирского // Лесное хозяйство, 2008. № 5. С. 31–33.
- [11] Горошкевич С.Н. Селекция кедров сибирского как орехоплодной породы // Лесное хозяйство, 2000. № 4. С. 25–27.
- [12] Авров Ф.Д., Воробьев В.Н. Экологические, селекционные и организационно-технические проблемы современного искусственного лесовосстановления // Проблемы региональной экологии, 1994. Вып. 2. С. 69–73.
- [13] Некрасова Т.П. Биологические основы семеношения кедров сибирского. Новосибирск: Наука, 1972. 272 с.
- [14] Воробьев В.Н., Воробьева Н.А., Горошкевич С.Н. Рост и пол кедров сибирского. Новосибирск: Наука, 1989. 167 с.
- [15] Ирошников А.И. Полиморфизм популяций кедров сибирского // Изменчивость древесных растений Сибири / под ред. Е.Г. Мининой, А.И. Ирошниковой. Красноярск: Изд-во Ин-та леса и древесины СО АН СССР, 1974. С. 77–103.
- [16] Авров Ф.Д. Экология и селекция лиственницы. Томск: Изд-во «Спектр» ИОА СО РАН, 1996. 213 с.
- [17] Авров Ф.Д., Воробьев В.Н. Проблемы и перспективы лесовосстановления и лесного семеноводства // Лесное хозяйство, 1992. № 5. С. 39–41.
- [18] Горошкевич С.Н. Пространственно-временная и структурно-функциональная организация кроны кедров сибирского: автореф. дис. ... д-ра биол. наук. Томск, 2011. 37 с.
- [19] Afonso A., Gonçalves A.C., Pereira D.G. *Pinus pinea* (L.) nut and kernel productivity in relation to cone, tree and stand characteristics // Agroforestry Systems, 2020, v. 94, pp. 2065–2079. DOI: 10.1007/s10457-020-00523-4
- [20] Матвеева Р.Н., Милютин Л.И., Буторова О.Ф., Братилова Н.П. Отбор деревьев кедров сибирского высокой репродуктивной способности на географической лесосеменной плантации // ИзВУЗ Лесной журнал, 2017. № 2. С. 9–20. DOI: 10.17238/issn0536-1036.2017.2.9.
- [21] Велисевич С.Н., Попов А.В. Структура разнообразия по вегетативной и генеративной структуре кроны кедров сибирского на плантации с разреженной посадкой // ИзВУЗ Лесной журнал, 2019. № 5. С. 35–47. DOI: 10.17238/issn0536-1036.2019.5.35
- [22] Петрова Е.А., Велисевич С.Н., Белоконов М.М. Вступление в половую репродукцию и гетерозиготность сосны кедровой сибирской (*Pinus sibirica* Du tour) при различных способах формирования искусственных популяций // Структурно-функциональная организация и динамика лесов. Красноярск: Изд-во Института леса им. В.Н. Сукачева СО РАН, 2004. С. 455–457.
- [23] Велисевич С.Н., Петрова Е.А. Рост и вступление в плодоношение деревьев орехоплодной плантации и производственных культур кедров сибирского // Лесное хозяйство, 2006. № 3. С. 39–40.
- [24] Owens J.N., Kittirat T., Mahalovich M.F. Whitebark pine (*Pinus albicaulis* Engelm.) seed production in natural stands // Forest Ecology and Management, 2008, v. 255, iss. 3–4, pp. 803–809. DOI:10.1016/j.foreco.2007.09.067
- [25] Горошкевич С.Н., Хуторной О.В. Внутрипопуляционное разнообразие шишек и семян *Pinus sibirica* Du Tour. Сообщение 1. Уровень и характер изменчивости признаков // Растительные ресурсы, 1996. Т. 32. Вып. 3. С. 1–11.
- [26] Щербакова М.А. Определение качества семян хвойных пород рентгенографическим методом. Красноярск: Красноярское книжное изд-во, 1965. 35 с.
- [27] Castilleja-Sánchez P., Delgado Valerio P., Sáenz-Romero C., Herrerías-Diego Y. Reproductive success and inbreeding differ in fragmented populations of *Pinus rzedowskii* and *Pinus ayacahuite* var. *veitchii*, two endemic mexican pines under threat // Forests, 2016, v. 7, iss. 8, pp. 178–194. DOI: 10.3390/f7080178
- [28] Щербакова М.А. Определение качества семян рентгенографическим методом // Плодоношение кедров сибирского в Восточной Сибири. М.: Изд-во АН СССР, 1963. Т. 62. С. 168–173.
- [29] Dreimanis A., Smemane I. Priedes generativo organu mainiba sekly plantacija // Latv. lankšaimn akad. raksti., 1976, v. 112, pp. 9–12.
- [30] Ефимов Ю.П. Принципы и методы отбора деревьев по особенностям плодоношения // Рекомендации по повышению урожая и качества семян на плантациях и лесосеменных участках сосны и дуба в ЦЧО. Воронеж: Изд-во ЦНИЛГиС, 1981. С.5–9.
- [31] Воробьев В.Н. Методика оценки и отбора деревьев кедров сибирского на урожайность // Состояние и перспективы развития лесной генетики, селекции и семеноводства. Методы селекции древесных пород: Сб. тезисов докл. совещания (13–15 августа 1974, Рига). Рига: [б. и.], 1974. С. 32–36.
- [32] Авров Ф.Д. Посевные качества семян и фенологическое развитие деревьев припоселковых кедровников // Проблемы кедров. Организация комплексного хозяйства / под ред. В.Н. Воробьева. Томск: Изд-во ТИЦ СО АН СССР, 1989. Вып. 1. С. 113–121.

Сведения об авторах

Попов Александр Владимирович — аспирант НИ ТГУ, ст. преподаватель кафедры лесного хозяйства и ландшафтного строительства НИ ТГУ, инженер I кат., ИМКЭС СО РАН, tomस्कeltic@gmail.com

Велисевич Светлана Николаевна — канд. биол. наук, ст. науч. сотр. ИМКЭС СО РАН, velisevich@imces.ru

Поступила в редакцию 30.12.2020.

Принята к публикации 18.01.2021.

INTRAPOPULATION VARIATION OF SIBERIAN STONE PINE CONES AND SEEDS QUALITY IN SPACED PLANTING PLOTS

A.V. Popov^{1, 2}, S.N. Velisevich¹

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

²Tomsk State University, 36, Lenina av., 634050, Tomsk, Russia

tomskceltic@gmail.com

For Siberian stone pine (*Pinus sibirica* Du Tour), a valuable nut-bearing species, the development of a system of selectively significant signs of crop quality is relevant, which is necessary for the introduction of this species into culture. Were studied the level and nature of variability in the quality of cones and seeds in 32 trees on a 42-year-old plantation with sparse planting trees of 8×8 m (south of the Tomsk region). The used system of traits reflects the sequence of the crop formation process — from cone differentiation to seed ripening. We are establish that the maximum level of variability is observed in characters characterizing deviations in seed embryogenesis, leading to an increase in the proportion of underdeveloped, empty and incomplete seeds. The level of variability of traits caused by the influence of the mother plant is much lower on the features of the establishment, differentiation, and growth of cones (the number of scales and seeds). The signs characterizing the number of different elements of the cones have a normal distribution. Positive asymmetry and kurtosis are characteristic of the distributions of signs reflecting the level of abortion of the ovules at different stages of their development. As the final selection trait with a high level of intrapopulation variability, we are proposing to use the mass of full tree seeds per unit area of the horizontal projection of the crown. The use of this trait is promising for the search for trees combining a narrow crown with a large mass of seeds.

Keywords: Siberian stone pine, intrapopulation variability, sparse plantation, cone structure, seed quality

Suggested citation: Popov A.V., Velisevich S.N. *Vnutripopulyatsionnaya izmenchivost' kachestva shishek i semyan kedra sibirskogo na plantatsii s razrezhennoy posadkoy* [Intrapopulation variation of Siberian stone pine cones and seeds quality in spaced planting plots]. *Lesnoy vestnik / Forestry Bulletin*, 2021, vol. 25, no. 3, pp. 34–41. DOI: 10.18698/2542-1468-2021-3-34-41

References

- [1] Il'ichev Yu.N., Shuvaev D.N. *Sostoyanie klonovykh ob'ektov kedra sibirskogo Pinus sibirica Du Tour Respubliki Altay: sokhrannost' i perspektivy seleksii* [Condition of stone pine *Pinus sibirica* Du Tour clonal stands in the Republic of Altai: conservation and breeding prospects]. *Sibirskiy lesnoy zhurnal* [Siberian Journal of Forest Science], 2016, no. 5, pp. 33–44.
- [2] Nikolaeva S.A., Velisevich S.N., Savchuk D.A. *Ontogenez Pinus sibirica na yugo-vostoke Zapadno-Sibirskoy ravniny* [Ontogeny of Siberian Stone Pine (*Pinus sibirica* Du Tour) in Southeastern West Siberian Plain]. *Zhurnal Sibirskogo federal'nogo universiteta. Biologiya* [Journal of Siberian Federal University. Biology], 2011. v. 4, no. 1, pp. 3–22.
- [3] Titov E.V. *Plantatsionnoe vyrashchivanie kedrovyykh sosen* [Plantation Growth of the Cedar Pines: Study Guide]. Voronezh: VGLTA, 2004, 165 p.
- [4] Titov E.V. *Effektivnyy metod opredeleniya urozhaynosti privivok kedra sibirskogo* [Effective Method for Determining the Yield of Grafts of Siberian Cedar]. *Lesotekhnicheskyy zhurnal* [Forestry Engineering Journal], 2015, no. 3, pp. 112–122. DOI: 10.12737/14159
- [5] Iroshnikov A.I., Titov E.V. *Rekomendatsii po otboru plyusovykh derev'ev kedra sibirskogo na semennoy produktivnost'* [Recommendations for the selection plus trees of Siberian cedar for seed productivity]. Voronezh: VNIITSlesresurs, 2000. 36 p.
- [6] Kolegova N.F. *Geograficheskie privivochnye plantatsii kedra i sosny* [Geographic grafting plantations of cedar and pine] *Geograficheskie kul'tury i plantatsii khvoynykh v Sibiri* [Geographic plantations and conifer plantations in Siberia]. Novosibirsk: Nauka, 1977, pp. 154–166.
- [7] Kuznetsova G.V. *Semenoshenie i kachestvo semyan klonov kedra sibirskogo raznogo proiskhozhdeniya na plantatsii v Krasnoyarskoy lesostepi* [Seed production and seed quality of Siberian cedar clones of various origins on a plantation in the Krasnoyarsk forest-steppe]. *Lesnoy Zhurnal* (Russian Forestry Journal), 2003, no. 6, pp. 42–48.
- [8] Bryntsev V.A. *Issledovanie semenosheniya kedra sibirskogo pri introduksii* [Investigation of the seed-bearing of Siberian cedar during introduction]. *Lesokhozyaystvennaya informatsiya* [Forestry information], 1993, no. 7, p. 29.
- [9] Zemlyanoy A.I., Il'ichev Yu.N., Tarakanov V.V. *Mezhklonovaya izmenchivost' kedra sibirskogo po elementam semennoy produktivnosti: perspektivy otbora* [Interclonal variability on the seed productivity elements of *Pinus sibirica*: prospects of breeding]. *Khvoynye boreal'noy zony* [Conifers of the Boreal Area], 2010, no. 1–2, pp. 77–82.
- [10] Titov E.V. *Vydelenie sortov-klonov po semennoy produktivnosti u kedra sibirskogo* [Select of clone varieties by seed productivity of Siberian cedar]. *Lesnoe khozyaystvo* [Forestry], 2008, no. 5, pp. 31–33.
- [11] Goroshkevich S.N. *Seleksiya kedra sibirskogo kak orekhoplodnoy porody* [Selection of Siberian Cedar as a Nut-Bearing Species]. *Lesnoe khozyaystvo* [Forestry], 2000, no. 4, pp. 25–27.
- [12] Avrov F.D., Vorob'ev V.N. *Ekologicheskie, selektsionnye i organizatsionno-tekhnicheskie problemy sovremennogo iskusstvennogo lesovosstanovleniya* [Ecological, selections and organizational and technical problems of modern artificial reforestation]. *Problemy regional'noy ekologii* [Regional Environmental Issues], 1994, v. 2, pp. 69–73.
- [13] Nekrasova T.P. *Biologicheskie osnovy semenosheniya kedra sibirskogo* [Biological Basis of the Siberian Cedar Seed Production]. Novosibirsk: Nauka, 1972, 272 p.
- [14] Vorob'ev V.N., Vorob'eva N.A., Goroshkevich S.N. *Rost i pol kedra sibirskogo* [Growth and Gender of Siberian Cedar]. Novosibirsk: Nauka, 1989, 167 p.

- [15] Iroshnikov A.I. *Polimorfizm populyatsiy kedra sibirskogo* [Polymorphism of Siberian Cedar Populations] *Izmenchivost' drevesnykh rasteniy Sibiri* [Variability of Woody Plants of Siberia]. Ed. E.G. Minina, A.I. Iroshnikov. Krasnoyarsk: ILID SB AS USSR, 1974, pp. 77–103.
- [16] Avrov F.D. *Ekologiya i selektsiya listvenitsy* [Ecology and selection of larch]. Tomsk: IOA SO RAN, 1996, 213 p.
- [17] Avrov F.D., Vorob'ev V.N. *Problemy i perspektivy lesovosstanovleniya i lesnogo semenovodstva* [Problems and prospects of reforestation and forest seed growing]. *Lesnoe khozyaystvo* [Forestry], 1992, v. 5, pp. 39–41.
- [18] Goroshkevich S.N. *Prostranstvenno-vremennaya i strukturno-funktional'naya organizatsiya krony kedra sibirskogo* [Spatio-temporal and Structural-functional Organization of the Siberian Cedar Crown]. Diss. ... Dr. Sci. (Biol.). Tomsk, 2011, 37 p.
- [19] Afonso A., Gonçalves A.C., Pereira D.G. *Pinus pinea* (L.) nut and kernel productivity in relation to cone, tree and stand characteristics. *Agroforestry Systems*, 2020, v. 94, pp. 2065–2079. DOI: 10.1007/s10457-020-00523-4
- [20] Matveeva R.N., Milyutin L.I., Butorova O.F., Bratilova N.P. *Otbor derev'ev kedra sibirskogo vysokoy reproduktivnoy sposobnosti na geograficheskoy leseosemennoy plantatsii* [Selection of the Highly Reproductive Siberian Cedar Trees at a Geographic Tree Seed Orchard]. *Lesnoy Zhurnal* (Russian Forestry Journal), 2017, no. 2, pp. 9–20.
- [21] Velisevich S.N., Popov A.V. *Struktura raznoobraziya po vegetativnoy i generativnoy strukture krony kedra sibirskogo na plantatsii s razrezhennoy posadkoy* [Pattern of diversity in the vegetative and generative crown structure of the siberian stone pine on a seed orchard with sparse tree planting]. *Lesnoy Zhurnal* (Russian Forestry Journal), 2019, no. 5, pp. 35–47. DOI: 10.17238/issn0536-1036.2019.5.35
- [22] Petrova E.A., Velisevich S.N., Belokon' M.M. *Vstuplenie v polovuyu reproduktsiyu i geterozigotnost' sosny kedrovoy sibirskoy (Pinus sibirica Du tour) pri razlichnykh sposobakh formirovaniya iskusstvennykh populyatsiy* [The accession into sexual reproduction and heterozygosity of Siberian stone pine (*Pinus sibirica* Du tour) with different methods of formation of artificial populations]. *Strukturno-funktional'naya organizatsiya i dinamika lesov* [Structural and functional organization and dynamics of forests] Proceedings of the All-Russian conference, Krasnoyarsk, 1–3 September 2004. Krasnoyarsk: Sukachev Institute of Forest SB RAS, 2004, pp. 455–457.
- [23] Velisevich S.N., Petrova E.A. *Rost i vstuplenie v plodonoshenie derev'ev orekhoplodnoy plantatsii i proizvodstvennykh kul'tur kedra sibirskogo* [Growth and start of fructification in a nut crop and a productive plantation of Siberian pine]. *Lesnoe khozyaystvo* [Forestry], 2006, no. 3, pp. 39–40.
- [24] Owens J.N., Kittirat T., Mahalovich M.F. Whitebark pine (*Pinus albicaulis* Engelm.) seed production in natural stands. *Forest Ecology and Management*, 2008, v. 255, iss. 3–4, pp. 803–809. DOI:10.1016/j.foreco.2007.09.067
- [25] Goroshkevich S.N., Khutornoy O.V. *Vnutripopulyatsionnoe raznoobrazie shishek i semyan Pinus sibirica Du Tour. Soobshchenie 1. Uroven' i kharakter izmenchivosti priznakov* [Intrapopulation diversity of cones and seeds of *Pinus sibirica* Du Tour. Message 1. The level and nature of variability of traits]. *Rastitel'nye resursy* [Rastitelnye Resursy], 1996, no. 32, iss. 3, pp. 1–11.
- [26] Shcherbakova M.A. *Opredelenie kachestva semyan khvoynykh porod rentgenograficheskim metodom* [Determination of the quality of coniferous seeds by X-ray method]. Krasnoyarsk: Krasnoyarsk Book Publishing House, 1965, 35 p.
- [27] Castilleja-Sánchez P, Delgado Valerio P, Sáenz-Romero C, Herrerías-Diego Y. Reproductive success and inbreeding differ in fragmented populations of *Pinus rzedowskii* and *Pinus ayacahuite* var. *veitchii*, two endemic mexican pines under threat. *Forests*, 2016, v. 7, iss. 8, pp. 178–194. DOI: 10.3390/f7080178
- [28] Shcherbakova M.A. *Opredelenie kachestva semyan rentgenograficheskim metodom* [Determination of seed quality by X-ray method]. *Plodonoshenie kedra sibirskogo v Vostochnoy Sibiri* [Fruiting of Siberian cedar in Eastern Siberia]. Moscow: Izd-vo AN SSSR, 1963, v. 62, pp. 168–173.
- [29] Dreimanis A., Smemane I. Priedes generativo organu mainiba sekly plantacija. *Latv. lanksaimn akad. raksti.*, 1976, v. 112, pp. 9–12.
- [30] Efimov Yu.P. *Printsipy i metody otbora derev'ev po osobennostyam plodonosheniya* [Principles and methods of tree selection according to the characteristics of fruiting]. *Rekomendatsii po povysheniyu urozhaya i kachestva semyan na plantatsiyakh i leseosemennykh uchastkakh sosny i duba v TsChO* [Recommendations for improving the yield and quality of seeds on plantations and forest seed plots of pine and oak in the Central Black Earth Region]. Voronezh: Central Research Institute of Forest Genetics and Breeding, 1981, pp. 5–9.
- [31] Vorob'ev V.N. *Metodika otsenki i otbora derev'ev kedra sibirskogo na urozhaynost'* [Methodology for assessing and selecting Siberian cedar trees for yield] *Sostoyanie i perspektivy razvitiya lesnoy genetiki, selektsii i semenovodstva. Metody selektsii drevesnykh porod: Sbornik tezisov dokladov soveshchaniya* [State and prospects for the development of forest genetics, selection and seed production. Methods for breeding tree species: Collection of abstracts of the meeting]. August 13–15, 1974. Riga, 1974, pp. 32–36.
- [32] Avrov F.D. *Posevnyye kachestva semyan i fenologicheskoe razvitie derev'ev pripospelkovykh kedrovnikov* [Sowing quality of seeds and phenological development of trees in village cedar forests]. *Problemy kedra. Organizatsiya kompleksnogo khozyaystva* [Cedar problems]. Ed. V.N. Vorob'ev. Tomsk: TNTs SO AN SSSR, 1989. v. 1, pp. 113–121.

Authors' information

Popov Aleksandr Vladimirovich — Pg. NR TSU, Senior Lecturer at the Department of Forestry and landscape architecture, Engineer I category of the IMCES SB RAS, tomskceltic@gmail.com

Velisevich Svetlana Nikolaevna — Cand. Sci. (Biology), Senior Researcher of the IMCES SB RAS, velisevich@imces.ru

Received 30.12.2020.

Accepted for publication 18.01.2021.

МИКРОСПОРОГЕНЕЗ И ОБРАЗОВАНИЕ ПЫЛЬЦЫ У ЛИСТВЕННИЦЫ СУКАЧЕВА (*LARIX SUKACZEWII* DJIL.) НА ПОСТОЯННОМ ЛЕСОСЕМЕННОМ УЧАСТКЕ СЕМИЛУКСКОГО ЛЕСОПИТОМНИКА

Е.Е. Кулаков¹, А.И. Сиволапов²

¹ФБУ «Рослесозащита» — «ЦЗЛ Воронежской области», 394000, г. Воронеж, ул. Ломоносова, д. 105

²ФГБОУ ВО «Воронежский государственный лесотехнический университет им. Г.Ф. Морозова», 394000, г. Воронеж, ул. Тимирязева, д. 8

evgenyukulakov@yandex.ru

Рассмотрено формирование мужских и женских генеративных почек у лиственницы Сукачева в условиях Воронежа во второй декаде августа. Проанализировано поведение хромосом в мета-, ана- и телофазе первого и второго деления мейоза. В каждой фазе учтено по 150–200 микроспороцитов. По результатам проведенных исследований выявлено, что микроспорогенез лиственницы протекал асинхронно. Значительная доля нарушений приходится на отставания хромосом и образование мостов, формирование гексады, выбросы хромосом за пределы веретена деления. Дана оценка жизнеспособности пыльцы лиственницы Сукачева — высокая. Незначительное количество нарушений в процессе мейотических делений и формирования гаметофитов не привели к образованию значительного количества стерильной пыльцы. Средний размер пыльцы изменяется в пределах 82,18–86,4 мкм. Пыльца имеет шаровидную форму.

Ключевые слова: цитогенетический механизм микроспорогенеза у лиственницы на постоянном лесосеменном участке, жизнеспособность пыльцы, мейотические нарушения

Ссылка для цитирования: Кулаков Е.Е., Сиволапов А.И. Микроспорогенез и образование пыльцы у лиственницы Сукачева (*Larix Sukaczewii* Djil.) на постоянном лесосеменном участке Семилукского лесопитомника // Лесной вестник / Forestry Bulletin, 2021. Т. 25. № 3. С. 42–48. DOI: 10.18698/2542-1468-2021-3-42-48

В лесостепи Воронежской области лиственница является интродуцентом. Отобранные экотипы в географических культурах, заложенных Р.И. Дерюжкиным под руководством М.М. Вересина, можно использовать при создании лесосеменных плантаций и участков. Л.И. Милютин [1] отмечает недостаточно тесную связь генетики с практической селекцией и семеноводством, поэтому основная задача нашего исследования состояла в изучении всхожести семян на основании анализа мейоза при микроспорогенезе у лиственницы Сукачева на постоянном лесосеменном участке (ПЛСУ) в Семилукском лесопитомнике.

Мейоз лиственницы в разные годы изучали Сах Н.Л., М.В. Круклис, А.К. Буторина [9–11]. В 1970-е гг. значительный вклад в цитологию видов лиственницы внесла М.В. Круклис, изучившая кариотипы и мейоз лиственниц сибирской, Гмелина и Чекановского [2–3]. Цитологические особенности гетерозисной лиственницы в географических культурах под Воронежем изучены А.К. Буториной и др. [4]. Оценена частота встречаемости добавочных хромосом у лиственниц Гмелина, Сукачева, сибирской [5–8].

Морфология мейоза определяется взаимодействием генотипов, структурой хромосом и условиями окружающей среды. Мейоз по мнению большинства исследователей, является наиболее чувствительной стадией жизненного цикла семенных растений. Саженьцы, выращенные на

участках естественного ареала, при произрастании в географических культурах, подвергаются воздействию экологических и антропогенных факторов, которые могут спровоцировать аномалии роста и в целом развития, чем увеличат внутривидовую дифференциацию и снижат продуктивность. Ход репродукционного деления у семейства *Pinaceae* относится к объективным критериям, отражая состояние древесного организма и его способность к половой репродукции.

По мнению некоторых авторов, сроки прохождения мейоза у лиственницы зависят от природно-климатических условий и индивидуальных характеристик отдельных особей [5, 6, 12]. Как правило, мейоз начинается осенью и заканчивается весной. В начале октября, превращаясь в материнские клетки пыльцы, клетки археспория обособляются, и в конце октября вступают в профазу I мейоза.

На стадии диплотены микроспороциты лиственницы зимуют, а уже в марте — апреле следующего года мейоз завершается, формируются зрелые пыльцевые зерна.

В ходе исследования редуccionного деления трех видов лиственницы, произрастающих в пределах Швеции, было установлено завершение процессов редуccionного деления осенью и зимовки микроспор на стадии тетрад у лиственниц даурской и сибирской [13].

Цель работы

Цель работы — изучение мейоза при микроспорогенезе лиственницы Сукачева на постоянном лесосеменном участке в Семилукском лесопитомнике Воронежской обл. и оценка влияния нарушений мейоза на всхожесть семян в лабораторных условиях.

Материал и методы

Материалом для исследований послужили мужские генеративные почки (шишечки) отобранных деревьев лиственницы Сукачева на высоте 2...3 м с ПЛСУ (рис. 1). Генеративные почки фиксировали, по Карнуа, ацетоалкоголем (1:3). Образцы выдерживали в течение суток. На хранение переводили в 70%-й спирт. В качестве красителя использовали ацетогематоксилин. Генеративные почки обрабатывали раствором 45%-й уксусной кислоты в течение 15...20 мин. После

этого материал обрабатывали красителем в течение 2...3 ч., затем отмывали дистиллированной водой несколько раз. Микропрепараты готовили путем заливки окрашенного, и затем отмытого от избыточного красителя материала в капле смеси Гойера. Просмотр микропрепаратов проводили на микроскопах МБИ-6 и МБИ-15.

Для каждого микропрепарата подсчитывали число делящихся микроспороцитов на разных стадиях мейоза, отмечали частоту и типы нарушений.

Жизнеспособность пыльцы определяли методом, основанным на йодной реакции на крахмал. Пыльцевые зерна, частично и полностью окрашенные нами были отнесены к жизнеспособным. Неокрашенные зерна показывали свою нежизнеспособность. Микропрепараты изучали с помощью микроскопа Levenhuk 850В через бинокуляр. Размеры пыльцы определяли по диаметру пыльцевого зерна. Проанализировали около 500 пыльцевых зерен с каждой точки сбора.

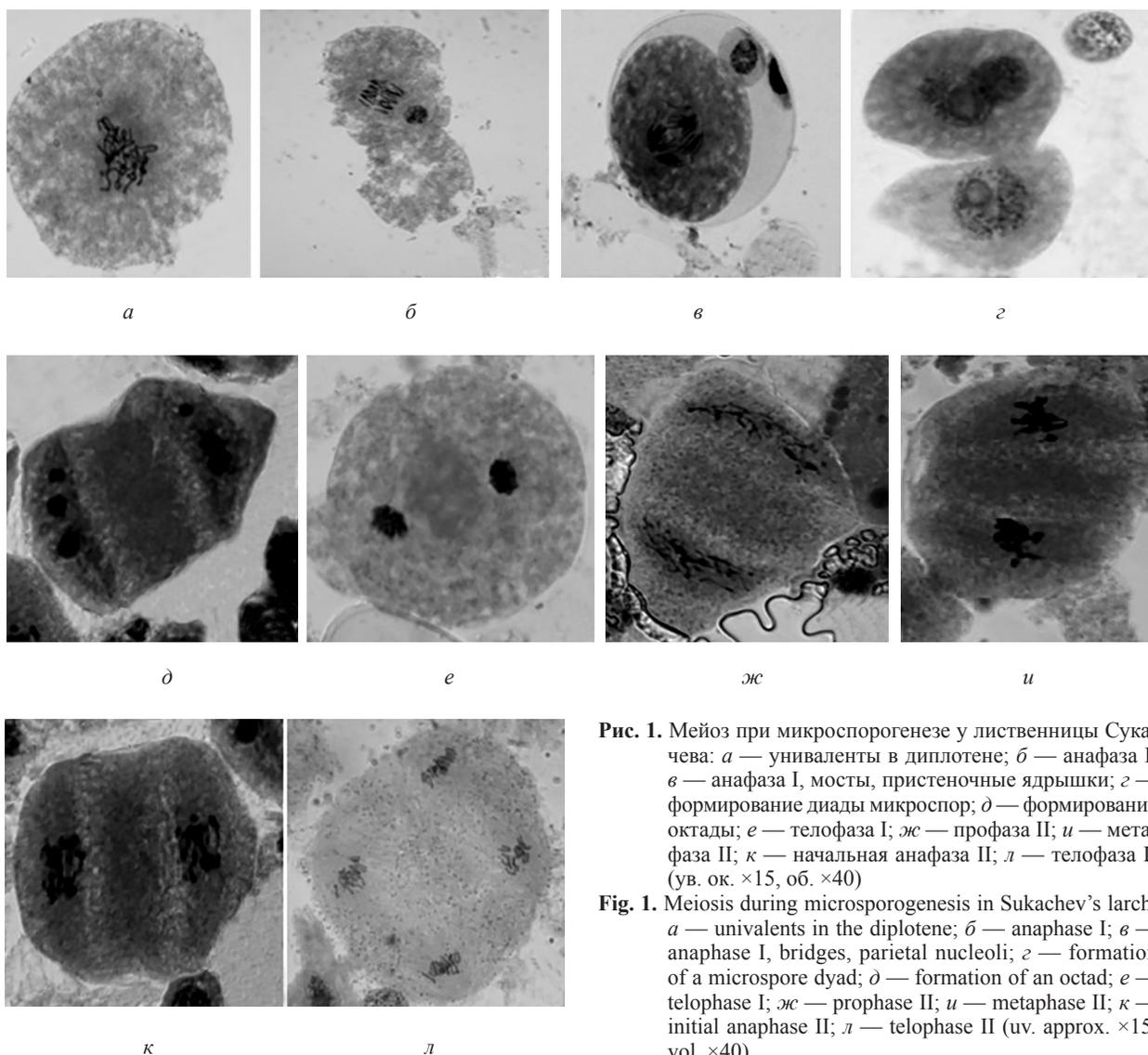


Рис. 1. Мейоз при микроспорогенезе у лиственницы Сукачева: *a* — униваленты в диплотене; *б* — анафаза I; *в* — анафаза I, мосты, пристеночные ядрышки; *г* — формирование диады микроспор; *д* — формирование октады; *е* — телофаза I; *ж* — профаза II; *и* — метафаза II; *к* — начальная анафаза II; *л* — телофаза II (ув. ок. $\times 15$, об. $\times 40$)

Fig. 1. Meiosis during microsporogenesis in Sukachev's larch: *a* — univalents in the diplotene; *б* — anaphase I; *в* — anaphase I, bridges, parietal nucleoli; *г* — formation of a microspore dyad; *д* — formation of an octad; *е* — telophase I; *ж* — prophase II; *и* — metaphase II; *к* — initial anaphase II; *л* — telophase II (uv. approx. $\times 15$, vol. $\times 40$)

Результаты и обсуждение

Закладка женских и мужских генеративных почек лиственницы Сукачева происходит после остановки роста побегов во второй декаде августа.

До зимнего покоя микроспорофиллы формируются с микроспорангиями в мужских генеративных почках, в которых развиваются клетки археспория, в то время как формирование кроющих и семенных чешуй происходит в женских почках. В начале октября клетки археспория обособляются и превращаются в материнские клетки пыльцы, а в конце месяца микроспороциты вступают в профазу I мейоза. В марте следующего года завершается процесс мейоза, далее осуществляется митотическое деление и формируется пыльцевое зерно в апреле.

В конце марта округлые микроспороциты (материнские клетки пыльцы) в профазе I можно было наблюдать при микроспорангии (см рис. 1). Как правило, их диаметр больше диаметра окружающих клеток. Как у всех хвойных видов, микроспорогенез лиственницы протекает асинхронно. В исследуемых нами микропрепаратах наблюдались почти все стадии мейоза — от III до AI. Распад тетрад происходил спустя 3...4 сут. после их формирования.

В 2017–2018 гг., нами было проведено исследование процесса протекания мейоза при микроспорогенезе и гаплоидного митоза у лиственницы Сукачева на ПЛСУ в Семилукском лесопитомнике. Микропрепараты, окрашенные ацетогематоксилином, изготавливали по методикам Л.А. Топильской, С.В. Лучниковой [14]. Проводили анализ поведения хромосом в мета-, ана- и телофазе первого и второго деления мейоза. В каждой фазе учитывалось по 150–200 микроспороцитов. Различные хромосомные ассоциации в метафазе I анализировали в 50 микроспороцитах из различных пыльников. Учитывали общее количество делящихся клеток в каждой фазе мейоза и число клеток с отклонением от нормы в процентах общего числа делящихся клеток. Исследование процесса хода мейоза у трех деревьев лиственницы показало наличие небольшого количества нарушений на всех его фазах, что, по-видимому, увеличивает количество пустых семян (см. рис. 1). Общая частота нарушений составила $6,3 \pm 0,57\%$.

Анализ поведения хромосом в активно пролиферирующих тканях микроспороцитов выявил полиморфизм по частоте появления клеток с аномальным мейозом (93,53 %) (таблица).

Установлено, что на территории Семилукского лесопитомника мейоз у лиственницы протекает нормально, с незначительными нарушениями и образованием 12 бивалентов, а также с правильным расхождением хромосом к противополо-

Частота нарушений мейоза у лиственницы Сукачева на постоянном лесосеменном участке

Frequency of meiotic disorders in Sukachev Larch on a permanent forest seed plot

Фаза мейоза	Просмотренные микропрепараты	Количество клеток с нарушенным делением, %
Метафаза I	198	$4,2 \pm 1,08$
Анафаза I	200	$9,1 \pm 1,46$
Телофаза I	187	$1,0 \pm 0,42$
Метафаза II	185	$2,9 \pm 0,86$
Анафаза II	177	$13,1 \pm 1,87$
Телофаза II	183	$9,8 \pm 1,54$
Спорады	189	$12,8 \pm 1,57$

ложным полюсам. Выявленные незначительные нарушения могут послужить основанием для снижения способности к оплодотворению (показателей фертильности).

Нарушения нормального хода мейоза у лиственницы, обусловленные генетическими факторами и погодными условиями, были неоднократно описаны в литературе [12]. Имеются сообщения об асинхронном прохождении мейоза в пределах кроны дерева и в пределах микростробила [5]. По мнению Е.Н. Муратовой [8], асинхронность мейоза зависит от генотипа растения.

В ходе исследований установлено, что в условиях Воронежской обл. — на Семилукском лесопитомнике — мейоз лиственницы Сукачева проходит асинхронно. Микроспоры и микроспороциты, которые находились на стадии диакинеза, отмечены, в одной почке.

Наибольшее количество нарушений наблюдается на стадии анафазы I. Значительная доля нарушений приходится на отстаивания хромосом и образование мостов, формирование гексады, выбросы хромосом за пределы веретена деления, образование неразделившихся диад вследствие выпадения второго деления мейоза.

Аномалии поведения хромосом при мейозе, как правило, устраняются еще до тетрадной стадии и практически не влияют на качество развития и наполненность пыльцевых зерен. Однако некоторые нарушения, такие как выбросы фрагментов и образование диад, могут отражаться в гетерогенности пыльцы по размеру и форме пыльцевых зерен и уменьшать их фертильность. Описанные отклонения в микроспорогене могут объяснить низкий уровень (5...10 %) стерильности пыльцы у лиственницы Сукачева, растущей на территории ПЛСУ Семилукского питомника.

Формированию эмбриона предшествует опыление лиственницы. Исследование пыльцевых зерен лиственницы проводили многие исследователи [7, 15–17]. Развитие генеративных органов лиственницы связано со свойствами вида. После

остановки роста побегов начинается активный морфогенез. Развитие микроспорофитов листовенницы Сукачева начинается в мужских генеративных почках, когда формируются микроспорофиллы с микроспорангиями, в которых развиваются клетки археспория.

Микроспороциты зимуют на стадии диплотены. В следующем году (весной) мейоз завершается, вследствие чего формируются пыльцевые зерна.

Таким образом, установлено, что в зимний период ход мейоза прерывается и при повышении температуры происходит возобновление мейотических делений. Основные фазы мейоза протекают весной.

Лиственница, как и большинство растений, относится к ветроопыляемой породе, однако в пыльцевых зернах отсутствуют воздушные мешки. Пыление в условиях Воронежской обл. обычно наблюдается в конце марта. Пыльца имеет шаровидную форму с одним углублением. При отклонениях в прохождении мейоза у пыльцы листовенницы может отмечаться стерильность. Состояние и жизнеспособность растений к климатическим факторам можно оценить по жизнеспособности и размерам пыльцевых зерен.

По размерам пыльцы можно опосредованно судить о плоидности биотипов, что является важным критерием соматического и адаптивного гетерозиса.

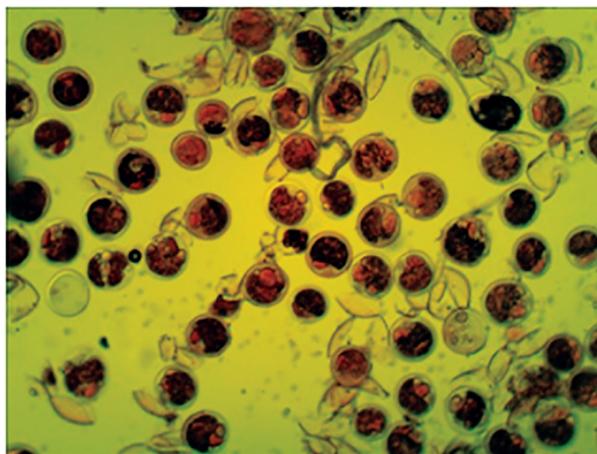
Неблагоприятные климатические условия в период микроспорогенеза приводят к недостаточному пылению вследствие небольшого количества образовавшейся пыльцы и отсутствия воздушных мешков.

Заготовка и погружение веток в воду для оценки жизнеспособности пыльцы листовенницы была проведена в конце марта. Увеличение микроспороцитов и высыпание одноклеточной пыльцы листовенницы Сукачева происходило в течение двух недель.

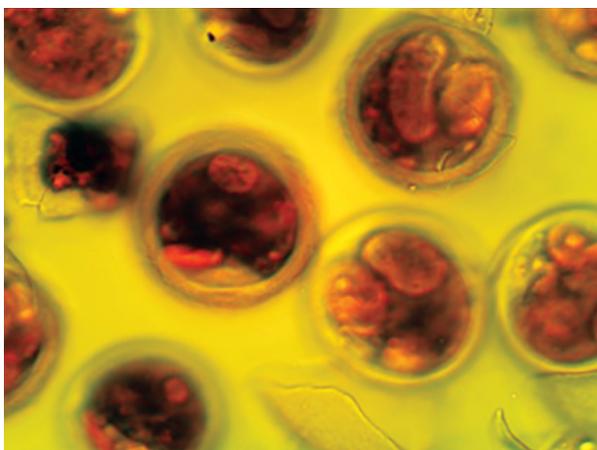
Пыльца листовенницы Сукачева представлена на рис. 2. Оценка жизнеспособности пыльцы листовенницы Сукачева показала высокую жизнеспособность (95 %). Доля стерильных пыльцевых зерен составила 5 %. Поэтому незначительное количество нарушений в процессе мейотических делений и формирования гаметофитов не привели к образованию значительного количества стерильной пыльцы.

Средний размер пыльцы изменяется в пределах 82,18...86,4 мкм. Пыльца имеет шаровидную форму.

Общее число аномалий составляет около 1 %, среди которых разрывы экзины пыльцевого зерна — 0,04 %, карликовых и деформированных пыльцевых зерен — 0,9 %, пыльцевые зерна,



а



б

Рис. 2. Пыльца листовенницы Сукачева: а — увеличение ок.7× об.10; б — увеличение ок.7× об.40

Fig. 2. Pollen of Sukachev's larch: а — Increase of approx. 7× 10 vol.; б — Magnification approx.7× vol. 40

превышающие по размерам среднестатистические — 0,1 %.

Данные нарушения незначительно снижают общий показатель фертильности пыльцы, что не влияет на качество семян и урожай листовенницы в целом.

Выводы

1. Доля жизнеспособных пыльцевых зерен составляет 95 %, доля стерильных — 5 %.

2. Средний размер пыльцы изменяется в пределах 82,18...86,4 мкм.

3. Общее число аномалий составляет 1 %, среди которых разрывы экзины пыльцевого зерна — 0,04 %, карликовых и деформированных пыльцевых зерен — 0,9 %, пыльцевые зерна, превышающие по размерам среднестатистические — 0,1 %.

5. Установлено, что на территории Воронежской обл. мейоз протекает нормально при незна-

чительных нарушениях, образуя 12 пар гомологичных хромосом, и формирует правильное расхождение хромосом к противоположным полюсам.

6. Незначительная доля нарушений приходится на отставания хромосом и образование мостов, формирование гексады, выбросы хромосом за пределы веретена деления, образование неразделившихся диад.

7. Описанные отклонения в микроспорогене могут объяснить низкий уровень (5...10 %) стерильности пыльцы.

Список литературы

- [1] Милютин Л.И., Муратова Е.Н., Ларионова А.Я. Развитие лесной генетики в России // Сибирский лесной журнал, 2018. № 1. С. 3–15.
- [2] Круклис М.В. Кариологические особенности лиственницы Чекановского // Изменчивость древесных растений Сибири / под ред. Е.Г. Мининой, А.И. Ирошников. Красноярск: ИЛиД СО РАН СССР 1974. С. 11–19.
- [3] Круклис М.В. Мейоз и формирование пыльцы у лиственницы Чекановского // Изменчивость древесных растений Сибири / под ред. Е.Г. Мининой, А.И. Ирошников. Красноярск: ИЛиД СО РАН СССР 1974. С. 20–34.
- [4] Буторина А.К., Дерюжкин Р.И., Мурая Л.С., Сиволапов А.И. Цитологические особенности гетерозисной лиственницы // Лесоведение, 1987. № 4. С. 82–86.
- [5] Муратова Е.Н. Хромосомный полиморфизм в природных популяциях лиственницы Гмелина *Larix gmelinii* (Rupr.) Rupr. // Цитология и генетика, 1994. Т. 28. № 4. С. 14–22.
- [6] Муратова Е.Н. Кариосистематика семейства Pinaceae Lindl Сибири и Дальнего Востока: автореф. дис. ... д-ра биол. наук. 03.00.05. Новосибирск, 1995. 32 с.
- [7] Муратова Е.Н. В-хромосомы голосеменных // Успехи современной биологии, 2000. Т. 120. № 5. С. 452–465.
- [8] Сурсо М.В. Микрофенология весеннего развития пыльцы сосны обыкновенной (*Pinus sylvestris* L.) и лиственницы сибирской (*Larix sibirica* Ledeb.) в северной подзоне тайги // Вестник МГУЛ. Лесной вестник, 2012. № 2 (85). С. 46–49.
- [9] Sax H.J. Chromosome pairing in *Larix* species // Arnold Arboretum. 1932, v. 13, pp. 368–374.
- [10] Круклис М.В., Милютин Л.И. Лиственница Чекановского. М.: Наука, 1977. 210 с.
- [11] Буторина А.К., Кирбиса М., Дерюжкин Р.И., Мурая Л.С. Исследование мейоза у лиственницы европейской // Цитология, 1989. Т. 31. № 9. С. 1040–1043.
- [12] Козубов Г.М. Биология плодоношения хвойных на Севере. Л.: Наука, 1974. 135 с.
- [13] Козубов Г.М., Тренин В.В., Тихонова М.А., Кондратьева В.П. Репродуктивные структуры голосеменных (сравнительное описание). Л.: Наука, 1982. С. 44–71.
- [14] Топильская Л.А., Лучникова С.А., Чувашина Н.П. Изучение соматических и мейотических хромосом споридии на ацетогематоксилиновых давленых препаратах // Бюл. науч. инф. Центральной генетической лаборатории им. И.В. Мичурина, 1975. Вып. 22. С. 107.
- [15] Slobodnik V. The early-spring development of male generative organs and abnormalities in pollen ontogenesis of European larch (*Larix decidua* Mill.) // For. Genet., 2002, v. 9, pp. 309–314.
- [16] Slobodnik V., Guttenberger H. Zytogenetic embryogenesis and empty seed formation in European larch (*Larix decidua* Mill.) // Annals of Forest Science, 2005, v. 62, pp. 129–134.
- [17] Takaso T., Owens J. Pollen movement in the micropylar canal of *Larix* and its simulation // J. of Plant Research, 1997, v. 110, iss. 2, pp. 259–264.
- [18] Kucherov S.E Reconstruction of summer precipitation in the southern urals over the last 375 years based on analysis of radial increment in the Siberian larch // Russian J. of Ecology, 2010, t. 41, no. 4, pp. 284–292.
- [19] Fedorkov A. Stem growth and quality of six provenances of *Larix sukaczewii* Dyl. and *Larix sibirica* Ledeb. in a field trial located in north-west Russia // Baltic Forestry, 2017, t. 23, no. 3, pp. 603–607.
- [20] Новиков А.Ю., Вадбольская Ю.Е., Белов Л.А. Насажения с участием лиственницы Сукачева на территории Национального парка «Припышминские боры» Свердловской области // Молодежь и наука, 2016. № 5. С. 74.
- [21] Karlman L., Martinsson O., Fries A., Westin J. Juvenile growth of provenances and open pollinated families of four Russian larch species (*Larix* mill.) in Swedish field tests // Silvae Genetica, 2011, t. 60, no. 5, pp. 165–177.

Сведения об авторах

Кулаков Евгений Евгеньевич — зам. нач. отдела мониторинга состояния лесных генетических ресурсов филиала ФБУ «Рослесозащита» — «ЦЗЛ Воронежской области», evgenyukulakov@yandex.ru

Сиволапов Алексей Иванович — канд. с.-х. наук, доцент, профессор кафедры лесных культур, селекции и лесомелиорации ФГБОУ ВО «Воронежский государственный лесотехнический университет им. Г.Ф. Морозова», Aleksey-Sivolapov@yandex.ru

Поступила в редакцию 30.12.2020.

Принята к публикации 27.01.2021.

MICROSPOROGENESIS AND POLLEN FORMATION IN LARCH SUKACHEV (*LARIX SUKACZEVII* DJIL.) ON PERMANENT FOREST SEED PLOT IN SEMILUKSKY FORESTRY

E.E. Kulakov¹, A.I. Sivolapov²

¹Roslesozaschita — CFP of Voronezh region, 105, Lomonosov st., 394000, Voronezh, Russia

²Voronezh State University of Forestry and Technologies named after G.F. Morozov, 8, Timiryazev st., 394000, Voronezh, Russia

evgenyykulakov@yandex.ru

The formation of male and female generative buds in the Sukachev larch in the conditions of Voronezh in the second decade of August is considered. The behavior of chromosomes in the meta-, ana-, and telophase of the first and second divisions of meiosis is analyzed. In each phase, 150–200 microsporocytes were taken into account. According to the results of the conducted studies, it was revealed that the microsporogenesis of larch proceeded asynchronously. A significant proportion of the disorders are caused by chromosome lag and the formation of bridges, the formation of a hexad, and the release of chromosomes outside the division spindle. The viability of Sukachev larch pollen is estimated to be high. A small number of disturbances in the process of meiotic divisions and the formation of gametophytes did not lead to the formation of a significant amount of sterile pollen. The average pollen size varies between 82.18–86.4 microns. Pollen has a spherical shape

Keywords: cytogenetic mechanism of microsporogenesis in larch on permanent forest seed plot, pollen viability, meiotic disturbances

Suggested citation: Kulakov E.E., Sivolapov A.I. *Mikrosporigenez i obrazovanie pyl'tsy u listvennitsy Sukacheva (Larix Sukaczewii Djil.) na postoyannom lesosemennom uchastke Semilukskogo lesopitomnika* [Microsporogenesis and pollen formation in Larch Sukachev (*Larix Sukaczewii* Djil.) on permanent forest seed plot in Semiluksky forestry]. *Lesnoy vestnik / Forestry Bulletin*, 2021, vol. 25, no. 3, pp. 42–48. DOI: 10.18698/2542-1468-2021-3-42-48

References

- [1] Milyutin L.I., Muratova E.N., Larionova A.Ya. *Razvitie lesnoy genetiki v Rossii* [Development of forest genetics in Russia] *Sibirskiy lesnoy zhurnal* [Siberian Forest Journal], 2018, no. 1, pp. 3–15.
- [2] Krukliis M.V. *Kariologicheskie osobennosti listvennitsy Chekanovskogo* [Karyological features of Chekanovsky larch]. *Izmenchivost' drevesnykh rasteniy Sibiri* [Variability of woody plants in Siberia]. Krasnoyarsk: Ild SO RAN SSSR. 1974, pp. 11–19.
- [3] Krukliis M.V. *Meyoz i formirovanie pyl'tsy u listvennitsy Chekanovskogo* [Meiosis and pollen formation in Chekanovsky larch]. *Izmenchivost' drevesnykh rasteniy Sibiri* [Variability of woody plants in Siberia], Krasnoyarsk Ild SO RAN SSSR. 1974, pp. 20–34.
- [4] Butorina A.K., Deryuzhkin R.I., Muraya L.S., Sivolapov A.I. *Tsitologicheskie osobennosti geterozisnoy listvennitsy* [Cytological features of heterotic larch] *Lesovedenie* [Forest Science], 1987, no. 4, pp. 82–86.
- [5] Muratova E.N. *Khromosomnyy polimorfizm v prirodnykh populyatsiyakh listvennitsy Gmelina Larix gmelinii (Rupr.) Rupr.* [Chromosomal polymorphism in natural populations of Gmelin larch *Larix gmelinii* (Rupr.) Rupr.] *Tsitologiya i genetika* [Cytology and genetics], 1994, t. 28, no. 4, pp. 14–22.
- [6] Muratova E.N. *Kariosistematika semeystva Pinaceae Lindl Sibiri i Dal'nego Vostoka* [Karyosystematics of the Pinaceae Lindl family of Siberia and the Far East]. *Dis. ... Dr. Sci. (Biol.)* 03.00.05. Novosibirsk, 1995, 32 p.
- [7] Muratova E.N. *V-khromosomy golosemennykh* [B-chromosomes of gymnosperms]. *Uspekhi sovremennoy biologii*, 2000, t. 120, no. 5, pp. 452–465.
- [8] Surso M.V. *Mikrofenologiya vesennego razvitiya pyl'tsy sosny obyknovennoy (Pinus sylvestris L.) i listvennitsy sibirskoy (Larix sibirica Ledeb.) v severnoy podzone taygi* [Microphenology of spring pollen development of Scots pine (*Pinus sylvestris* L.) and Siberian larch (*Larix sibirica* Ledeb.) in the northern subzone of the taiga]. *Moscow state forest university bulletin – Lesnoy vestnik*, 2012, no. 2 (85), pp. 46–49.
- [9] Sax H.J. Chromosome pairing in *Larix* species. *Arnold Arboretum*. 1932, v. 13, pp. 368–374.
- [10] Krukliis M.V., Milyutin L.I. *Listvennitsa Chekanovskogo* [Chekanovsky Larch]. Moscow: Nauka, 1977, p. 210.
- [11] Butorina A.K., Kirbisa M., Deryuzhkin R.I., Muraya L.S. *Issledovanie meyoza u listvennitsy evropeyskoy* [Study of meiosis in European larch] *Tsitologiya* [Cytology], 1989, t. 31, no. 9, pp. 1040–1043.
- [12] Kozubov G.M. *Biologiya plodonosheniya khvoynykh na Severe* [Biology of coniferous fruiting in the North]. Leningrad: Nauka, 1974, 135 p.
- [13] Kozubov G.M., Trenin V.V., Tichonova M.A., Kondratieva V.P. *Reproduktivnye struktury golosemennykh (sravnitel'noe opisanie)* [Reproductive structures of gymnosperms (comparative description)]. Leningrad: Nauka, 1982, pp. 44–71
- [14] Topil'skaya L.A., Luchnikova S.A., Chuvashina N.P. *Izuchenie somaticheskikh i meioticheskikh khromosom smorodiny na atsetogematoksilinovykh davlennykh preparatakh* [Study of somatic and meiotic chromosomes of currant on acetohematoxylin pressed preparations] *Byul. Nauchnoy informatsii Tsentral'noy geneticheskoy laboratorii im. I.V. Michurina* [Bull. Scientific Inform. the Center. Genet. Lab. named after I.V. Michurin], 1975, v. 22, p. 107.
- [15] Slobodnik B. The early-spring development of male generative organs and abnormalities in pollen ontogenesis of European larch (*Larix decidua* Mill.). *For. Genet.*, 2002, v. 9, pp. 309–314.
- [16] Slobodnik B., Guttenberger H. Zytogenetic embryogenesis and empty seed formation in European larch (*Larix decidua* Mill.). *Annals of Forest Science*, 2005, v. 62, pp. 129–134.

- [17] Takaso T., Owens J. Pollen movement in the micropylar canal of *Larix* and its simulation. *J. of Plant Research*, 1997, v. 110, iss. 2, pp. 259–264.
- [18] Kucherov S.E Reconstruction of summer precipitation in the southern urals over the last 375 years based on analysis of radial increment in the Siberian larch. *Russian J. of Ecology*, 2010, t. 41, no. 4, pp. 284–292.
- [19] Fedorkov A. Stem growth and quality of six provenances of *Larix Sukaczewii* Dyl. and *Larix sibirica* Ledeb. in a field trial located in north-west Russia. *Baltic Forestry*, 2017, t. 23, no. 3, pp. 603–607.
- [20] Novikov A. Yu., Vadbol'skaya Yu.E., Belov L.A. *Nasazhdeniya s uchastiem listvennitsy Sukacheva na territorii Natsional' nogo parka «Pripyshminskie bory» Sverdlovskoy oblasti* [Plantations with the participation of Sukachev's larch on the territory of the Pripyshminskie Bory National Park of the Sverdlovsk Region]. *Molodezh' i nauka* [Youth and Science], 2016, no. 5, p. 74.
- [21] Karlman L., Martinsson O., Fries A., Westin J. Juvenile growth of provenances and open pollinated families of four Russian larch species (*Larix mill.*) in Swedish field tests. *Silvae Genetica*, 2011, t. 60, no. 5, pp. 165–177.

Authors' information

Kulakov Yevgeny Yevgenyevich — Deputy Head of the Department of Monitoring the state of forest genetic resources of the branch of the Federal State Institution «Roslesozaschita» — «CPF of the Voronezh region», evgenyykulakov@yandex.ru

Sivolapov Aleksei Ivanovich — Cand. Sci. (Agriculture), Associate Professor, Professor of the Department of Forest crops, selection and forest amelioration of the Voronezh State Forestry University named after G.F. Morozov, Aleksey-Sivolapov@yandex.ru

Received 30.12.2020.

Accepted for publication 27.01.2021.

ОБОСНОВАНИЕ НЕОБХОДИМОСТИ РАЗВИТИЯ СТРАТЕГИИ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ ЛЕСОПОЛЬЗОВАНИЯ НА ЛЕСНЫХ ПЛАНТАЦИЯХ

Ю.А. Ширнин, К.П. Рукомойников, И.Г. Гайсин, А.Ю. Ширнин

ФГБОУ ВО «Поволжский государственный технологический университет», 424000, Россия, Республика Марий Эл, г. Йошкар-Ола, пл. Ленина, д. 3

ShirninYA@volgatech.net

Представлен анализ динамики и конечных результатов плантационного лесовыращивания в разрезе геометрических параметров и пространственного размещения древостоя. Рассмотрены возможные способы и средства проведения рубок на каждом этапе ухода за лесом, сформулированы требования к результатам каждого этапа лесовыращивания. Приведен критический обзор известных способов проведения выборочных и сплошных рубок леса в обычных условиях. Обоснованы возможные системы машин для проведения рубок. Изложено описание новых элементов технологических схем разработки пасек и лент на лесных плантациях.

Ключевые слова: лесная плантация, пространственное размещение деревьев, рубки ухода, ущерб оставляемым на дорастивание деревьям, лесосечные работы, система машин, схемы разработки пасек

Ссылка для цитирования: Ширнин Ю.А., Рукомойников К.П., Гайсин И.Г., Ширнин А.Ю. Обоснование необходимости развития стратегии технологических процессов лесопользования на лесных плантациях // Лесной вестник / Forestry Bulletin, 2021. Т. 25. № 3. С. 49–57. DOI: 10.18698/2542-1468-2021-3-49-57

Лесная плантация — это участок лесных земель, на которых выращивают древесные и кустарниковые породы для получения биомассы (щепы), балансов, ценных конструкционных сортиментов [1–3]. В соответствии с этим главным в создании плантаций является целевое выращивание искусственных насаждений.

Применительно к ценным древесным конструкционным сортиментам в эту часть понятия «лесная плантация» следует отнести процесс их получения из выращенного древостоя, который, по существу, представляет собой лесосечные работы, как завершающую стадию процесса получения конструкционных сортиментов.

Однако получение конструкционных сортиментов не должно быть единственной целью. Необходимо создавать условия для эффективной заготовки лесоматериалов при проведении в условиях лесной плантации не только окончательной рубки, но и рубок ухода. Выращенную древесину следует заготавливать и доставлять потребителю для производства товарной продукции.

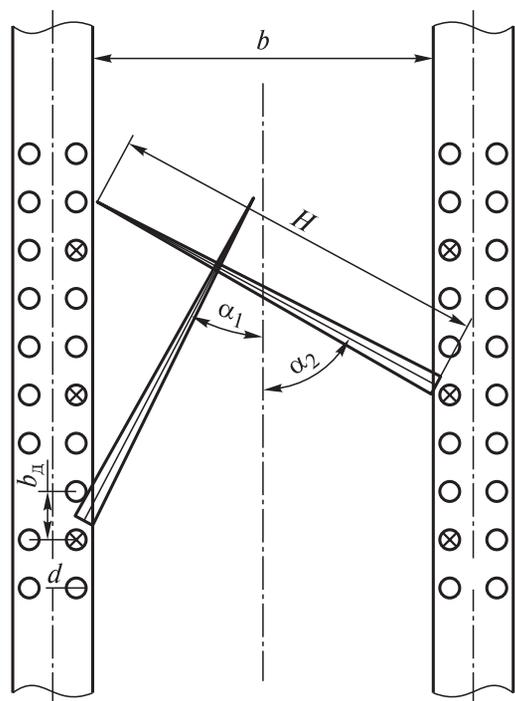
Состояние вопроса. Актуальность. Лесовосстановление бывает двух видов — естественное и искусственное. При естественном лесовосстановлении расположение деревьев на площади носит хаотичный характер, но для такого восстановления не требуется существенных финансовых затрат. Многолетняя мировая практика лесозаготовок в лесах естественного происхождения обладает достаточным количеством технологий, необходимым оборудованием и машинами для заготовки лесоматериалов в этих условиях [4, 5, 10, 12].

Искусственное лесовосстановление требует существенных финансовых затрат, но при этом предоставляется возможность упорядочить размещение саженцев или семян на площади. Порядок размещения должен соответствовать поставленной цели, например высаживанию в грунт посадочного материала, не касаясь пней и корней растущих деревьев.

На лесных плантациях искусственное лесовосстановление выполняется рядами с оставлением междурядий для прохода лесных машин. В качестве примера рассмотрим двухрядное размещение культур и полосы междурядья [13].

Схема пространственного размещения соседних (в плане) деревьев представлена на рис. 1. Во время посадки сеянцы высаживались с «трехразмерным размещением растений на площади» [13] на расстоянии: $b_d = 0,55$ м одно от другого (шаг посадки); $d = 1,2$ м между попарно сближенными рядами; при ширине междурядья в пределах $b = 7,4 \dots 10,1$ м.

В научно-технической литературе не отражены положения, связанные с пространственным размещением и параметрами составных частей плантационных насаждений [14–20]. Несмотря на необходимость проведения рубок ухода за насаждениями, во многих работах, посвященных решению данного вопроса, не приводятся методики расчета прогнозных характеристик оставленного на дорастивание древостоя [13, 21]. Не отражены в литературе также и технологические схемы разработки пасек и лент при рубках ухода машинами, что обеспечило бы безущербную



- ⊗ Деревья, подлежащие рубке
○ Деревья, оставляемые на доращивание

Рис. 1. Схема «трехразмерного» размещения искусственного насаждения: H — средняя высота древостоя, м; b — ширина междурядья, м; α_1 и α_2 — соответственно, минимальный и максимальный углы валки предназначенных в рубку деревьев, град; d — расстояние между попарно сближенными рядами, м; b_d — расстояние между соседними деревьями в одном ряду, м

Fig. 1. Scheme of «three-dimensional» placement of artificial plantings: H — the average height of the stand, m; b — the width of the row spacing, m; α_1 and α_2 — accordingly, the minimum and maximum angles of the felling intended for cutting trees, degrees; d — the distance between pairwise converged rows of trees, m; b_d — the distance between adjacent trees in the same row, m

для оставляемого на доращивание древостоя валку деревьев при двухрядном размещении деревьев в каждой полосе по краям широких междурядий [6, 7, 9, 12]. Отсутствие перечисленных выше материалов подтверждает необходимость рассмотрения обозначенной темы исследования и ее актуальность.

Цель работы

Цель работы — повышение эффективности цикла лесосечно-лесовосстановительных работ при плантационном лесовыращивании.

Проведенные исследования были направлены на минимизацию повреждений, наносимых оставляемым на доращивание деревьям во время выборочных рубок и рубок ухода на возобновляемых искусственным путем лесных площадях с посадками, предусматривающими чередование

узких полос с двухрядным размещением лесных культур в каждой из них и междурядий между ними с шириной, позволяющей осуществлять работу лесозаготовительной техники. Для этого должно быть соответствующее размещение на площади искусственных насаждений при посадке, применены рациональные технологические схемы разработки пазок в процессе рубок ухода, выборочных рубок для производства товарной продукции.

Решаемые задачи. Критический анализ научных публикаций, посвященных разработке методик минимизации повреждений, наносимых оставляемым на доращивание деревьям, позволил сделать выводы о необходимости проведения следующих работ:

- по проектированию схем размещения (посадки) на территории лесной плантации посадочного материала;
- по прогнозированию геометрических параметров древостоев для разных периодов рубок.

Согласно полученным результатам и следуя цели исследований необходимо осуществить разработку:

- математических зависимостей, определяющих угловые параметры направлений валки деревьев на полосу междурядья, которые бы исключали для оставляемых на доращивание деревьев какие-либо механические повреждения;
- рекомендаций по выбору систем машин для проведения лесосечных работ с учетом геометрических параметров древостоев при разных приемах рубок;
- новых технологических схем разработки пазок при проведении рубок в заданных условиях с достижением поставленных целей рекомендуемыми системами машин;
- рекомендаций по проектированию и конструированию технологического оборудования машин для заготовки лесоматериалов на плантациях.

Результаты и обсуждение

На начальной стадии создания лесной плантации следует выполнять планирование работ по выбору пород для выращивания, по срокам проведения рубок ухода, по размещению в пространстве посадочного материала, назначению рубок по интенсивности и целям выращивания. Выбор пород осуществляется в зависимости от состояния грунта, климатических условий и других факторов, влияющих на выращивание древостоя. Размещение в пространстве посадочного материала выполняется с учетом прогноза геометрических параметров древостоев для разных приемов рубок и возможностей их обработки системами машин.

При прогнозировании характеристик древо-стоя важно на период каждой рубки иметь средние значения следующих параметров: *расстояния между деревьями, диаметра в комле, высоты древостоя, ширины междурядья*. По срокам проведения рубок ухода прогнозируется высота и полнота древостоя, в конечном счете, влияющие на технологию лесосечных работ.

Кроме того, большое значение имеет представление во времени динамики пространственного размещения культур, ее анализ и трансформация в соответствии с проводимыми рубками ухода. Это даст возможность аргументированно выбрать технологическую схему и систему машин для лесосечных работ и достигнуть баланса между определенным объемом древесного «урожая» за период оборота рубки и рациональными технологиями его заготовки. Например, при изменении высоты древостоя возможна смена системы лесосечных машин или изменение периода рубок.

Рациональное расположение деревьев одно относительно другого обосновывается при этом не только с точки зрения максимального прироста, но и с позиций их доступности для валки и дальнейшей обработки. При заготовке лесоматериалов следует придерживаться условий сохранности оставляемых на доращивание деревьев, а заготовленные лесоматериалы должны отвечать требованиям стандартов по качеству. Лесозаготовительная техника должна работать без потерь производительности и с соблюдением правил безопасности.

Требования к технологии рубок леса на лесных плантациях заключается в следующем: *в минимизации ущерба оставляемому на доращивание древостою; сохранении условий безопасной и эффективной работы системы машин; обеспечении требуемого качества заготавливаемых лесоматериалов (трелевка в погруженном положении); обеспечении приемлемой производительности машин на лесосечных работах*. Главная опасность в нанесении ущерба соседним деревьям с оставляемым на доращивание древостоем может исходить от валки деревьев.

Критический обзор существующих способов проведения выборочных и сплошных рубок леса в условиях естественного лесовосстановления. В настоящее время существует способ разработки лесосеки, известный как метод узких лент, расположенных вдоль волока с трелевкой хлыстов за вершины на базе трелевочных тракторов с канатно-чокерным оборудованием и бензопил. Пасеку шириной 25...30 м разрабатывают лентами, чтобы избежать завалов и обеспечить удобные условия для рабочих на очистке деревьев от сучьев. Деревья валят вершинами на волок.

По окончании валки деревьев на ленте, когда вальщик перейдет на другую пасеку, проводят очистку деревьев от сучьев, а затем трелевку хлыстов. После того как хлысты с ленты стрелованы, вальщик переходит на следующую ленту и так до окончания разработки пасеки [8, с. 103 (рис. 3.14, б)].

Продольно-ленточный метод [11, с. 120 (рис. 3.16, г)] применяется при тракторной трелевке за комли, когда на лесосеке отсутствует жизнеспособный подрост в требуемом количестве, или же при искусственном лесовосстановлении.

Недостатком этих методов является то, что их нельзя применять при работе в посадках, предусматривающих двухрядное размещение деревьев в каждой полосе по краям широких междурядий, образующих волок. При их использовании на плантациях обработке подвергаются ленты на пасеках с валкой всех, назначенных в рубку деревьев в обоих рядах двухрядной полосы, независимо от их пространственного расположения по отношению к остающимся после рубки деревьям первого ряда этой полосы. Таким образом, применение этих способов в подобных посадках не позволяет обеспечить сохранность остающегося после рубки древостоя в ближних к волоку рядах деревьев вследствие высокой вероятности их повреждения при валке вершиной на волок рядом стоящих деревьев второго ряда.

Наиболее близким по технической сущности считается способ, разработки лесосеки по методу узких пасек, применяемый на рубках главного и промежуточного пользования, предусматривающий валку деревьев вершиной на волок и трелевку хлыстов за вершину тракторами с канатно-чокерным оборудованием [11, с. 120 (рис. 3.16, а)]. Ширина пасеки b принимается равной средней высоте древостоя H , но не более 30 м, и определяется по формуле

$$b = 2H \sin \alpha_2 + b_{\text{в}}, \quad (1)$$

где $\alpha_2 = 30^\circ$ — максимальный угол между волоком и поваленными деревьями, град;

$b_{\text{в}}$ — ширина волока, м.

Недостатком этого способа служит то, что при разработке пасек в посадках, предусматривающих двухрядное размещение деревьев в каждой полосе по краям широких междурядий, образующих волок, валка предполагает выборку деревьев из обоих рядов примыкающих к волоку двухрядных полос. Валка деревьев вершиной на волок с удаленных от волока рядов каждой из примыкающих к нему двухрядных полос повышает вероятность повреждения, оставляемых на доращивание деревьев ее первого ряда.

В рассматриваемом примере (см. рис. 1) сеянцы высаживались [13] на расстоянии 0,55 м

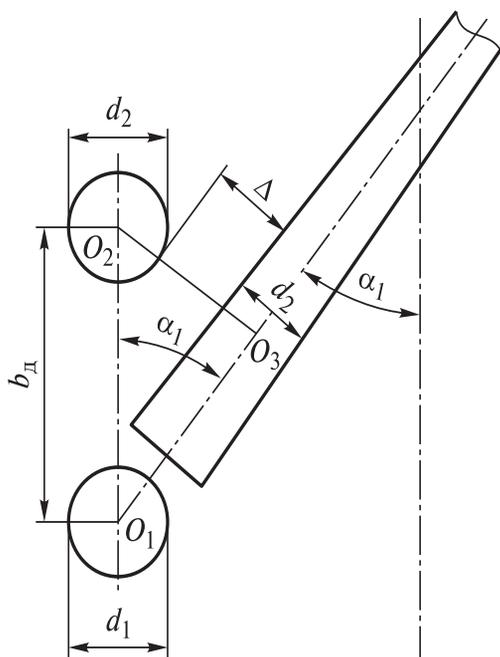


Рис. 2. Схема взаимного расположения стоящего и сваленного деревьев: Δ — расстояние между нижними поверхностями комлевой части соседних стволов деревьев (стоящего и сваленного), учитывающее соприкосновение крон при валке, м; α_1 — минимальный угол валки предназначенных в рубку деревьев, град; d_1 — диаметр на уровне пня у вырубаемого дерева, м; d_2 — диаметр на уровне пня у дерева ближайшего к вырубаемому дереву, м; d_3 — диаметр вырубаемого дерева на высоте $h = \cos \alpha_1 \cdot b_d$ от его пня, м; b_d — расстояние между соседними деревьями в одном ряду, м; O_1, O_2, O_3 — вершины прямоугольного треугольника, с углом, образованным между направлением сталкивания дерева с пня и направлением ряда деревьев

Fig. 2. Diagram of the relative position of standing and felled trees: Δ — the distance between the lower surfaces of the clump of neighboring tree trunks (standing and felled), taking into account the contact of the crowns during felling, m.; α_1 — the minimum angle of the felling intended for cutting trees, deg.; d_1 — the diameter at the level of the stump at the felled tree, m; d_2 — the diameter at the level of the stump at the tree closest to the felled tree, m; d_3 — the diameter of the felled tree at a height of $h = \cos \alpha_1 \cdot b_d$ from its stump, m; b_d — the distance between adjacent trees in the same row, m.; O_1, O_2, O_3 — vertices of a right triangle, with the angle formed between the direction of the tree colliding with the stump and the direction of the row of trees

один от другого. Нетрудно предположить, что при диаметре стволов смежных деревьев 0,30 м пространство между стволами на уровне пня составит 0,25 м и произойдет переплетение крон. При выборочной рубке одно дерево подлежит валке, а другое, соседнее, остается на дорастивание. В этих условиях машинная валка без нанесения ущерба оставляемому на дорастивание дереву невозможна. Схема взаимного расположения, стоящего и сваленного деревьев представлена на рис. 2.

Валка дерева бензомоторной пилой крайне затруднена. Угол α_1 примыкания ствола к оси волока в зависимости от диаметров соседних деревьев и ширины междурядья (см. рис. 1) определяется по формулам (2, 3):

$$\sin \alpha_1 = \frac{O_2 O_3}{O_1 O_2} = \frac{\frac{d_2}{2} + \Delta + \frac{d_3}{2}}{b_d}; \quad (2)$$

$$\alpha_1 = \arcsin \frac{\frac{d_2}{2} + \Delta + \frac{d_3}{2}}{b_d}. \quad (3)$$

Нанесение минимального ущерба соседнему дереву возможно при валке деревьев бензопилой под углом, близким к 90° . Однако при этом вершина упавшего дерева может нанести ущерб деревьям, расположенным на противоположной стороне полосы междурядья. Чтобы этого избежать, деревья при валке укладывают на междурядье под углом в пределах между минимальным α_1 и максимальным α_2 углами валки предназначенных в рубку деревьев. При этом максимальный угол α_2 между направлением междурядья и поваленными деревьями зависит от высоты древостоя — H и ширины полосы междурядья b .

$$\alpha_2 = \arcsin \frac{b}{H}. \quad (4)$$

Из выражений (2)–(4) видно, что необходимые углы для обеспечения минимизации повреждений, наносимых оставляемым на дорастивание деревьям при валке леса, всецело зависят от состояния древостоя, среднего диаметра деревьев на уровне пня и средней высоты деревьев.

Первый прием рубок ухода для достижения коммерческого результата желательно проводить тогда, когда из предназначенных в рубку деревьев можно получить деловые сортименты, но при этом валка должна быть проведена без нанесения ущерба оставляемому на дорастивание деревьям.

Чтобы этого избежать, необходимо первый прием рубки проводить раньше, когда средний диаметр и средняя высота деревьев не достигли критического.

С точки зрения эффективности реализации лесозаготовительных операций в комплексе с обеспечением минимума повреждений остающихся на дорастивание деревьев необходимо, чтобы к моменту выполнения каждого нового приема рубки расстояние между деревьями в каждом ряду соответствовало неравенству

$$b_d \geq \frac{\left(\frac{d_2}{2} + \Delta + \frac{d_3}{2}\right)H}{b}. \quad (5)$$

Выполнение этого соотношения должно быть учтено при отводе деревьев в рубку в ходе предыдущего ее приема. Несоблюдение этого условия в ходе реализации рубок прошлого периода приведет к значительным повреждениям остающихся на доращивание деревьев последующего периода в результате повреждения их в процессе выполнения работ по валке леса.

Учитывая изложенное выше, рассмотрим возможные системы машин, предназначенных для работы в заданных условиях, для достижения поставленных целей. Первый прием рубок можно проводить с использованием бензопилы или малогабаритной валочно-пакетирующей машины (ВПМ). В паре с бензопилой можно применить трелевочный трактор с канатно-чокерным оборудованием (при трелевке хлыстов) или форвардер (при трелевке сортиментов). При этом также бензопилой осуществляется обрезка сучьев и раскряжевка хлыстов на сортименты.

При работе на возобновляемых искусственным путем лесных площадях с посадками, предусматривающими чередование узких полос с двухрядным размещением лесных культур в каждой из них и междурядий между ними с шириной, позволяющей осуществлять работу лесозаготовительной техники, способ разработки лесосеки предполагает разбивку ее на пасеки, включающие в себя междурядье шириной b и примыкающие к лесосеке и ограничивающие ее два ряда деревьев по одному с каждой стороны междурядья (рис. 3). Валка деревьев второго ряда каждой примыкающей к междурядью узкой полосы с двухрядным размещением лесных культур осуществляется вершиной в направлении соседнего междурядья под углом между ним и поваленными деревьями, не превышающим α_2 . Валка деревьев первого ряда начинается с ближнего к погрузочной площадке конца пасеки. Валются предназначенные в рубку деревья и слева, и справа от полосы междурядья шириной b . Причем деревья укладываются к оси междурядья под углами в пределах между α_1 и α_2 .

Свалив количество деревьев объемом для формирования одной пачки трелевочного трактора, моторист бензопилы обрезает сучья, складывая их на полосу по ширине волока, или переходит на другую пасеку. Затем задним ходом к месту сосредоточения вершин хлыстов 1 перемещается трелевочный трактор 4 . После его остановки опускается щит, растаскивается собирающий канат 2 , чокерами 3 обвязываются хлысты за вершину.

Далее включается лебедка трактора, хлысты формируются в пачку, которые затем лебедкой надвигаются на щит и осуществляется процесс трелевки вершинами вперед.

В случае использования форвардера (рис. 4) валят деревья вершиной в направлении, противо-

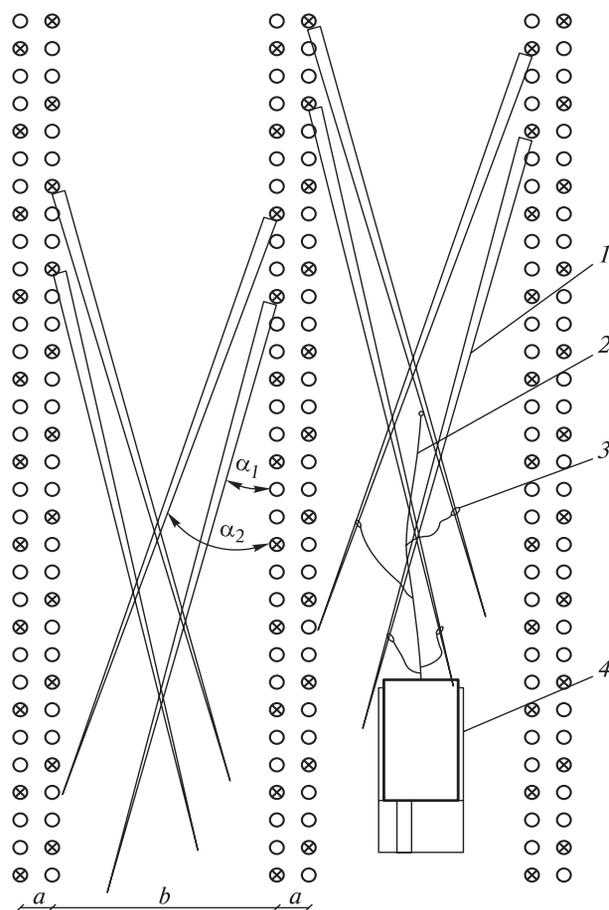


Рис. 3. Технологическая схема разработки пасек при трелевке хлыстов трелевочным трактором с канатно-чокерным оборудованием

Fig. 3. Technological scheme of apiary development when skidding whips with a skidding tractor with rope-choker equipment

положном направлению трелевки. Обрезку сучьев и раскряжевку хлыстов выполняют бензопилой. Движение форвардера вглубь пасеки предусматривает расчистку волока отвалом машины с перемещением впередилежащих сортиментов в сторону узких полос с двухрядным размещением лесных культур и их последующим сбором и трелевкой.

При трелевке сортиментов форвардером пасека разрабатывается следующим образом. При валке на пасеке деревьев слева и справа от широкого междурядья вершиной в направлении, противоположном направлению трелевки, у них обрезаются сучья, которые укладываются на волок и выполняется раскряжевка хлыстов на сортименты. Движение форвардера 1 вглубь пасеки предусматривает сначала расчистку волока отвалом 2 машины с перемещением впередилежащих сортиментов 3 в сторону узких полос с двухрядным размещением лесных культур и последующим сбором и трелевкой перемещенных таким образом сортиментов в погруженном положении на лесопогрузочный пункт.

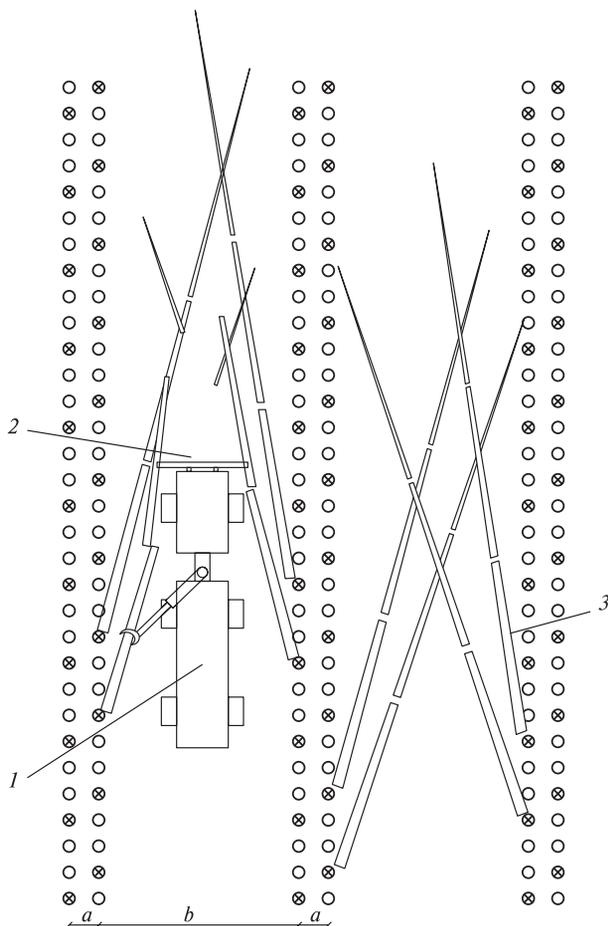


Рис. 4. Технологическая схема разработки пасек при трелевке сортиментов форвардером

Fig. 4. Technological scheme of development of apiaries while skidding logs with a forwarder

При этом обеспечивается создание благоприятных условий роста, оставляемых на доращивание после рубки деревьев и исключением по отношению к ним каких-либо механических повреждений путем укладки деревьев при валке на широкую полосу междурядья для прохода лесозаготовительной техники.

Проблема использования машинной валки деревьев заключается в технической возможности захвата комлевой части ствола. Габариты захватано-срезающих устройств многих лесозаготовительных машин не в состоянии обрабатывать деревья в первые приемы рубок вследствие близкого расположения стоящих рядом деревьев. Безущербная валка деревьев возможна при достаточном изреживании первичного древостоя плантационного насаждения. Лучшими для таких условий будут системы, сформированные на базе ВПМ, которая должна быть оборудована грузонесущим манипулятором, обеспечивающим вынос дерева из насаждения в вертикальном положении [6, 7]. При этом нет необходимости в манипуляторе со значительным вылетом. Достаточно, чтобы

вылет был больше половины ширины междурядья. Обрезка сучьев и раскряжевка хлыстов после работы ВПМ может осуществляться бензопилой или сучкорезно-раскряжевочной машиной на полосе междурядья с укладкой сучьев на полосу волока. Трелевка сортиментов — форвардером.

Применение систем машин на базе харвестора для заготовки лесоматериалов на плантациях возможна при соответствующих условиях, обеспечивающих безущербную валку деревьев и рентабельность производства.

Выводы

1. Применительно к лесным плантациям обоснована целесообразность и актуальность рассмотрения процессов лесовосстановления и лесозаготовок в едином технологическом цикле.

2. Обоснована необходимость разработки методик проектирования схем размещения (посадки) на территории плантации посадочного материала и прогнозирования геометрических параметров древостоев для разных периодов рубок.

3. Представлены математические зависимости, определяющие угловые параметры направлений валки деревьев на полосу междурядья, которые исключают для оставляемых на доращивание деревьев какие-либо механические повреждения.

4. Рекомендованы возможные системы машин для проведения лесосечных работ с учетом геометрических параметров древостоев для разных периодов рубок в условиях плантационных насаждений.

5. Обоснованы технологические схемы разработки пасек для проведения рубок промежуточного пользования рекомендуемыми системами машин при трелевке хлыстов и сортиментов в заданных условиях с достижением поставленных целей.

6. Даны рекомендации по конструированию технологического оборудования машин для заготовки лесоматериалов на лесных плантациях.

Список литературы

- [1] Демаков Ю.П. Структура и закономерности развития лесов Республики Марий Эл. Йошкар-Ола: Изд-во Поволжского государственного технологического университета, 2018. 432 с.
- [2] Шутов И.В., Товкач Л.Н., Минакова Н.М., Сергиенко В.Г., Власов Р.В. Значение неравномерного размещения деревьев в культурах сосны // Лесное хозяйство, 2001. № 4. С. 18–20.
- [3] Плантационное лесовыращивание / под ред. И.В. Шутова. СПб.: Изд-во СПбПУ, 2007. 366 с.
- [4] Виногоров Г.К. Лесосечные работы. М.: Лесная пром-сть, 1981. 368 с.
- [5] Герасимов Ю.Ю., Сюнев В.С. Лесосечные машины для рубок ухода: компьютерная система принятия решений. Петрозаводск: Изд-во ПетрГУ, 1998. 235 с.
- [6] Иевинь П.К., Розинь Т.Я. Доступность деревьев при машинной рубке выборочным способом // Комплексная механизация рубок ухода. Рига: Зинатне, 1975. 192 с.

- [7] Иевинь П.К., Розинь Т.Я. Возможность машинного повала деревьев на выборочных рубках // Лесная промышленность, 1974. № 1. С. 29–30.
- [8] Кочегаров В.Г., Бит Ю.А., Меньшиков В.Н. Технология и машины лесосечных работ. М.: Лесная промышленность, 1990. 392 с.
- [9] Ширнин Ю.А., Ананьев В.А., Герасимов Ю.Ю., Демин К.К., Сюнев В.С., Хлюстов В.К., Сиканен Л., Вяльккю Э., Асикайнен А. Промежуточное пользование лесом на северо-западе России. Йоэнсуу: НИИ леса Финляндии, 2005. 150 с.
- [10] Технология и машины лесосечных работ / под ред. В.И. Пятякина. СПб.: Изд-во СПбГЛТУ, 2012. 362 с.
- [11] Ширнин Ю.А. Технология и оборудование лесопромышленных производств. Лесосечные работы. М.: Изд-во МГУЛ, 2004. 446 с.
- [12] Ширнин Ю.А., Успенский Е.И., Белоусов А.С. Технология и эффективность рубок с естественным возобновлением леса. Йошкар-Ола: МарПИ, 1991. 96 с.
- [13] Романов Е.М., Демаков Ю.П., Нуреева Т.В., Заболотских П.В. О необходимости создания учебно-опытных стационаров для разработки и внедрения интенсивных технологий лесовыращивания и подготовки специалистов лесного дела // Вестник Поволжского государственного технологического университета. Сер. Лес. Экология. Природопользование. 2020. № 2 (46). С. 5–26. DOI: <https://doi.org/10.25686/2306-2827/2020.2.5>
- [14] Демаков Ю.П., Нуреева Т.В., Пуряев А.С., Рыжков А.А. Закономерности развития древостоя в культурах сосны обыкновенной разной исходной густоты // Вестник Поволжского государственного технологического университета. Сер. Лес. Экология. Природопользование. 2016. № 4 (32). С. 19–33. DOI: [10.15350/2306-2827.2016.4.19](https://doi.org/10.15350/2306-2827.2016.4.19)
- [15] Демаков Ю.П., Нуреева Т.В., Краснов В.Г. Результаты 30-летнего опыта по изреживанию культур сосны в борах Марийского Заволжья // Вестник Поволжского государственного технологического университета. Сер. Лес. Экология. Природопользование, 2020. № 3 (47). С. 5–18. DOI: <https://doi.org/10.25686/2306-2827.2020.3.5>
- [16] Демаков Ю.П., Пуряев А.С., Черных В.Л. Использование аллометрических зависимостей для оценки фитомассы различных фракций деревьев и моделирования их динамики // Вестник Поволжского государственного технологического университета. Сер. Лес. Экология. Природопользование, 2015. № 2 (26). С. 19–36.
- [17] Хару П.А., Стоун Р.Дж., Мадер Д.А. Экономичность интенсивных рубок ухода в лесных посадках // Проблемы рубок ухода: Материалы конф. Междунар. союза лесных исследовательских организаций (ИЮФРО). М.: Лесная промышленность, 1987. С. 280–286.
- [18] Ширнин Ю.А., Лазарев А.В. Выкопка и посадка подростка // Лесозаготовка. Красноярск.: Изд-во СибГТУ, 1998. С. 110–115.
- [19] Ширнин Ю.А., Редькин А.К., Лазарев А.В., Гаджиев Г.М., Рукомойников К.П. Технология машинной переделки подростка в процессе лесозаготовок. Йошкар-Ола: Изд-во МарГТУ, 2003. 152 с.
- [20] Демаков Ю.П., Нуреева Т.В., Пуряев А.С. Экономические основы и опыт плантационного лесовыращивания в Среднем Поволжье // Сибирский лесной журнал, 2018. № 2. С. 3–14.
- [21] Романов Е.М., Нуреева Т.В., Еремин Н.В. Обоснование критериев и показателей перевода лесных культур в режим ускоренного лесовыращивания // ИзВУЗ Лесной журнал, 2012. № 5 (329). С. 7–13.

Сведения об авторах

Ширнин Юрий Александрович — д-р техн. наук, профессор, зав. кафедрой лесопромышленных и химических технологий ПГТУ, ShirninYA@volgatech.net

Рукомойников Константин Павлович — д-р техн. наук, профессор кафедры лесопромышленных и химических технологий ПГТУ, RukomojnikovKP@volgatech.net

Гайсин Ильшат Гилязтинович — канд. техн. наук, доцент кафедры лесопромышленных и химических технологий ПГТУ, GaisinIG@volgatech.net

Ширнин Александр Юрьевич — канд. техн. наук, доцент кафедры безопасности жизнедеятельности, Поволжский государственный технологический университет, ShirninAU@volgatech.net

Поступила в редакцию 13.01.2021.

Принята к публикации 04.02.2021.

STRATEGY FOR TECHNOLOGICAL PROCESSES OF FOREST MANAGEMENT IN FOREST PLANTATIONS

Y.A. Shirnin, K.P. Rukomojnikov, I.G. Gaisin, A.Y. Shirnin

Volga State University of Technology, 3, Lenin Square, 424000, Yoshkar-Ola, Republic of Mari El, Russia

ShirninYA@volgatech.net

The analysis of dynamics and final results of plantation reforestation in the context of geometric parameters and spatial placement of the stand is presented, possible ways and means of logging at each stage of forest care are proposed, requirements for the results of each stage of reforestation are formulated, a critical review of existing methods of conducting selective and complete logging under normal conditions is given, possible systems of machines for logging are justified, new elements of technological schemes for developing apiaries and belts are developed.

Keywords: forest plantation, spatial placement of trees, care felling, damage to trees left for rearing, logging operations, machine systems, apiary development schemes

Suggested citation: Shirnin Y.A., Gaisin I.G., Rukomojnikov K.P., Shirnin A.Y. *Obosnovanie neobходимosti razvitiya strategii tekhnologicheskikh processov lesopol'zovaniya na lesnykh plantatsiyah* [Strategy for technological processes of forest management in forest plantations]. *Lesnoy vestnik / Forestry Bulletin*, 2021, vol. 25, no. 3, pp. 49–57. DOI: 10.18698/2542-1468-2021-3-49-57

References

- [1] Demakov Yu.P. *Struktura i zakonornosti razvitiya lesov Respubliki Mariy El* [The structure and patterns of forest development in the Republic of Mari El]. Yoshkar-Ola: Volga State Technological University, 2018, 432 p.
- [2] Shutov I.V., Tovkach L.N., N.M. Minakova Sergienko V.G., Vlasov R.V. *Znachenie neravnomernogo razmeshcheniya derev'ev v kul'turakh sosny* [The value of uneven distribution of trees in pine crops]. *Lesnoe khozyaystvo [Forestry]*, 2001, no. 4, pp. 18–20.
- [3] *Plantatsionnoe lesovyrashchivanie* [Plantation forestry]. Ed. I.V. Shutov. St. Petersburg: SPbPU, 2007, 366 p.
- [4] Vinogorov G.K. *Lesosechnye raboty* [Logging works]. Moscow: Lesnaya promyshlennot' [Forest industry], 1981, 368 p.
- [5] Gerasimov Yu.Yu., Syuney V.S. *Lesosechnye mashiny dlya rubok ukhoda: komp'yuternaya sistema prinyatiya resheniy* [Logging machines for thinning: computerized decision-making system]. Petrozavodsk: PetrSU, 1998, 235 p.
- [6] Ievin' P.K., Rozin' T.Ya. *Dostupnost' derev'ev pri mashinnoy rubke vyborochnym sposobom* [Availability of trees during machine felling by selective method]. *Kompleksnaya mekhanizatsiya rubok ukhoda* [Complex mechanization of thinning]. Riga: Zinatie, 1975, 192 p.
- [7] Ievin' P.K., Rozin' T.Ya. *Vozmozhnost' mashinnogo povala derev'ev na vyborochnykh rubkakh* [Possibility of machine felling of trees on selective felling]. [Forest industry], 1974, no. 1, pp. 29–30.
- [8] Kochegarov V.G., Bit Yu.A., Men'shikov V.N. *Tekhnologiya i mashiny lesosechnykh rabot* [Logging technology and machines]. Moscow: Lesnaya promyshlennot' [Forest industry], 1990, 392 p.
- [9] Shirnin Yu.A., V.A. Anan'ev, Gerasimov Yu.Yu., Demin K.K., Syuney V.S., Khlyustov V.K., Sikanen L., Vyal'kkyu E., Asikaynen A. *Promezhutochnoe pol'zovanie lesom na severo-zapade Rossii* [Intermediate forest use in northwest Russia]. Joensuu: Research Institute of Finnish Forest, 2005, 150 p.
- [10] *Tekhnologiya i mashiny lesosechnykh rabot* [Technology and machines of logging operations]. Ed. V.I. Patyakin. St. Petersburg: SPbGLTU, 2012, 362 p.
- [11] Shirnin Yu.A. *Tekhnologiya i oborudovanie lesopromyshlennykh proizvodstv. Lesosechnye raboty* [Technology and equipment for timber industry. Logging works]. Moscow: MGUL, 2004, 446 p.
- [12] Shirnin Yu.A., Uspenskiy E.I., Belousov A.S. *Tekhnologiya i effektivnost' rubok s estestvennym vozobnovleniem lesa* [Technology and efficiency of felling with natural reforestation]. Yoshkar-Ola: MarPI, 1991, 96 p.
- [13] Romanov E.M., Demakov Yu.P., Nureeva T.V., Zabolotskikh P.V. *O neobkhodimosti sozdaniya uchebno-opytnykh statsionarov dlya razrabotki i vnedreniya intensivnykh tekhnologiy lesovyrashchivaniya i podgotovki spetsialistov lesnogo dela* [On the need to create training and experimental hospitals for the development and implementation of intensive technologies for forest growing and training of forestry specialists]. *Vestnik Povolzhskogo gosudarstvennogo tekhnologicheskogo universiteta. Ser. Les. Ekologiya. Prirodopol'zovanie* [Bulletin of the Volga State Technological University. Ser. Forest. Ecology. Nature management], 2020, no. 2 (46), pp. 5–26. DOI: <https://doi.org/10.25686/2306-2827/2020.2.5>
- [14] Demakov Yu.P., Nureeva T.V., Puryaev A.S., Ryzhkov A.A. *Zakonornosti razvitiya drevostoya v kul'turakh sosny obyknovnoy raznoy iskhodnoy gustoty* [Regularities of stand development in Scots pine cultures of different initial density]. *Vestnik Povolzhskogo gosudarstvennogo tekhnologicheskogo univepsiteta. Ser. Les. Ekologiya. Prirodopol'zovanie* [Bulletin of the Volga State Technological University. Ser. Forest. Ecology. Nature management], 2016, no. 4 (32), pp. 19–33. DOI: 10.15350 / 2306-2827.2016.4.19
- [15] Demakov Yu.P., Nureeva T.V., Krasnov V.G. *Rezul'taty 30-letnego opyta po izrezhivaniyu kul'tur sosny v borakh Mariyskogo Zavolzh'ya* [The results of 30 years of experience in thinning pine crops in the forests of the Mari Trans-Volga region]. *Vestnik Povolzhskogo gosudarstvennogo tekhnologicheskogo universiteta. Ser. Les. Ekologiya. Prirodopol'zovanie* [Bulletin of the Volga State Technological University. Ser. Forest. Ecology. Nature management], 2020, no. 3 (47), pp. 5–18. DOI: <https://doi.org/10.25686/2306-2827.2020.3.5>

- [16] Demakov Yu.P., Puryaev A.S., Chernykh V.L. *Ispol'zovanie allometricheskikh zavisimostey dlya otsenki fitomassy razlichnykh fraktsiy derev'ev i modelirovaniya ikh dinamiki* [The use of allometric dependences for assessing the phytomass of various fractions of trees and modeling their dynamics]. *Vestnik Povolzhskogo gosudarstvennogo tekhnologicheskogo universiteta. Ser. Les. Ekologiya. Prirodopol'zovanie* [Bulletin of the Volga State University of Technology. Ser. Forest. Ecology. Nature management], 2015, no. 2 (26), pp. 19–36.
- [17] Kharu P.A., Stoun R.J., Mader D.A. *Ekonomichnost' intensivnykh rubok ukhoda v lesnykh posadkakh* [Profitability of intensive thinning in forest plantations]. *Problemy rubok ukhoda: Materialy konf. Mezhdunarodnogo soyuza lesnykh issledovatel'skikh organizatsiy (IYuFRO)* [Problems of thinning: Proceedings of the Conf. International Union of Forest Research Organizations (IUFRO)]. Moscow: [Forest industry], 1987, pp. 280–286.
- [18] Shirnin Yu.A., Lazarev A.V. *Vykopka i posadka podrosta* [Digging and planting undergrowth]. Lesoekspluatatsiya. Krasnoyarsk: SibSTU, 1998, pp. 110–115.
- [19] Shirnin Yu.A., Red'kin A.K., Lazarev A.V., Gadzhiev G.M., Rukomoynikov K.P. *Tekhnologiya mashinnoy peresadki podrosta v protsesse lesozagotovok* [Technology of machine transplantation of undergrowth in the process of logging]. Yoshkar-Ola: MarSTU, 2003, 152 p.
- [20] Demakov Yu.P., Nureeva T.V., Puryaev A.S. *Ekonomicheskie osnovy i opyt plantatsionnogo lesovyrashchivaniya v Srednem Povolzh'e* [Economic foundations and experience of plantation forestry in the Middle Volga region]. *Sibirskiy lesnoy zhurnal* [Siberian Forestry Journal], 2018, no. 2, pp. 3–14.
- [21] Romanov E.M., Nureeva T.V., Eremin N.V. *Obosnovanie kriteriev i pokazateley perevoda lesnykh kul'tur v rezhim uskorennoy lesovyrashchivaniya* [Justification of the criteria and indicators for the transfer of forest crops to the regime of accelerated forest growing]. *Lesnoy Zhurnal (Russian Forestry Journal)*, 2012, no. 5 (329), pp. 7–13.

Authors' information

Shirnin Yuriy Aleksandrovich — Dr. Sci. (Tech.), Professor, Head of the Department of industrial and chemical technologies, Volga State University of Technology, ShirninYA@volgatech.net

Rukomojnikov Konstantin Pavlovich — Dr. Sci. (Tech.), Professor of the Department of industrial and chemical technologies, Volga State University of Technology, RukomojnikovKP@volgatech.net

Gaisin Ilshat Gilaztinovich — Cand. Sci. (Tech), Associate Professor of the Department Forestry and chemical technologies, Volga State University of Technology, GaisinIG@volgatech.net

Shirnin Aleksandr Yur'evich — Cand. Sci. (Tech), Associate Professor at the Chair of Safety of Living, Volga State University of Technology, ShirninAU@volgatech.net

Received 13.01.2021.

Accepted for publication 04.02.2021.

УДК 630.2

DOI: 10.18698/2542-1468-2021-3-58-64

РЕСУРСНАЯ ОЦЕНКА ЛЕКАРСТВЕННЫХ РАСТЕНИЙ ГОРНЫХ КЕДРОВО-ШИРОКОЛИСТВЕННЫХ ЛЕСОВ, ПРОИЗРАСТАЮЩИХ В УСЛОВИЯХ ЮГА ДАЛЬНЕГО ВОСТОКА

В.Ю. Минхайдаров, Н.Г. Розломий

ФГБОУ ВО «Приморская государственная сельскохозяйственная академия», 692510, Уссурийск, пр-кт Блюхера, д. 44

boss.shino@mail.ru

Представлены данные исследований современного состояния видового состава лекарственных растений, произрастающих в условиях юга Дальнего Востока на территории лесного участка ФГБОУ ВО «Приморская государственная сельскохозяйственная академия» в горных кедрово-широколиственных лесах. Рассчитан биологический урожай, эксплуатационный урожай, установлен размер пользования и определен период восстановления лекарственных растений. В работе показано, сколько сырья можно заготовить при однократной эксплуатации участка. Проведен анализ, позволивший определить основной видовой состав растений в лещинном кедровнике с липой и дубом и в разнокустарниковом кедровнике с желтой березой, выделить из них виды лекарственных растений характерных для этих типов леса. Установлено, что для объемной заготовки надземных и подземных органов перспективны 18 видов лекарственных растений. Урожайность остальных видов незначительна и возможна только с соблюдением правил по заготовке при проведении мероприятий по увеличению их фитомассы.

Ключевые слова: Дальний Восток, лесной участок, лекарственные растения, ресурсная оценка, горные кедрово-широколиственные леса

Ссылка для цитирования: Минхайдаров В.Ю., Розломий Н.Г. Ресурсная оценка лекарственных растений горных кедрово-широколиственных лесов, произрастающих в условиях юга Дальнего Востока // Лесной вестник / Forestry Bulletin, 2021. Т. 25. № 3. С. 58–64. DOI: 10.18698/2542-1468-2021-3-58-64

Кедрово-широколиственные леса — это лесная формация с уникальным составом растительности [1, 2], отличающаяся многообразием древесных пород, других компонентов фитоценоза и хозяйственным значением. На 1 га площади, занятой кедрово-широколиственными лесами, может произрастать до 20 видов древесных пород и до 100 видов кустарниковых, травянистых растений и лиан [3], многие из которых обладают лечебными свойствами [4].

Повышенный интерес к природным лекарственным средствам обусловлен сложившимся образом жизнедеятельности современного человека. Вредное воздействие химических веществ, находящихся в окружающей среде, производственная деятельность в сложных экологических условиях, систематическое употребление синтетических лекарственных средств, к которым организм эволюционно не приспособлен — все это приводит к распространению аллергических реакций человеческого организма и появлению новых видов заболеваний [5, 6]. Сложившиеся обстоятельства служат достаточным основанием для ревизии и изыскания новых лекарственных средств природного происхождения.

В настоящее время на территории Приморского края ведутся научные исследования, направленные на открытие новых лекарственных растений и углубление знаний об уже известных видах [7, 8].

Наличие сведений о запасах сырья позволит более рационально планировать и осуществлять заготовку лекарственного сырья, а также осуществлять комплекс мер по организации, рациональному использованию и своевременному воспроизводству ресурсов этих растений [9].

Цель работы

Цель работы — определение видового состава лекарственных растений, произрастающих в пределах указанной территории, получение усредненных данных по урожайности лекарственных растений как хорошо известных, так и слабоизученных, но перспективных по своим лечебным свойствам. Для достижения цели проведены анализ флоры лекарственных растений горных кедрово-широколиственных лесов рассматриваемого лесного участка, применяемых в официальной и народной медицине, оценка их запасов и возможных объемов ежегодных заготовок.

Материалы и методы

Методикой исследований была предусмотрена закладка временных пробных площадей (ВПП) в основных горных кедрово-широколиственных лесах, произрастающих на лесном участке ФГБОУ ВО «Приморская государственная сельскохозяйственная академия» [10, 11].

На лесном участке, покрытом горными кедрово-широколиственными лесами, по площади преобладают типы леса: 1) лещинный кедровник

Таксационные показатели древостоя на временных пробных площадях

Taxational specifications on temporary trial plots

Состав	Возраст, лет	Бонитет	Тип леса	Полнота	Запас на 1 га/м ³
3К2ПЦ2ЛП2Д1ЯС+БЖ,БЧ,БХ	170	4	К3	0,7	240,44
3К2ПЦ2Д1ЛП1МП1БЖ+БЧ,МА,Я	310	2	К3	0,9	460,93
3К1ПЦ1Е1ЛП1ЯС1Д1ОС1ББ+Г	170	3	К3	0,7	252,16
3К2ПЦ2БЖ1ЛП1ЯС1Д	220	3	К4	0,9	435,67
3БЖ2ЛП1ОС1ББ2К1ПЦ	110	3	К4	0,6	250,77
2К2ПЦ2БЖ2ЛП1ЯС1Д+ОР	180	4	К4	0,4	180,38

с липой и дубом (К3); 2) разнокустарниковый кедровник с желтой березой (К4). Для проведения исследований было подобрано по три участка, характеризующих каждый тип леса, в которых закладывались ВПП [12].

На исследуемой территории ВПП закладывали таким образом, чтоб оценить все разнообразие лекарственных растений (древесных, кустарниковых, травянистых), представляющих интерес, любые органы которых можно использовать как лекарственное сырье. Исходя из этого, оценку урожайности растений проводили комбинированным способом [13].

Урожайность некрупных травянистых и кустарниковых растений определяли на учетных площадках. Размер учетных площадок — 4×4 м с закладкой 20 шагов в шахматном порядке. На пробных площадках внутри ВВП степень участия некрупных травянистых растений в травостое определяется методами учета их относительного обилия. Кустарнички учитываются сплошным пересчетом. Для определения сырьевой массы был отобран каждый пятый экземпляр. Взвешивание модельных экземпляров проводят отдельно, чтобы осуществить статистическую обработку результатов.

Кроме того, определяли эколого-ценотическую приуроченность лекарственных растений, особенности формирования продуктивности ценопопуляций в зависимости от внешних факторов, состояние растений и сырьевых частей.

Урожайность древесных и крупных кустарниковых растений учитывали на маршрутных ходах по модельным экземплярам. Число пригодных к использованию экземпляров подсчитывали в полосе шириной 2 м. Для получения достоверных средних величин были проведены подсчеты на 25–40 отрезках маршрутного хода.

Всего было заложено шесть ВПП, в том числе 150 пробных площадок и 185 маршрутных хода. Было исследовано 1874 экземпляра растений. Примерный ресурсный потенциал определяли по методике определения запасов лекарственных растений и с помощью справочника для таксации лесов Дальнего Востока.

Результаты и обсуждение

Исследованные древостои отличаются многопородным составом, развиваются по 2–4 классам бонитета, средне- и высокополнотные (табл. 1).

Антропогенная нагрузка на насаждения минимальная и носит нерегулярный сезонный характер, точнее, в период заготовок недревесной продукции леса.

Более существенное воздействие на продуктивность лекарственных растений оказывает полнота древостоя. Разная степень разреженности насаждений создает условия для развития различных групп растений, что объясняется, вероятно, различиями в световом режиме, показателями влажности воздуха и почв. Исследования показали, что к самым бедным по видовому разнообразию и продуктивности можно отнести высокополнотные древостои, где высокая сомкнутость крон не позволяет развиваться подлеску и травянистому покрову, теневыносливые виды лекарственных растений встречаются разреженно, небольшими биогруппами или одиночно (*Oxalis acetosella*, *Asarum sieboldii*), а светолюбивые — только в «окнах» [14].

Аналогичная ситуация наблюдалась в древостое с полнотой 0,4. Разреженное состояние насаждения способствует увеличению светового режима, повышению температуры воздуха и снижению показателей влажности воздуха и почвы. Такие условия способствуют развитию светолюбивых видов растений, кустарниковой растительности, и травяного покрова, обеспечивая их хороший рост. Изменение климатических факторов и обильная фитомасса кустарников и травянистых растений, преимущественно злаковых, снижают разнообразие видов, однако увеличивают урожайность их надземных органов. Так, показатель урожайности надземных сырьевых органов видов *Berberis amurensis*, *Lonicera caerulea*, *Lespedeza bicolor*, *Corylus mandshurica*, *Eleutherococcus senticosus*, *Rosa acicularis*, *Vitis amurensis*, *Schisandra chinensis* имеет максимальные значения [15, 16]. При этом урожайность корней *Eleutherococcus senticosus* меньше, чем в древостоях, имеющих полноту 0,6–0,7.

Т а б л и ц а 2

Усредненные данные урожайности лекарственных растений в переводе на 1 га

Average data on the yield of medicinal plants per 1 ha

Название вида	Лекарственное сырье	Биологический урожай, кг/га	Эксплуатационный запас, кг/га	Расчетный размер пользования, кг/га	Период восстановления лекарственного растения
Древесные растения					
<i>Phellodendron amurense</i>	Плоды	2,4	1,44	1,44	3 года
<i>Betula davurica</i>	Почки	5,8	5,8	5,8	Время заготовки на вырубке
<i>Betula platyphylla</i>	«—»	4,7	4,7	4,7	
<i>Quercus mongolica</i>	Кора	1,6	0,96	0,96	«—»
<i>Tilia amurensis</i>	Липовый цвет	4,42	2,65	1,33	2 года
<i>Pinus koraiensis</i>	Орех	120	84	84	5 лет
<i>Malus mandshurica</i>	Плоды	3	1,8	1,8	1 год
Древовидные кустарники, кустарники и полукустарники					
<i>Aralia mandshurica</i>	Корни	12	7,2	3,6	15 лет
<i>Berberis amurensis</i>	Листья	5,4	3,24	1,62	6 лет
<i>Lonicera caerulea</i>	Плоды	10	6	3	2 года
<i>Lespedeza bicolor</i>	Ветви	6,7	4,02	2,01	4 года
<i>Corylus mandshurica</i>	Орех	10	6	3	2 года
Рубус сахалинская	Плоды	10	6	3	2 года
<i>Rubus saxatilis</i>	«—»	10	6	3	2 года
<i>Eleutherococcus senticosus</i>	Корни	14,2	8,52	4,26	15 лет
<i>E. sessiliflorus</i>	«—»	7,3	4,38	2,19	15 лет
<i>Rosa acicularis</i>	Плоды	10	6	3	2 года
Лианы					
<i>Actinidia kolomikta</i>	Плоды	2,44	1,464	1,464	2 года
<i>Vitis amurensis</i>	«—»	10,64	6,384	6,384	2 года
<i>Schisandra chinensis</i>	«—»	15,7	9,42	9,42	3 года
Травянистые растения					
<i>Arisema amurense</i>	Корни	3,35	2,01	1,005	10 лет
<i>Aster scaber</i>	Трава	3,81	2,286	1,143	3 года
<i>Aconitum arcatum</i>	Клубни	0,23	0,138	0,069	7 лет
<i>Valeriana officinalis</i>	Корни	7,31	4,386	2,193	10 лет
<i>Lysimachia davurica</i>	Трава	5,42	3,252	1,626	4 года
<i>Bupleurum longiradiatum</i>	Корни	9,67	5,802	2,901	7 лет
<i>Dioscorea nipponica</i>	«—»	4,16	2,496	1,248	15 лет
<i>Fragaria orientalis</i>	Листья	0,23	0,13	0,07	4 года
<i>Cacalia hastata</i>	Трава	2,18	1,308	0,654	4 года
<i>Oxalis acetosella</i>	«—»	3,81	2,286	1,143	4 года
<i>Codonopsis ussuriensis</i>	«—»	1,72	1,032	0,516	4 года
<i>Asarum sieboldii</i>	Корни	0,11	0,066	0,033	15 лет
<i>Sanguisorba officinalis</i>	«—»	3,92	2,352	1,176	10 лет
<i>Convalaria keiskei</i>	Трава	1,17	0,702	0,351	5 лет
<i>Majanthemum bifolium</i>	«—»	1,67	1,002	0,501	4 года
<i>Rubia silvatica</i>	Корни	2,41	1,446	0,723	8 лет
<i>Sedum aizoon</i>	Трава	6,71	4,026	2,013	4 года
<i>Asparagus schoberioides</i>	«—»	6,77	4,062	2,031	3 года
<i>Veratrum lobelianum</i>	«—»	7,7	4,422	2,211	5 лет
<i>Dryopteris buschiana</i>	«—»	6,71	4,026	2,013	5 лет
<i>Lamium boratum</i>	«—»	4,39	2,634	1,317	3 года

По нашим наблюдениям, наиболее продуктивными оказались древостои, имеющие полноту 0,6–0,7. Именно в них произрастает максимальное количество лекарственных видов растений, характеризующихся средними значениями урожайности.

Всего на ВПП нами был установлен 41 вид лекарственных растений. Древесные виды: бархат амурский (*Phellodendron amurense* Rupr.), береза даурская (*Betula davurica* Pall.), береза плосколистная (*Betula platyphylla* Sukacz.), дуб монгольский (*Quercus mongolica* Fisch. ex Ledeb.), липа амурская (*Tilia amurensis* Rupr.), сосна корейская (*Pinus koraiensis* Sieb. et Zucc.), яблоня маньчжурская (*Malus mandshurica* (Maxim.) Kom.) [17, 18].

Древовидные кустарники, кустарники и полукустарники: аралия маньчжурская (*Aralia mandshurica* Rupr. et Maxim.), барбарис амурский (*Berberis amurensis* Rupr.), жимолость голубая (*Lonicera caerulea* L.), леспедеца двухцветная (*Lespedeza bicolor* Turcz.), лещина маньчжурская (*Corylus mandshurica* Maxim.), рубус сахалинский (*Rubus saxatilis* L.), свободнягодник колючий (*Eleutherococcus senticosus* (Rupr. et Maxim.) Maxim.), свободнягодник сидячецветковый (*E. sessiliflorus* (Rupr. et Maxim.) S. V. Hu), смородина малоцветковая (*Ribes paueiflorum* Turcz. ex Pojark.), шиповник иглистый (*Rosa acicularis* Lindl) [19–21].

Древесные лианы: актинидия коломикта (*Actinidia kolomikta* (Maxim.) Maxim.), виноград амурский (*Vitis amurensis* Rupr.), лимонник китайский (*Schisandra chinensis* (Turcz.) Baill.).

Травянистые растения: аризема амурская (*Arisema amurense* Maxim.), астра шероховатая (*Aster scaber* Thumb.), борец дуговой (*Aconitum arcatum* Maxim.), валериана лекарственная (*Valeriana officinalis* L.), вербейник даурский (*Lysimachia davurica* Ldb.), володушка длинноручевая (*Bupleurum longiradiatum* Turcz.), диоскорея ниппонская (*Dioscorea nipponica* Makino), земляника восточная (*Fragaria orientalis* L.), недоспелка копьевидная (*Cacalia hastata* L.), кислица обыкновенная (*Oxalis acetosella* L.), кодонопсис уссурийский (*Codonopsis ussuriensis* (Rupr. et Maxim.) Hemsl.), копытень Зибольда (*Asarum sieboldii* Mig.), кровохлебка аптечная (*Sanguisorba officinalis* L.), ландыш Кейске (*Convallaria keiskei* Mig.), майник двулистный (*Majanthemum bifolium* (L.) Schmidt.), марена лесная (*Rubia silvatica* (Maxim.) Nakai.), очиток живучий (*Sedum aizoon* L.), спаржа шобериевидная (*Asparagus schoberioides* Kunth.), черемица Лобеля (*Veratrum lobelianum* Bernh.), щитовник Буша (*Dryopteris buschiana* Fom.), яснотка бородчатая (*Lamium boratum* Sieb. et Zucc.) [22, 23]. Восемь из них являются фармакопейными растениями, остальные применяются

в нетрадиционной медицине или являются «викарными» [24–27].

Перечень приморских викарных видов, родственных официальным, в 2 раза превышает ассортиментный список заготавливаемого сырья, а некоторые викариаты (дуб монгольский, барбарис амурский, ландыш Кейске и др.), по сложившейся практике, заготавливаются в Приморье и поступают в аптечную сеть в отсутствие соответствующих нормативных документов.

При определении урожайности учитывалось сырье всех товарных экземпляров, однако при заготовках некоторую часть растений оставляют для восстановления зарослей. Следовательно, эксплуатационный запас необходимо вести по нижнему пределу урожайности. В большинстве случаев эксплуатационный запас сырья нами был условно принят равным 60...70 % биологического запаса. Эксплуатационный запас сырья показывает, сколько сырья можно заготовить при однократной эксплуатации заросли, а для многократной эксплуатации заросли берется расчетный размер пользования, который составляет 50 % эксплуатационного урожая (табл. 2).

В настоящее время имеются достаточно точные экспериментальные данные о сроках восстановления сырья лишь некоторых видов растений [28]. Для остальных видов продолжительность этого периода еще не установлена, и можно лишь ориентировочно наметить для них периодичность заготовок, ориентируясь на периоды массового плодоношения и биологические особенности.

Выводы

Анализ исследований позволил определить основной видовой состав растений в лещинном кедровнике с липой и дубом и разнокустарниковом кедровнике с желтой березой и выделить из них виды лекарственных растений, характерных для данных типов леса.

Для объемной заготовки надземных и подземных органов перспективными являются 18 видов лекарственных растений. Показатель урожайности остальных видов в данных лесах незначителен и достичь его приемлемого значения возможно только с соблюдением правил по заготовке лекарственных растений и при проведении мероприятий по увеличению их количества.

Наиболее продуктивны для заготовки лекарственного сырья среднеполнотные древостои, низкополнотные — перспективны, в частности, для заготовки плодово-ягодных растений и светолюбивых травянистых, у которых для заготовок используются наземные органы, в высокополнотных насаждениях возможны заготовки древесных и теневыносливых растений.

Почти все виды лекарственных растений отличаются низкой регенерационной способностью. Их надземная часть восстанавливается в среднем за 3...5 лет, корневища и корни возобновляются за 7...15 лет, это показывает необходимость чрезвычайно бережно относиться к их запасам.

Список литературы

- [1] Корякин В.Н. Кедрово-широколиственные леса Дальнего Востока России. Хабаровск: ДальНИИЛХ, 2007. 359 с.
- [2] Измоденов А.Г. Богатства кедрово-широколиственных лесов. М.: Лесная пром-сть, 1972. 120 с.
- [3] Кудинов А.И. Широколиственно-кедровые леса Уссурийского заповедника и их динамика. Владивосток: Дальнаука, 1994. 182 с.
- [4] Попов А.П. Лесные целебные растения: справочник. М.: Экология, 1992. 158 с.
- [5] Гаммерман А.Ф., Кадаев Г.Н., Яценко-Хмелевский А.А. Лекарственные растения (растения-целители): справочное пособие. М.: Высш. шк., 1990. 544 с.
- [6] Коляда А.С., Фролов В.А. Лекарственные растения Приморья: свойства и применение. Владивосток: Дальпресс, 1992. 91 с.
- [7] Ильченко Т.П., Бакуменко Н.И. Лекарственные свойства видов растений флоры Дальнего Востока. Владивосток: Изд-во Приморского с.-х. ин-та, 1992. 110 с.
- [8] Зориков П.С. Основные лекарственные растения Приморского края. Владивосток: Дальнаука, 2004. 129 с.
- [9] Коренская И.М., Ивановская Н.П., Измалкова И.Е. Лекарственные растения и лекарственное растительное сырье, содержащие антраценпроизводные, простые фенолы, лигнаны, дубильные вещества. Воронеж: Изд-во ВГУ, 2007. 87 с.
- [10] Программа и методика биоценологических исследований / под ред. В.Н. Сукачева, Н.В. Дылиса. М.: Наука, 1966. 334 с.
- [11] Методика определения запасов лекарственных растений. М.: ЦБНТИлесхоза, 1986. 51 с.
- [12] Справочник для таксации лесов Дальнего Востока / Отв. сост. и ред. В.Н. Корякин. Хабаровск: ДальНИИЛХ, 1990. 526 с.
- [13] Шретер А.И. Целебные растения Дальнего Востока и их применение. Владивосток: Дальневосточное книжное изд-во, 1970. 136 с.
- [14] Никиточкина Т.А. Лекарственные растения леса. М.: Изобразительное искусство, 1991. 33 с.
- [15] Комарова А.А., Степанова Т.А. Элеутерококк колючий — популярный адаптоген дальнего востока: история изучения, исследование биологической и фармакотерапевтической активности // Дальневосточный медицинский журнал, 2018. № 2. С. 65–71.
- [16] Носов А.М. Лекарственные растения официальной и народной медицины: 300 статей о растениях: применение в научной и народной медицине: приготовление лекарственных препаратов в домашних условиях. М.: ЭКСМО, 2005. 798 с.
- [17] Усенко Н.В. Плодовые и ягодные растения лесов Дальнего Востока. Хабаровск: Хабаровское книжное изд-во, 1953. 132 с.
- [18] Усенко Н.В. Деревья, кустарники и лианы Дальнего Востока. Хабаровск: Хабаровское книжное изд-во, 1984. 270 с.
- [19] Ворошилов В.Н. Определитель растений советского Дальнего Востока. М.: Наука, 1982. 672 с.
- [20] Черепанов С.К. Сосудистые растения России и сопредельных государств (в пределах бывшего СССР). Санкт-Петербург: Мир и семья – 95, 1995. 990 с.
- [21] Сосудистые растения советского Дальнего Востока: Плауновидные, Хвощевидные, Папоротниковидные, Голосеменные, Покрытосеменные (Цветковые). В 8 т. / Отв. ред. С.С. Харкевич. Л.: Наука. 1985. Т. 2. 446 с.
- [22] Ворошилов В.Н. Флора советского Дальнего Востока. М.: Наука, 1966. 447 с.
- [23] Фруентов Н.К. Лекарственные растения Дальнего Востока. Хабаровск: Хабаровское книжное изд-во, 1987. 352 с.
- [24] Hübötter F. Chinesisch-Tibetische Pharmakologie und Rezeptur. Ulm (Donau): Haug, 1957, 180 p.
- [25] Koda A. Pharmacological actions of baicalin and baicalein and baicalein // Folia Pharmacologica Japonica, 1970, no. 66, pp. 194–213.
- [26] Koda A., Nagai H., Wada H. The pharmacological action of baicalin and baicalein. Effects of active and anaphylactic reactions // Folia Pharmacol Japonica, 1970, no. 66, pp. 237–247.
- [27] Koda A., Nagai H., Yoshida Y., Ron Hon C. The pharmacological action of baicalin and baicalein. Effect upon experimental asthma // Folia Pharmacol Japonica, 1970, no. 66, pp. 471–486.
- [28] Лавренов В.Д., Лавренова Г.А. Энциклопедия лекарственных растений народной медицины. СПб.: Нева, 2003. 272 с. С. 91.

Сведения об авторах

Минхайдаров Владислав Юрьевич — канд. биол. наук, доцент кафедры лесоводства, ФГБОУ ВО «Приморская государственная сельскохозяйственная академия», boss.shino@mail.ru

Розломий Наталья Геннадьевна — канд. биол. наук, доцент кафедры лесоводства, ФГБОУ ВО «Приморская государственная сельскохозяйственная академия», rozlomiyn@bk.ru

Поступила в редакцию 02.12.2020.

Принята к публикации 05.02.2021.

RESOURCE ASSESSMENT OF MEDICINAL PLANTS IN MOUNTAIN CEDAR AND BROAD-LEAVED DECIDUOUS FORESTS GROWING IN SOUTH OF FAR EAST

V.Y. Mirhaydarov, N.G. Rozlomy

Primorsky State Agricultural Academy, 44, Blucher av., 692510, Ussuriysk, Russia

boss.shino@mail.ru

The article presents research data on studies of the current state of the species composition of medicinal plants growing in the south of the Far East on the territory of the forest area of FSBEI HP «Primorskaya State Agricultural Academy» in mountain cedar-latitude forests. Biological harvest, production harvest is calculated, size of usage is established and period of restoration of medicinal plants is determined. The work shows how much raw materials can be harvested during one-time operation of thickets. Analysis was carried out, which made it possible to determine the main species composition of plants in hazelnut cedar with linden and oak and in different-shellfish cedar with yellow birch, to distinguish from them the types of medicinal plants characteristic of these types of forest. It was established that 18 types of medicinal plants are promising for volumetric harvesting of above-ground and underground organs. The yield of the remaining species is insignificant and is possible only with the observance of the rules for harvesting during the take-away measures to increase their phytomass.

Keywords: Far East, forest area, medicinal plants, resource assessment, mountain cedar-broad-leaved forests

Suggested citation: Mirhaydarov V.Y., Rozlomy N.G. *Resursnaya otsenka lekarstvennykh rasteniy gornyykh kedrovo-shirokolistvennykh lesov, proizrastayushchikh v usloviyakh yuga Dal'nego Vostoka* [Resource assessment of medicinal plants in Mountain cedar and broad-leaved deciduous forests growing in south of Far East]. *Lesnoy vestnik / Forestry Bulletin*, 2021, vol. 25, no. 3, pp. 58–64. DOI: 10.18698/2542-1468-2021-3-58-64

References

- [1] Koryakin V.N. *Kedrovo-shirokolistvennye lesa Dal'nego Vostoka Rossii* [Cedar-wide-leaf forests of the Russian Far East]. Khabarovsk: Dal'NIILKh, 2007, 359 p.
- [2] Izmodenov A.G. *Bogatstva kedrovo-shirokolistvennykh lesov* [Wealth of cedar-wide-leaf forests]. Moscow: Lesnaya promyshlennost' [Forest Industry], 1972, 120 p.
- [3] Kudinov A.I. *Shirokolistvenno-kedrovye lesa Ussuriyskogo zapovednika i ikh dinamika* [The broad-leaf cedar forests of Ussuri Reserve and their dynamics]. Vladivostok: Dal'nauka, 1994, 182 p.
- [4] Popov A.P. *Lesnye tselebnye rasteniya: spravochnik* [Forest healing plants]. Moscow: Ekologiya [Ecology], 1992, 158 p.
- [5] Gammerman A.F., Kadaev G.N., Yatsenko-Khmelevskiy A.A. *Lekarstvennye rasteniya (Rasteniya-tseliteli)* [Medicinal plants (Healer plants)]. Moscow: Vysshaya shkola [Higher school], 1990, 544 p.
- [6] Kolyada A.S., Frolov V.A. *Lekarstvennye rasteniya Primor'ya: svoystva i primeneniye* [Medicinal plants of the Primorye: properties and applications]. Vladivostok: Dal'press, 1992, 91 p.
- [7] Il'chenko T.P., Bakumenko N.I. *Lekarstvennye svoystva vidov rasteniy flory Dal'nego Vostoka* [Medicinal properties of plant species of flora of the Far East. Vol. I]. Vladivostok: Primorskiy s.-kh. in-t [Primorsky agricultural institute], 1992, 110 p.
- [8] Zorikov P.S. *Osnovnye lekarstvennye rasteniya Primorskogo kraya* [The main medicinal plants of the Primorsky region]. Vladivostok: Dal'nauka, 2004, 129 p.
- [9] Korenskaya I.M., Ivanovskaya N.P., Izmalkova I.E. *Lekarstvennye rasteniya i lekarstvennoe rastitel'noe syr'e, sodержashchie antratsenproizvodnyye, prostye fenoly, lignany, dubil'nye veshchestva* [Medicinal plants and medicinal vegetable raw materials containing anthracene-producing, simple phenols, lignans, tannins]. Voronezh: VGU, 2007, 87 p.
- [10] *Programma i metodika biotsenoticheskikh issledovaniy* [Biocodot research program and methodology]. Eds. V.N. Sukachev, N.V. Dylis. Moscow: Nauka, 1966, 334 p.
- [11] *Metodika opredeleniya zapasov lekarstvennykh rasteniy* [Method of determining the reserves of medicinal plants]. Moscow: TsBNTIleskhoza, 1986, 51 p.
- [12] *Spravochnik dlya taksatsii lesov Dal'nego Vostoka* [Guide to the action of the forests of the Far East]. Khabarovsk: Dal'NIILKh, 1990, 526 p.
- [13] Shreter A.I. *Tselebnye rasteniya Dal'nego Vostoka i ikh primeneniye* [Healing plants of the Far East and their use]. Vladivostok: Dal'nevostochnoe knizhnoe izdatel'stvo [Far Eastern Book Publishing House], 1970, 136 p.
- [14] Nikitochkina T.A. *Lekarstvennye rasteniya lesa* [Medicinal plants of the forest]. Moscow: Izobrazitel'noye iskusstvo [Fine Arts], 1991, 33 p.
- [15] Komarova A.A., Stepanova T.A. *Eleuterokokk kolyuchiy — populyarnyy adaptogen Dal'nego Vostoka: istoriya izucheniya, issledovanie biologicheskoy i farmakoterapevticheskoy aktivnosti* [Eleutherococcal prickly is a popular adaptogen of the Far East: history of study, study of biological and pharmacotherapeutic activity]. *Dal'nevostochnyy meditsinskiy zhurnal* [Far Eastern medical journal], 2018, no. 2, pp. 65–71.
- [16] Nosov A.M. *Lekarstvennye rasteniya ofitsial'noy i narodnoy meditsiny: 300 statey o rasteniyakh: primeneniye v nauchnoy i narodnoy meditsine: prigotovleniye lekarstvennykh preparatov v domashnikh usloviyakh* [Medicinal plants of official and traditional medicine: 300 articles on plants: use in scientific and traditional medicine: preparation of medicines at home]. Moscow: Eksmo, 2005, 798 p.
- [17] Usenko N.V. *Plodovye i yagodnye rasteniya lesov Dal'nego Vostoka*. Khabarovsk: Khabarovskoe knizhnoe izd-vo [Khabarovsk book publishing house], 1953, 132 p.
- [18] Usenko N.V. *Derev'ya, kustarniki i liany Dal'nego Vostoka* [Trees, shrubs and vines of the Far East]. Khabarovsk: Khabarovskoe knizhnoe izd-vo [Khabarovsk book publishing house], 1984, 270 p.

- [19] Voroshilov V.N. *Opredelitel' rasteniy sovetskogo Dal'nego Vostoka* [Plant determiner of the Soviet Far East]. Moscow: Nauka, 1982, 672 p.
- [20] Cherepanov S.K. *Sosudistye rasteniya Rossii i sopredel'nykh gosudarstv (v predelakh byvshego SSSR)* [Vascular plants of Russia and neighboring states (within the former Soviet Union)]. Saint Petersburg: Mir i sem'ya – 95 [Mir and family – 95], 1995, 990 p.
- [21] *Sosudistye rasteniya sovetskogo Dal'nego Vostoka: Plaunovidnye, Khvoshchevidnye, Paprotnikovidnye, Golosemnyye, Pokrytosemnyye (Tsvetkovye). V 8 t.* [Sosudistye rasteniya sovetskogo Dal'nego Vostoka: Plaunovidnye, Hvoshevidnye, Paprotnikovidnye, Golosemnyye, Pokrytosemnyye (Cvetkovye). 8 t.]. Ed. S.S. Harkevich. Leningrad: Nauka, 1985, v. 2, 446 p.
- [22] Voroshilov V.N. *Flora sovetskogo Dal'nego Vostoka* [Flora of the Soviet Far East]. Moscow: Nauka, 1966, 447 p.
- [23] Fruentov N.K. *Lekarstvennye rasteniya Dal'nego Vostoka* [Medicinal plants of the Far East]. Khabarovsk: Khabarovskoe knizhnoe izd-vo [Khabarovsk book publishing house], 1987, 352 p.
- [24] Hübötter F. *Chinesisch-Tibetische Pharmakologie und Rezeptur*. Ulm (Donau): Haug, 1957, 180 p.
- [25] Koda A. Pharmacological actions of baicalin and baicalein and baicalein. *Folia Pharmacologica Japonica*, 1970, no. 66, pp. 194–213.
- [26] Koda A., Nagai H., Wada H. The pharmacological action of baicalin and baicalein. Effects of active and anaphylactic reactions. *Folia Pharmacol Japonica*, 1970, no. 66, pp. 237–247.
- [27] Koda A., Nagai H., Yoshida Y., Ron Hon C. The pharmacological action of baicalin and baicalein. Effect upon experimental asthma. *Folia Pharmacol Japonica*, 1970, no. 66, pp. 471–486.
- [28] Lavrenov V.D., Lavrenova G.A. *Entsiklopediya lekarstvennykh rasteniy narodnoy meditsiny* [Encyclopedia of medicinal plants of traditional medicine]. Saint Petersburg: Neva, 2003, p. 91.

Authors' information

Minkhaidarov Vladislav Yur'evich — Cand. Sci. (Biology), Associate Professor of the Department of Forestry, Primorsky State Agricultural Academy, boss.shino@mail.ru

Rozlomiya Natalya Gennadievna — Cand. Sci. (Biology), Associate Professor of the Department of Forestry, Primorsky State Agricultural Academy, rozlomiya@bk.ru

Received 02.12.2020.

Accepted for publication 05.02.2021.

УКРЕПЛЕНИЕ И ЗАЩИТА БЕРЕГОВ В КАЛАЧЕВСКОМ РАЙОНЕ ВОЛГОГРАДСКОЙ ОБЛАСТИ С ПОМОЩЬЮ КУСТАРНИКОВОЙ РАСТИТЕЛЬНОСТИ

А.С. Соломенцева

ФГБНУ «Федеральный научный центр агроэкологии, комплексных мелиораций и защитного лесоразведения Российской академии наук», 400062, г. Волгоград, Университетский проспект, д. 97

alexis2425@mail.ru

Критическая абразионная ситуация проявляется на береговой части Калачевского района Волгоградской обл. ввиду возрастающей антропогенной нагрузки. Наиболее важным элементом комплекса мер по борьбе с заилением водохранилищ и абразии берегов, а также эффективной мерой по укреплению берегов является лесная растительность. В цели исследований входило изучение почвенных, лесорастительных и климатических условий исследуемого объекта, разработка ассортимента кустарников и особенностей формирования защитных лесонасаждений, а также критериев подбора адаптированного ассортимента древесно-кустарниковой растительности и способов ухода за почвой и насаждениями. В ходе исследований выявлены наиболее перспективные виды кустарников для создания верхних защитных лесонасаждений: бирючина (*Ligustrum vilgare* L.), барбарис обыкновенный (*Berberis vulgaris* L.), кизильник блестящий (*Cotoneaster lucidus* Schltldl.), ирга (*Amelanchier* Medik.), смородина (*Ribes aureum* Pursh.) и шиповник (*Rosa canina* L.). Установлено, что полезная роль лесных насаждений проявляется в их способности переводить поверхностный сток во внутрипочвенный, очищать поверхностные стоковые воды от мелкозема, ослаблять скорость движения и гасить энергию волн, скрепляя почву корнями. Даны рекомендации по созданию и размещению противоабразионных насаждений в зависимости от крутизны и высоты склона. Изложено, что одним из основных мероприятий по уходу за надземной частью насаждений является обрезка кроны, проводимая с учетом биологических особенностей их роста и развития, включающая удаление сухих и поврежденных ветвей, прореживание кроны, сохранение ранее приданных кроне размеров, омоложение кроны. Рекомендуется размещать кустарники в зависимости от ландшафтных, почвенно-климатических условий и особенностей абразионных процессов в зонах постоянного, периодического, эпизодического затопления и сильного умеренного и слабого подтопления территории береговой линии.

Ключевые слова: абразия, укрепление берегов, кустарники, защитные лесные насаждения, Цимлянское водохранилище, ассортимент

Ссылка для цитирования: Соломенцева А.С. Укрепление и защита берегов в Калачевском районе Волгоградской области с помощью кустарниковой растительности // Лесной вестник / Forestry Bulletin, 2021. Т. 25. № 3. С. 65–72. DOI: 10.18698/2542-1468-2021-3-65-72

В настоящее время приобрели актуальность вопросы формирования противоабразионных лесонасаждений в Калачевском районе Волгоградской обл. Важный аспект при этом — ликвидация нежелательных последствий, обусловленных наличием абразии, развивающейся на берегах Цимлянского водохранилища [1, 2]. Общая протяженность лесных защитных полос в районе составляет 1956 км, площадь — 21,5 тыс. га. Располагаясь в различных почвенно-грунтовых условиях, они выполняют важные природоохранные функции. За последние годы площадь зеленого кольца вокруг Цимлянского водохранилища постепенно расширялась, а на площади более 10 тыс. га по специальным проектам созданы лесные защитные насаждения [3].

В настоящее время вследствие отсутствия государственного финансирования практически прекращены работы по созданию новых защитных лесонасаждений и уходу за уже существующими. Бесхозной стала значительная часть лесополос, расширились незаконные рубки и

увеличилось число других нарушений, к тому же не проводятся мероприятия по борьбе с вредителями [4–6].

Вместе с тем в связи с ратификацией Российской Федерацией Киотского протокола от 4 ноября 2004 г., перспективным является создание лесных насаждений на землях водного фонда [7, 8]. Это позволяет увеличить объем работ по защитному лесоразведению, с учетом расположения Волгоградской обл. в зонах степей и полупустынь из общей площади ее территории 26 % земель — подвержены водной эрозии, 32 % — ветровой, а каждый третий год острозасушливый [9].

В связи с этим необходим, прежде всего, жесточенный контроль за процессами развития абразии по берегам водохранилища, а также уделять усиленное внимание за качеством результативности работ по укреплению и облесению берегов водохранилища [10].

Поскольку нет данного контроля за ходом абразионных процессов на берегах Цимлянского водохранилища в районе исследуемого объекта,

разрушение берегов приобретает критический характер, чему способствует отсутствие системы учета и оценки. В настоящее время в связи с огромной антропогенной нагрузкой на природных геосистемах развивается много проблемных ситуаций [11–14], которые проявляются как на региональном, так и на местном уровне. При изучении локального антропогенного воздействия с негативными последствиями необходимо ориентироваться на природный потенциал и климатические флуктуации [15]. Особенно остро эта проблема стоит в связи с современными климатическими изменениями [16].

Проведение работ по укреплению берегов и защите их от размыва в Калачевском районе в настоящее время — один из основных критериев оценки итогов деятельности предприятий, осуществляющих контроль за процессами абразии. Необходимо в законодательном порядке разработать и ввести в действие систему контроля за развитием абразии [17]. Составной частью такой системы должен быть предельно допустимый уровень разрушения берегов, прежде всего степень развития абразионных процессов [18–20].

Цель работы

Цель работы — разработка принципов обустройства береговой части Цимлянского водохранилища в Калачевском районе с использованием подбора ассортимента кустарниковых видов для контроля абразионных процессов.

Материалы и методы исследования

Наблюдения проводились на основе маршрутных и натурных визуальных исследований территории. Данные по погодным условиям были заимствованы с сайта «Климатический монитор» [21–23], по загрязненности и видам мероприятий по берегоукреплению — из ведомственных журналов и записей [24].

Объект исследований — берег водохранилища в Калачевском районе Волгоградской обл. Особенными ландшафтными компонентами лесных экосистем, которые обеспечивают условия для обитания специализированных видов в регионе исследований, согласно Регламенту Калачевского лесничества, являются водные объекты, крутые склоны и песчаные участки.

Ключевыми биотопами, имеющими природоохранное значение, признаны заболоченные участки лесных полос в бессточных или слабопроточных понижениях (заболоченные участки), а также участки леса на крутых склонах, обрывах и уступах [25].

Повреждение растений заморозками определяли в баллах: повреждений нет — 0; подмерзли края единичных листьев — 1; значительная часть

кроны повреждена — 2; крона повреждена, но побеги жизнеспособны — 3; побеги нежизнеспособны — 4; растение погибло — 5.

За время работы велись наблюдения в зоне береговой части водохранилища протяженностью 12 км.

Результаты и обсуждение

Волго-Донской судоходный канал проходит по открытой степной на супесях местности в засушливой зоне. Сильные сухие ветры поднимают массы пыли и песка, что может привести к разрушению земляных сооружений, заилению и обмелению канала. Штормовые ветры могут препятствовать судоходству, прибывая суда к берегу.

Исходя из этого, все сооружения и сам канал требуют защиты с помощью распространения зеленых насаждений, которые должны заслонять канал, преграждая путь ветру. Зеленые насаждения на береговой части канала могут способствовать улучшению судоходных условий (уменьшению ветровой нагрузки) и микроклиматических условий в близлежащих вдоль зоны канала населенных пунктах, уменьшению испарения с водной поверхности канала и водохранилища, защите канала и водохранилища от заиления, засоления, образования топких берегов, приданию законченного архитектурного вида гидротехническим сооружениям.

Проект противоабразионных насаждений предусматривает создание декоративных защитных насаждений в виде групповых и аллейных посадок на гидротехнических сооружениях, озеленение поселков и формирование защитных лесных полос вдоль поселков, береговых защитных лесопарковых зон и декоративно-защитных полос на дамбах каналов и по берегам водохранилища. Зона затопления наиболее выражена в правобережной части водохранилища с крутыми склонами, на левобережной — чаще пологие берега и в меньшей степени крутые. Наиболее интенсивное размытие берегов зафиксировано в период половодья и паводка, а также в межень, когда удары волн наиболее интенсивны, что вызывает активное разрушение берегов.

Размещение и подбор ассортимента насаждений по берегам зависят от степени абразии и крутизны склонов при учете наличия абразионных процессов вдоль береговой линии в течение всего года (табл. 1).

За основу классификации оценки чистоты воды была принята следующая шкала: очень чистая — 1 класс; чистая — 2 класс; умереннозагрязненная — 3 класс; загрязненная — 4 класс; грязная — 5 класс; очень грязная — 6 класс. Почвы района исследований — каштановые и светло-каштановые, в понижениях (лощинах, балках и др.) часто встречаются интразональ-

Т а б л и ц а 1
**Типы насаждений и их расположение
 в местах смыва**

Types of plantings and their location in outwash places

Тип насаждений	Ширина полосы, м	Число рядов	Расположение
Верхние береговые	60...120	2–3	Выше зоны нормального подпорного уровня
Средние береговые	10...20	1–3	Между отметками нормального подпорного уровня и форсированного подпорного уровня
Нижние береговые	20...50	2–3	В зоне нормального подпорного уровня
Дрены	30 м	2–4	В зоне переувлажненной почвы
Илозадерживающие (насосорегулирующие)	До 50	До 20	По основному и второстепенному тальвегу
Волноломные	До 40	–	На участках интенсивного разрушения дамб до основания откоса

ные — почвы дерново-каштановые, на повышенных элементах рельефа — каштановые и глинистые почвы на суглинках и аллювиальных отложениях.

Территория Калачевского района расположена в полупустынной зоне, характеризующейся засушливым климатом. Многолетняя среднегодовая температура воздуха составляет 6,7 °С, годовая сумма осадков — 300 мм.

Суммарная масса сброса загрязняющих веществ со сточными водами составляет 3 тыс. т/г. Основной источник загрязнения — автомобильный, водный и железнодорожный транспорт. По данным гидрохимической лаборатории «Управление водными ресурсами Цимлянского водохранилища» (ФГУ «УВРЦВ») основной класс воды в водохранилище — 3, т. е. умереннозагрязненный.

Подбор ассортимента кустарников для облесения берегов и создания эффективных устойчивых к антропогенному воздействию насаждений проводился с учетом почвенно-климатических условий, назначения, приспособленности к негативным экологическим условиям, т. е. по эколого-биологическим особенностям применительно к точному экологическому адресу, выносливости и адаптации к местным условиям региона исследований.

Озеленение Волго-Донского судоходного канала началось с 1962 г. Наблюдения показали, что крупные деревья неустойчивы на крутых берегах и часто опрокидываются и захламляют водоем, поэтому береговой пояс из кустарников

с развитой корневой системой признан наиболее подходящим. Кустарники смогут скрепить почву и обеспечат большую санитарно-гигиеническую и мелиоративную безопасность, при наличии декоративности. Нормативные документы, регламентирующие размещение защитных лесонасаждений, основаны главным образом на учете двух важнейших факторов — лесорастительных условий и размера эффективных противоэрозионных зон. Первый из этих факторов определяет проектную и фактическую защитную высоту и долговечность насаждений, а второй — обуславливает нормативную величину межполосного пространства, равную проектной высоте насаждения.

Основной материал для создания верхних защитных лесонасаждений — это кустарники. Самые перспективные из них для береговых насаждений — бирючина (*Ligustrum vilgare* L.), барбарис обыкновенный (*Berberis vulgaris* L.), кизильник блестящий (*Cotoneaster lucidus* Schltl.), ирга (*Amelanchier* Medik.), смородина (*Ribes aureum* Pursh.) и шиповник (*Rosa canina* L.) (рис. 1).

Проведены исследования уже существующих защитных кустарниковых насаждений. Так, возраст растений составляет 25 лет.

Посадки кустарникового пояса при создании защитных насаждений осуществлялись вручную, прирусловых полос — двумя методами: сначала кустарниковый пояс, а на 2–3-й год подсаживались деревья.

У кустарников устойчивость к временному и периодическому затоплению различается, но по результатам наблюдений, при изменяющемся уровне воды в водохранилище, в течение 1–2 мес. выживают практически все виды (табл. 2, рис. 2).

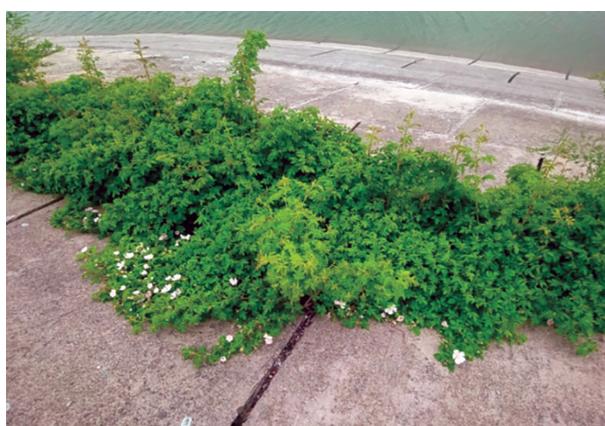
Почвенная среда береговой части водохранилища резко отличается от естественных условий, в которых сформировались наследственные и биологические свойства древесно-кустарниковой растительности. Особенности водного режима, неблагоприятные физико-механические свойства почвы, условия затопления постоянно оказывают негативное влияние на растительные клетки, что приводит к более раннему физиологическому старению, снижению устойчивости и гибели растительного организма. Поэтому при уходе за насаждениями необходимо учитывать специфику почвенной среды, влияние вредителей и болезней, а также условия, в которых они произрастают, в зависимости от категории земель, подверженных абразионным процессам. Улучшение минерального, водного и воздушного режимов питания растений, применение биологически активных химических препаратов и новых технических средств, проведение агротехнического ухода с учетом особенностей роста кроны и корней позволяют улучшить обмен веществ, а главное — повысить устойчивость растений в



a



z



б



д



в



е

Рис. 1. Защита берегов с помощью древесно-кустарниковой растительности: *a–в* — левобережная часть с гидротехническими сооружениями; *z–e* — правобережная часть рядом с населенным пунктом
Fig. 1. Protection of banks with shrubby vegetation: *a–в* — the left-bank part with hydraulic structures; *z–e* — the right-bank part near the settlement

неблагоприятных условиях. Именно этим задачам должен удовлетворять агротехнический уход за деревьями и кустарниками.

Одним из основных мероприятий по уходу за надземной частью насаждений является обрезка кроны, проводимая с учетом биологических осо-

бенностей их роста и развития. Она преследует следующие цели:

- удаление сухих и поврежденных ветвей;
- прореживание кроны;
- сохранение ранее приданных кроне размеров;
- омоложение кроны.

Ассортимент насаждений, рекомендуемый для защитного лесоразведения

The range of plantings recommended for protective afforestation

Вид	Морозостой- кость	Засухоустой- чивость	Солеустой- чивость	Требователь- ность к почве	Быстрота роста	Возобновительная способность
<i>Ligustrum vilgare</i>	Средняя	Сильная	Сильная	Не требова- телен	Слабая	Сильная, поросль
<i>Berberis vulgaris</i>	Сильная	«-»	Слабая	«-»	Сильная	Сильная, поросль, корневые отпрыски
<i>Cotoneaster lucidus</i>	«-»	«-»	«-»	«-»	«-»	Сильная, поросль
<i>Amelanchier medik</i>	«-»	«-»	Средняя	«-»	Средняя	«-»
<i>Ribes aureum</i>	«-»	«-»	Сильная	«-»	«-»	Средняя, поросль
<i>Rosa canina</i>	«-»	«-»	«-»	«-»	Слабая	Средняя, корневые отпрыски
<i>Populus nigra</i>	«-»	«-»	Слабая	«-»	Сильная	Сильная, поросль
<i>Salix alba</i>	«-»	«-»	«-»	«-»	«-»	«-»

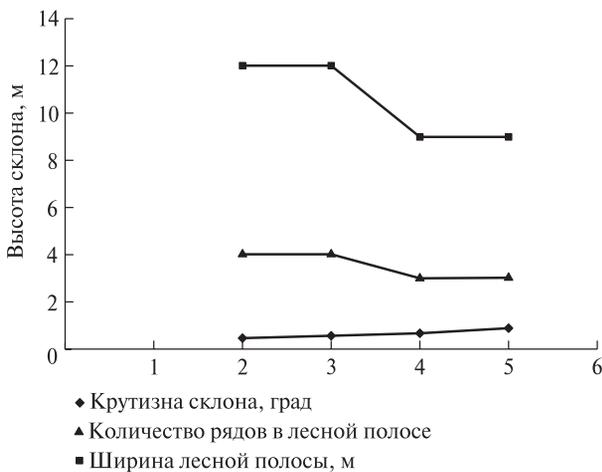


Рис. 2. Размещение лесных защитных насаждений на склонах
Fig. 2. The distribution of forest protective plantations on the slopes

При обрезке учитывают форму кроны и ее изменение с возрастом, тип ветвления, возможность пробуждения спящих почек и способность растения переносить обрезку. Поэтому при подборе ассортимента для противоэрозионных насаждений были выявлены породы, хорошо переносящие обрезку.

Выводы

Предлагаемый ассортимент кустарников уже проверен временем в условиях Калачевского района, рассмотренная дифференцированная устойчивость видов была определена для растений с уже развитой корневой системой. Создание в полном объеме по береговой части комплекса защитных лесонасаждений и механических сооружений будет способствовать проведению технологических и биологических мероприятий, направленных на уменьшение антропогенной нагрузки на береговую часть Цимлянского водо-

хранилища в Калачевском районе Волгоградской обл. и ликвидации сложившейся критической абразионной обстановки. Созданные защитные насаждения на верхнем береговом поясе выполняют санитарно-гигиеническую функцию, способствуют оздоровлению воздушного и водного бассейнов, уменьшают эрозионные процессы. Кроме того, кустарники с их ростом и развитием выделяют фитонциды, способствуют ионизации воздуха, выводят из атмосферы большое количество пыли, оздоравливают зону отдыха человека в прибрежной части водохранилища. Исключается возможность возгорания наносного камыша, сохраняются его заросли, восстанавливается ихтиофауна поверхности водного бассейна залива, увеличиваются рыбные запасы, улучшаются условия перелета и миграции водоплавающих птиц, сохраняется водный бассейн дефицитной пресной воды для государственного водопользования.

Работы выполнены с учетом передового опыта лесомелиоративных и инженерных работ и могут служить прототипом типового решения экологических проблем отдельных районов Волгоградской обл. При проведении защитных мероприятий основное внимание уделялось подбору наиболее устойчивых к условиям затопления и окружающей природной среды видов растений. На берегах Цимлянского водохранилища преобладают длинные пологие и крутые склоны, что особенно опасно в абразионном отношении. Лесные защитные насаждения, применяемые в исследуемом объекте, выполняют следующие важные экологические функции: защищают берега от абразии, снижают скорость потока при наводнении, улучшают микроклимат, изменяют освещенность, снижают скорость воздушных потоков и колебания температуры воды, воздуха, почвы,

содействуют образованию экологических ниш и небольших жизненных пространств для флоры и фауны, выполняют фильтрацию и задержку поступления вредных веществ в воду (пыль, отходы речного транспорта, и др.), обеспечивают дополнительное усвоение различных элементов питания (азота, фосфора, калия).

Рекомендуемые кустарниковые насаждения обладают большой упругостью, декоративностью и с помощью хорошо развитой корневой системы препятствуют вымыванию грунта. Таким образом, защита береговой части должна осуществляться путем посадки лесных водорегулирующих полос на водосборной площади, посадки лесонасаждений в береговой части водохранилища. Все эти посадки представляют собой единую систему защитных лесонасаждений.

Автор выражает благодарность за помощь сотрудникам Донского района гидросооружений и судоходства — филиалу Федерального бюджетного учреждения «Администрация Волго-Донского бассейна внутренних водных путей» Калачевского района.

Список литературы

- [1] Бабич Д.Б., Иванов В.В., Коротаев В.Н. Размывы речных берегов как негативные проявления русловых процессов (на примере Нижней Волги и ее дельты) // Геориск, 2016. № 3. С. 34–45.
- [2] Баранова М.С., Филиппов О.В., Кочеткова А.И., Куприй А.А. К вопросу о размыве берегов Волгоградского водохранилища и развитии абразионно-аккумулятивных отмелей // Проблемы устойчивого развития и эколого-экономической безопасности региона. Материалы XI Региональной науч.-практ. конф., г. Волжский, 16 апреля 2015 г. Волгоград: Изд-во Волгоградского государственного университета, 2015. С. 117–124.
- [3] Зыков И.Г., Ивонин В.М. Агролесомелиоративные мероприятия по предотвращению водной эрозии почв. М.: Россельхозиздат, 1979. 60 с.
- [4] Андреева Т.А. Экологические основы природопользования. М.: Колос, 2005. 140 с.
- [5] Степановских А.С. Прикладная экология. М.: Юнити-Дана, 2005. 751 с.
- [6] Черников В.А., Постников Д.А., Чекерес А.И. Агрэкология. М.: Колос. 2001. 535 с.
- [7] Дурова М.С. Прогноз береговой эрозии реки Волга (на участке перехода магистрального нефтепродуктопровода) // Современные проблемы науки и образования, 2013. № 6. С. 948.
- [8] Овсепьян В.С., Чебанова Е.Ф. Биологический способ защиты берегов рек от размыва // Научное обеспечение агропромышленного комплекса: материалы IX Всерос. конф. молодых ученых, Краснодар, 24–26 ноября 2015 г. / отв. за выпуск А.Г. Кошаев. Краснодар: Изд-во Кубанского государственного аграрного университета имени И.Т. Трубилина, 2016. С. 843–844.
- [9] Зыков И.Г., Ивонин В.М., Духнов В.К. Защита склонов от эрозии. М.: Россельхозиздат, 1985. 64 с.
- [10] Тищенко А.И., Сенчуков Г.А., Гостищев В.Д., Челахов В.Ц. Расчет устойчивости подпорной стены из габионов по защите берегов Цимлянского водохранилища от разрушений // Экология и водное хозяйство, 2019. № 2 (2). С. 81–99.
- [11] Громов Ю.А., Соболев И.С., Соболев С.В. Адаптивный метод экстраполяции данных наблюдений и прогнозирования характеристик абразии берегов эксплуатируемых водохранилищ // Водное хозяйство России: проблемы, технологии, управление, 2013. № 1. С. 78–90.
- [12] Караваев А.А. Рукотворные леса // Здоровье и экология, 2005. № 8 (30). С. 10–11.
- [13] Левкевич В.Е. Оценка влияния берегоформирующих факторов на динамику процесса абразии берегов водохранилищ // Мелиорация, 2018. № 1 (83). С. 37–43.
- [14] Al-Agha M.R. Access to the coast and erosion control: use of wastes on local engineering works in the coast of Gaza city // Environmental Geology, 2000, t. 39, no. 3–4, pp. 0405–0410.
- [15] Phong N.T., Parnell K.E., Cottrell A. Human activities and coastal erosion on the kien giang coast, Vietnam // Journal of Coastal Conservation, 2017, t. 21, no. 6, pp. 967–979.
- [16] Коронкевич Н.И., Зайцева И.С. Антропогенные воздействия на водные ресурсы России и сопредельных государств в конце XX столетия. М.: Наука, 2003. 367 с.
- [17] Львович Ю.М., Режко И.А. Новые конструкции защиты откосов земляных сооружений от размывов и подмывов. Рациональные способы механизации укрепительных работ // Защита земляного полотна от горных рек // Транспорт, 1975. Вып. 12. С. 128–132.
- [18] Биттибаев С.М., Муратбекова Г.В. Методы защиты берегов и русел рек от размывов // Вестник Казахской академии транспорта и коммуникаций им. М. Тынышпаева, 2008. № 5 (54). С. 6–8.
- [19] Бондаренко Д.А., Рахимов К.Х. Масштабы и причины размыва берегов водохранилищ // Водные ресурсы региона, их охрана и рациональное использование: сб. статей 11-й Экологической конф. студентов, магистрантов и аспирантов, Красноярск, 20–21 ноября 2015 г. Красноярск: Изд-во СибГТУ, 2015. С. 64–67.
- [20] Юровский Ю.Г., Юдин В.В. Устойчивость берегов к абразии в естественных и техногенно-нарушенных условиях // Экологическая безопасность прибрежной и шельфовой зон и комплексное использование ресурсов шельфа, 2009. № 20. С. 53–62.
- [21] Погода и климат. URL: <http://www.pogodaiklimat.ru/> (дата обращения 28.06.2020).
- [22] Climate-data.org. Kalach-na-Donu Climat. (Fédération de Russie). URL: <https://fr.climate-data.org/asia/federation-de-russie/oblast-de-volgograd/kalach-na-donu-29289/> (дата обращения 20.05.2020).
- [23] Climate-data. Volgograd Climat (Fédération de Russie). URL: <https://fr.climate-data.org/asia/federation-de-russie/oblast-de-volgograd/volgograd-465/> (дата обращения: 20.05.2020).
- [24] Доклад о состоянии окружающей среды Волгоградской области в 2019 году. Волгоград: Изд-во ООО «ТЕМ-ПОРА», 2020. 300 с.
- [25] Лесохозяйственный регламент Калачевского лесничества. Воронеж, 2019. 242 с.
- [26] Ерохина В.И., Жеребцова Г.П., Вольфтруб Т.И., Покалов О.Н., Шурова Г.В. Озеленение населенных мест. Справочник. М.: Стройиздат, 1987. 480 с.

Сведения об авторе

Соломенцева Александра Сергеевна — канд. с.-х. наук, ст. науч. сотр. лаборатории селекции, семеноводства и питомниководства, Федеральный научный центр агроэкологии, комплексных мелиораций и защитного лесоразведения РАН, alexis2425@mail.ru

Поступила в редакцию 30.12.2020.

Принята к публикации 01.02.2021.

SHRUB VEGETATION SHORES STRENGTHENING AND PROTECTION IN KALACHEVSKY DISTRICT OF VOLGOGRAD AREA

A.S. Solomentseva

Federal Scientific Centre of Agroecology, Complex Melioration and Protective Afforestation, of the Russian Academy of Sciences, 97, University av., 400062, Volgograd, Russia

alexis2425@mail.ru

The critical abrasion situation manifests itself on the coastal part of the Kalachevsky district due to the increasing anthropogenic load. The most important element of the complex of measures to combat silting of reservoirs and coastal abrasion, as well as an effective measure to strengthen the banks is forest vegetation. The objectives of the research were to study the soil, forest and climatic conditions of the object under study, to develop an assortment of shrubs and features of the formation of protective forest stands, as well as criteria for selecting an adapted assortment of tree and shrub vegetation and methods of caring for the soil and plantings. During the research, the most promising types of shrubs for creating upper protective forest stands were identified: *Ligustrum vilgare* L., *Berberis vulgaris* L., *Cotoneaster lucidus* Schldtl., *Amelanchier* Medik., *Ribes aureum* Pursh., *Rosa canina* L. It was found that the useful role of forest stands is manifested in their ability to convert surface runoff into subsurface runoff, to clean surface stock water from fine-grained soil, to weaken the speed of movement and to extinguish the energy of waves, binding the soil with roots. Recommendations are given for the creation and placement of anti-abrasion plantings, depending on the steepness and height of the slope. It is stated that one of the main measures for the care of the aboveground part of the plantings is the pruning of the crown, carried out taking into account the biological characteristics of their growth and development, including the removal of dry and damaged branches, thinning of the crown, preservation of the previously given crown size, rejuvenation of the crown. It is recommended to place shrubs depending on the landscape, soil and climatic conditions and features of abrasive processes in areas of constant, periodic, episodic flooding and strong moderate and weak flooding of the coastline.

Keywords: abrasion, shore strengthening, shrubs, protective forest stands, Tsimlyanskoye reservoir, assortment

Suggested citation: Solomentseva A.S. *Ukrepnenie i zashchita beregov v Kalachevskom rayone Volgogradskoi oblasti s pomoshch'yu kustarnikovoy rastitel'nosti* [Shrub vegetation shores strengthening and protection in Kalachevsky district of Volgograd area]. *Lesnoy vestnik / Forestry Bulletin*, 2021, vol. 25, no. 3, pp. 65–72. DOI: 10.18698/2542-1468-2021-3-65-72

References

- [1] Babich D.B., Ivanov V.V., Korotaev V.N. *Razmyvy rechnyh beregov kak negativnye proyavleniya ruslovykh processov (na primere Nijnei Volgi i ee delty* [River Bank washouts as negative manifestations of riverbed processes (on the example of the Lower Volga and its Delta)]. *Georisk*, 2016, no 3, pp. 34–45.
- [2] Baranova M.S., Filippov O.V., Kochetkova A.I., Kupriy A.A. *K voprosy o razmyve beregov Volgogradskogo vodohranilisha I razvitiu abrazionno-akkumulyativnyh otmelei* [On the issue of erosion of the banks of the Volgograd reservoir and the development of abrasive-accumulative shoals]. *Problemy ustoichivogo razvitiya I ekologo-ekonomicheskoi bezopasnosti regiona. Materialy XI Regionalnoi nauchno-prakticheskoi konferencii* [Problems of sustainable development and ecological and economic security of the region. Materials of the XI Regional scientific and practical conference], 2015, pp. 117–124.
- [3] Zykov I.G., Ivonin V.M. *Agrolesomeliorativnyye meropriyatiya po predotvrashcheniyu vodnoi erozii pochv* [Agroforestry measures to prevent water erosion of soils]. Moscow: Rosselkhozizdat, 1979, 60 p.
- [4] Andreeva T.A. *Ekologicheskie osnovy priridopol'zovaniya* [Environmental fundamentals of nature management]. Moscow: Kolos, 2005, 140 p.
- [5] Stepanovskikh A.S. *Prikladnaya ekologiya* [Applied ecology]. Moscow: Publishing house YUNITI-DANA, 2005, 751 p.
- [6] Chernikov V.A., Postnikov D.A., Chekeres A.I. *Agroekologiya* [Agroecology]. Moscow: Kolos, 2001, 535 p.
- [7] Durova M.S. *Prognoz beregovoi erozi reki Volga (na uchastke perehoda magistral'nogo nefteproduktoprovoda* [Forecast of coastal erosion of the Volga river (at the junction of the main oil pipeline)]. *Sovremennye problemy nauki i obrazovaniya* [Modern problems of science and education], 2013, no 6, pp. 948.

- [8] Ovsep'yan V.S., Chebanova E.F. *Biologicheskii sposob zashity beregov rek ot razmyva* [Biological method for protecting riverbanks from erosion]. Nauchnoe obespecheniya agropromyshlennogo kompleksa. materialy IX Vserossiiskoi konferentsii molodykh uchenykh [Scientific support of the agro-industrial complex: materials of the IX All-Russian conference of young scientists], Krasnodar, November 24–26, 2015 / Ed. for the release of A.G. Koschaev. Krasnodar: Kuban State Agrarian University named after I.T. Trubilina, 2016, pp. 843–844.
- [9] Zykov I.G., Ivonin V.M., Dukhnov V.K. *Zashita sklonov ot erozii* [Protection of slopes from erosion]. Moscow: Rosselkhozizdat, 1985, 64 p.
- [10] Tishchenko A.I., Senchukov G.A., Gostishchev V.D., Chelakhov V.Ts. *Raschet ustoichivosti podpornoi steny iz gabionov po zachite beregov Cimlyanskogo vodohranilichsha ot razruchsenii* [Calculation of stability of the gabion retaining wall to protect the banks of the Tsimlyansk reservoir from destruction]. *Ekologiya i vodnoe hozyaistvo* [Ecology and water management], 2019, no. 2 (2), pp. 81–99.
- [11] Gromov Yu.A., Sobol' I.S., Sobol' S.V. *Adaptivnyi metod extrapolyacii dannykh nabludenii i prognozirovaniya harakteristik abrazii beregov expluatiruemyykh vodohranilichsh* [Adaptive method for extrapolating observational data and predicting the abrasion characteristics of the banks of operated reservoirs]. *Vodnoe hozyaistvo Rossii: problem, tehnologii, upravlenie* [Water management in Russia: problems, technologies, management]. 2013. no 1. pp. 78–90.
- [12] Karavaev A.A. *Rukotvornye lesa* [Man-made forests]. *Zdorov'e i ekologiya* [Health and the environment], 2005, no 8 (30), pp. 10–11.
- [13] Levkevich V.E. *Ocenka vliyaniya beregoformiruyushchikh faktorov na dinamiku processa abrazii beregov vodohranilichsh* [Assessment of the influence of bank-forming factors on the dynamics of the process of abrasion of reservoir banks]. *Melioratsiya* [Melioration], 2018, no. 1 (83), pp. 37–43.
- [14] Al-Agha M.R. Access to the coast and erosion control: use of wastes on local engineering works in the coast of Gaza city. *Environmental Geology*, 2000, t. 39, no. 3–4, pp. 0405–0410.
- [15] Phong N.T., Parnell K.E., Cottrell A. Human activities and coastal erosion on the kien giang coast, Vietnam. *J. of Coastal Conservation*, 2017, t. 21, no. 6, pp. 967–979.
- [16] Koronkevich N.I., Zaytseva I.S. *Antropogennyye vozdeistviya na vodnye resursy Rossii i sopredelnykh gosudarstv v konce XX stoletiya* [Anthropogenic impacts on water resources in Russia and neighboring countries at the end of the XX century]. Moscow: Nauka, 2003, 367 p.
- [17] L'vovich Yu.M., Rezhko I.A. *Novyye konstrukcii zashity otkosov zemlyanykh sooruzhenii ot razmyvov i podmyvov. Ratsionalnyye sposoby mehanizatsii ukrepitel'nykh rabot* [New designs of protection of slopes of earthworks from washouts and washouts. Rational methods of mechanization of fortifications]. *Zashita zemlyanogo polotna ot gornyykh rek* [Protection of the roadbed from mountain rivers], Transport, 1975, vol. 12, pp. 128–132.
- [18] Bittibaev S.M., Muratbekova G.V. *Metody zashity beregov i rusel rek ot razmyvov* [Methods of protection of shores and riverbeds from erosion]. *Vestnik Kazahskoy akademii transporta i kommunikatsii im. M. Tynyshpaeva* [Bulletin of the Kazakh Academy of transport and communications named after M. Tynyshpaev], 2008, no. 5 (54), pp. 6–8.
- [19] Bondarenko D.A., Rahimov K.H. *Mashtaby i prichiny razmyva beregov vodohranilichsh* [The extent and causes of erosion of the reservoir banks]. *Vodnye resursy regiona, ih ohrana i ratsionalnoe ispol'zovaniye. Sbornik statei 11 ekologicheskoi konferentsii studentov, magistrantov i aspirantov* [Water resources of the region, their protection and rational use. Collection of articles of the 11th environmental conference of students, undergraduates and postgraduates], 2015, pp. 64–67.
- [20] Yurovskiy Yu.G., Yudin V.V. *Ustoichivost' beregov k abrazii v estestvennykh i tehnogenno-narushennykh usloviyakh* [The resistance of banks to erosion in natural and anthropogenically disturbed conditions]. *Ekologicheskaya bezopasnost' pribrezhnoi i shelfovoi zon i kompleksnoe ispol'zovanie resursov shelfa* [Environmental safety of coastal and shelf zones and integrated use of shelf resources], 2009, no. 20, pp. 53–62.
- [21] *Pogoda i klimat* [Weather and climate]. Available at: <http://www.pogodaiklimat.ru/> (accessed 28.06.2020).
- [22] Climate-data.org. Kalach-na-Donu Climat. (Fédération de Russie). Available at: <https://fr.climate-data.org/asia/federation-de-russie/oblast-de-volgograd/kalach-na-donu-29289/> (accessed 20.05.2020).
- [23] Climate-data. Volgograd Climat (Fédération de Russie). Available at: <https://fr.climate-data.org/asia/federation-de-russie/oblast-de-volgograd/volgograd-465/> (accessed 20.05.2020).
- [24] *Doklad o sostoyanii okruzhayushchey sredy Volgogradskoy oblasti v 2019 godu* [Report on the state of the environment of the Volgograd region in 2019]. Volgograd: Tempora, 2020, 300 p.
- [25] *Lesokhozyaystvennyy reglament Kalachevskogo lesnichestva* [Forestry regulations of the kalachevsky forest district]. Voronezh, 2019, 242 p.
- [26] Erokhhina V.I., Zherebtsova G.P., Vol'frub T.I., Pokalov O.N., Shurova G.V. *Ozelenenie naselemykh mest. Spravochnik* [Landscaping of localities. Guide]. Moscow: Stroizdat, 1987, 480 p.

Author's information

Solomentseva Aleksandra Sergeevna — Cand. Sci. (Agriculture), Senior Researcher of the Laboratory of Selection, seed and nursery production of the Federal Scientific Centre of Agroecology, Complex Melioration and Protective Afforestation, of the RAS, alexis2425@mail.ru

Received 30.12.2020.

Accepted for publication 01.02.2021.

ВЛИЯНИЕ СОЛНЕЧНОЙ АКТИВНОСТИ НА ЛЕСНЫЕ ПОЖАРЫ В АРХАНГЕЛЬСКОЙ ОБЛАСТИ

М.А. Копейкин, С.В. Коптев, С.В. Третьяков

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

korejkin.m@edu.narfu.ru

Анализ информации о лесных пожарах в Архангельской области показал всплески горимости лесов в период 1959–1961, 1972–1973, 1997–2001 и 2010–2011 гг. Для установления закономерностей влияния солнечной активности (чисел Вольфа) на горимость лесов проведены статистические исследования. Распределение чисел Вольфа по величине имеет закономерный характер и практически не изменяется по месяцам года. Для проверки гипотезы о статистической зависимости исследуемых факторов использован корреляционный анализ. Отмечена определенная взаимозависимость между метеорологическими факторами, жизнедеятельностью местного населения и количеством пожаров. Проведена оценка степени взаимосвязи площади и количества лесных пожаров, и солнечной активности. Установлена слабая связь между солнечной активностью и количеством лесных пожаров в лесном фонде. Рекомендуется использовать числа Вольфа для прогноза степени пожарной опасности только в совокупности с другими факторами.

Ключевые слова: солнечная активность, числа Вольфа, лесные пожары

Ссылка для цитирования: Копейкин М.А., Коптев С.В., Третьяков С.В. Влияние солнечной активности на лесные пожары в Архангельской области // Лесной вестник / Forestry Bulletin, 2021. Т. 25. № 3. С. 73–81. DOI: 10.18698/2542-1468-2021-3-73-81

Лесные пожары, наряду с вырубками и вспышками вредных организмов оказывали и продолжают оказывать огромное влияние на лесные экосистемы. Несмотря на развитие средств обнаружения и тушения лесных пожаров, средств защиты и оснащения пожарных расчетов, ужесточение требований ко всем участникам лесных отношений, лесные пожары продолжают свое катастрофическое воздействие как в России, так и других странах. Нарращивание технических средств для борьбы с катастрофическими лесными пожарами имеет определенные сложности, поэтому во многих странах ищут пути прогнозирования и разрабатывают систему раннего предупреждения лесных пожаров. Можно привести множество примеров успешной локализации и ликвидации лесных пожаров при их своевременном обнаружении. Еще лучше заранее предсказать вероятность возникновения и распространение лесных пожаров на определенных территориях. Многие авторы увязывают вероятность возникновения и распространения лесных пожаров с солнечной активностью, отмечая цикличность этих воздействий. Для исследования возможного влияния солнечной активности на возникновение и распространение лесных пожаров использованы базы данных о лесных пожарах и солнечной активности для условий Архангельской обл. Солнечная активность представлена специальной переменной — числа Вольфа. Количество лесных пожаров получено по данным статистической отчетности за период с 1957 по 2018 гг. органов управления лесным хозяйством

Архангельской области (Министерство природных ресурсов и лесопромышленного комплекса Архангельской области.).

В настоящее время в Архангельской обл. лесные пожары, наряду с рубками, являются основной причиной утраты жизнеспособности насаждений. Пожарная опасность и горимость лесов зависят от группы естественных природных и антропогенных факторов. Последствия пожаров — это не только потери товарной древесины, но и утрата экосистемных услуг, особенно на территории рекреационных лесов и особо охраняемых природных территориях [1–8].

Во время лесного пожара происходит сгорание напочвенного покрова, лесной подстилки [9]. Мощность (интенсивность) лесного пожара во многом определяется наличием горючих материалов на площади, распределение которых в пространстве носит закономерный характер [10]. Предполагается, что существует связь между солнечной активностью и вероятностью возникновения лесных пожаров. Для установления зависимости вероятности возникновения, количества и параметров лесных пожаров от солнечной активности используются данные статистической отчетности Архангельской обл.

Пожары, возникающие на землях лесного фонда, имеют как природный, т. е. естественный характер (например, в результате грозы), так и антропогенный, возникновение которых напрямую связано с деятельностью человека по использованию участков лесного фонда или его нахождением в лесу в рамках общественного

	Жизнедеятельность местного населения	Метеорологические факторы	Прочие факторы	Неустановленные факторы
Жизнедеятельность местного населения		0,77	0,57	-0,07
Метеорологические факторы	0,77		0,59	0,42
Прочие факторы	0,57	0,58		0,10
Неустановленные факторы	-0,07	0,42	0,09	

Рис 1. Корреляционная зависимость факторов возникновения лесных пожаров
Fig. 1. Correlation dependence of the factors of occurrence of forest fires

лесного сервитута. Однако и при этом могут быть различные вариации: начальное возгорание вызвано «сухими» грозами как природным явлением, а условия для его распространения созданы человеком, и наоборот первопричиной пожара является неосторожное обращение людей с огнем, а природа сама создала факторы, способствующие быстрому распространению пожара. Отдельные проблемы и закономерности возникновения пожаров по вине человека рассмотрены в работах Г.А. Мокеева, А.Д. Вакурова, Н.П. Курбатского, П.А.Цветкова, П.Н. Львова, А.И. Орлова [11–13].

Данные официальной статистики по лесным пожарам в Архангельской обл. распределяли по причинам возникновения и другим параметрам (количеству, площади) и сопоставляли их с показателями солнечной активности.

Проведенные ранее исследования лесных пожаров Архангельской обл. были направлены на установление связи между различными причинами возникновения пожаров в лесу. В тоже время, недостаточный объем данных и рассмотрение относительно короткого периода наблюдений делало невозможным получение достоверной информации о влиянии каких-либо конкретных факторов [14].

Результаты исследования взаимозависимости возникновения лесных пожаров от ряда факторов приведены на рис. 1.

Приведенные на рис. 1 зависимости показывают наличие некоторой статистической связи между факторами, но не обязательно причинно-следственного характера. Отмечена закономерная связь метеорологических факторов с жизнедеятельностью местного населения и количеством лесных пожаров. Для проведения более глубокого анализа на протяжении длительного периода времени необходимо иметь большее количество факторов, обуславливающих лесные пожары, что послужит основанием для построения полноценной модели риска их возникновения.

Цель работы

Цель работы — установление причинно-следственных связей влияния различных факторов на

вероятность возникновения лесных пожаров и использование чисел Вольфа для прогноза риска горимости лесов.

Материалы и методы

Охрана лесов включает в себя мероприятия как направленные на оперативное реагирование и эффективное тушение возникающих лесных пожаров, так и на профилактику и предупреждение возгораний в лесном фонде.

Т а б л и ц а 1

Лесные пожары в Архангельской области (2001–2018 гг.)

Forest fires in the Arkhangelsk region (2001–2018)

Год	Количество пожаров	Площадь, пройденная пожарами, тыс. га	Средняя площадь одного пожара, га	Доля пожаров, ликвидированных в течение суток, %
2001	954	10 545	11,1	—
2002	447	6 844	15,3	—
2003	320	3 587	11,2	—
2004	393	8 132	20,7	—
2005	434	2 879	6,6	—
2006	443	4 889	11,0	—
2007	54	1 059	19,6	—
2008	32	120	3,8	75,0
2009	72	180	2,5	83,3
2010	356	14 210	39,9	47,8
2011	703	79 605	113,2	43,1
2012	74	605	8,2	81,1
2013	320	5 341	16,7	62,0
2014	119	563	4,7	68,1
2015	56	539	9,6	80,3
2016	112	480	4,3	81,3
2017	35	857	24,5	82,9
2018	127	913	7,12	6,52

Значительная часть покрытой лесом территории Архангельской обл. относится к III, IV и V классам пожарной опасности, где возгорания возможны в периоды засух, около 13 % площади лесов области — к I и II классам, наиболее опасным в пожарном отношении. Средневзвешенный показатель в целом по области равен IV классу. Продолжительность пожароопасного сезона — с мая по сентябрь [15, 16].

Информация, отражающая динамику лесных пожаров на территории региона за период с 2001 по 2018 гг., по данным министерства природных ресурсов и лесопромышленного комплекса Архангельской обл., приведена в табл. 1.

За указанный период наблюдения резкий всплеск горимости лесов в Архангельской обл. пришелся на 2011 г., когда было зафиксировано 703 лесных пожара на площади 79 605 га и в огне погибло 486 тыс. м³ древесины. Сезоном с наименьшим количеством пожаров и, соответственно, наименьшей площади, стал 2008 г., когда произошло 32 лесных пожара на площади 120 га.

Доля пожаров в общем числе, ликвидированная в течение суток, показывает оперативность работы служб, исполняющих полномочия по тушению лесных пожаров в Архангельской обл. В настоящее время это Государственное автономное учреждение Архангельской обл. «Единый лесопожарный центр» [17].

Отметим, что показатели горимости за рассматриваемый период не самые высокие. Так, в 1960 г. в Архангельской обл. произошло 1237 лесных пожара на общей площади 168 928 га.

Динамика лесных пожаров в Архангельской обл. с распределением по причинам их возникновения за последние 17 лет в соответствии с данными отраслевых отчетов министерства природных ресурсов и ЛПК Архангельской обл. приведены в табл. 2.

Возгорания по причине жизнедеятельности местного населения — это возгорания, происходящие при переходе сельскохозяйственных палов на приусадебных участках, огородах, земельных наделах в лесной фонд, при неосторожном обращении населения с огнем при посещении лесов.

Метеорологические факторы включают в себя, прежде всего, грозы. К прочим факторам относят деятельность лесозаготовительных предприятий, железнодорожный транспорт, который перевозит горючесмазочные материалы, топливо и т. п., обрыв линий электропередач и т. д. Всего отмечен 5051 пожар. При этом установлено, что возгорание в 3076 случаях происходило по причине недобросовестного обращения с огнем местного населения.

Т а б л и ц а 2

Причины возникновения возгораний на территории лесного фонда Архангельской области в 2001–2018 гг.
Causes of fires on the territory of the forest fund of the Arkhangelsk region in 2001–2018

Год	Количество лесных пожаров	Распределение количества лесных пожаров по причинам возникновения			
		Жизнедеятельность местного населения	Метеорологические факторы	Прочие факторы	Не установленные причины
2001	954	679	251	24	—
2002	447	274	158	15	—
2003	320	210	108	2	—
2004	393	282	110	1	—
2005	434	381	51	2	—
2006	443	335	101	7	—
2007	54	46	5	3	—
2008	32	29	1	2	—
2009	72	67	3	2	—
2010	356	181	130	1	44
2011	703	250	241	7	205
2012	74	43	2	7	22
2013	320	117	94	14	95
2014	119	32	18	6	63
2015	56	23	11	4	18
2016	112	58	47	7	—
2017	35	14	19	2	—
2018	127	55	54	14	3
Итого	5051	3076	1404	120	450
Среднее многолетнее	280,6	170,9	78	6,7	25

Анализ горимости лесов Архангельской области в связи с солнечной активностью

Исходными данными для проведения исследований влияния солнечной активности на горимость лесов являются наблюдения за период с 1957 по 2018 гг. специалистов государственных органов управления в сфере лесного хозяйства Архангельской обл., а также информация о солнечной активности (числа Вольфа) по данным работы специалистов ФГБУ «Дальневосточное УГМС» [18, 19] (табл. 3.)

Лесные пожары в Архангельской обл. сначала вызывают ослабление, а затем и гибель темнохвойных бореальных лесов. За период наблюдений с 1957 по 2018 гг. в области прошло 22 689 лесных пожара на общей площади 575 450 га, средняя площадь одного пожара составила 25,4 га.

Т а б л и ц а 3

Лесные пожары в Архангельской обл. за период 1957–2018 гг.

Forest fires in the Arkhangelsk region for the period 1957–2018

Год	Количество пожаров	Площадь пожаров, га	Средняя площадь пожара, га	Средние числа Вольфа	Год	Количество пожаров	Площадь пожаров, га	Средняя площадь пожара, га	Средние числа Вольфа
1957	277	9 221	33,3	189,8	1989	648	1 376	2,1	218,51
1958	170	1 920	11,3	184,59	1990	299	515	1,7	195,68
1959	516	13 163	25,5	158,75	1991	293	295	1,0	217,28
1960	1 237	168 928	136,6	113,11	1992	313	2 086	6,7	137,08
1961	434	20 311	46,8	53,88	1993	69	169	2,4	79,25
1962	126	1 719	13,6	37,6	1994	413	625	1,5	46,48
1963	290	2 303	7,9	27,89	1995	98	440	4,5	28,05
1964	564	8 623	15,3	10,2	1996	91	778	8,5	13,53
1965	392	5 536	14,1	14,81	1997	846	24 010	28,4	30,55
1966	486	5 705	11,7	46,87	1998	93	1 406	15,1	88,21
1967	842	6 480	7,7	93,67	1999	554	4 534	8,2	136,07
1968	177	455	2,6	105,89	2000	651	25 832	39,7	173,08
1969	344	604	1,8	105,56	2001	803	9 968	12,4	170,19
1970	668	9 634	14,4	105,52	2002	356	5 112	14,4	176,75
1971	193	366	1,9	66,65	2003	252	3 279	13,0	109,02
1972	1 257	68 589	54,6	68,93	2004	344	7 462	21,7	68,79
1973	982	42 281	43,1	38,15	2005	314	2 535	8,1	48,6
1974	582	1 970	3,4	34,42	2006	443	4 889	11,0	26,08
1975	293	617	2,1	15,46	2007	54	1 059	19,6	12,7
1976	107	258	2,4	12,53	2008	32	120	3,8	4,62
1977	348	764	2,2	27,55	2009	72	180	2,5	4,88
1978	149	288	1,9	92,49	2010	356	14 210	39,9	25,41
1979	108	405	3,8	155,22	2011	703	79 605	113,2	80,32
1980	769	1 779	2,3	155,48	2012	74	605	8,2	82,1
1981	247	215	0,9	140,48	2013	320	5 341	16,7	96,93
1982	191	308	1,6	116,29	2014	119	563	4,7	121,84
1983	225	345	1,5	64,97	2015	56	539	9,6	70,45
1984	257	498	1,9	46,22	2016	112	480	4,3	36,88
1985	275	243	0,9	17,94	2017	35	857	24,5	19,48
1986	613	724	1,2	13,4	2018	127	913	7,2	6,52
1987	120	589	4,9	29,22	Итого	22689	275450	25,4	4967,9
1988	510	826	1,6	99,03	Ср. многол.	366	9281,5	25,4	80,1

Многолетние наблюдения показывают, что по годам динамика очень сильно варьирует, можно наблюдать годы с минимальными значениями количества пожаров — 32, 54, 69, а также годы, когда возникало 1237 и 1257 пожаров за сезон. Схожая ситуация и по площадям, пройденным лесными пожарами.

Для оценки риска и прогнозирования возникновения лесных пожаров, можно использовать закономерную связь горимости лесов с климатическими изменениями. Для оценки используют

гидротермический коэффициент Г.Т. Селянинова (ГТК) [20] и числа Вольфа. Гидротермический коэффициент Г.Т. Селянинова оценивает условия увлажнения территории, сбалансированность расхода влаги ($ГТК < 0,5$ — очень засушливо, $0,5 \leq ГТК \leq 1$ — засушливо, $ГТК > 1$ — избыточно влажно), не учитывает увлажнение от выпадения осадков в весенний и осенний сезоны, когда температура еще не достигла 10°C . Таким образом, отсекается довольно значительная часть возгораний.

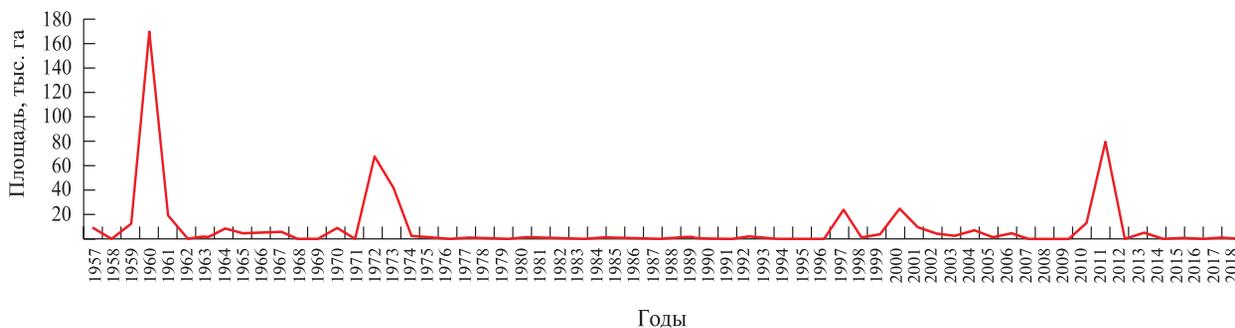


Рис. 2. Площадь лесных пожаров (тыс. гектаров в год) по Архангельской обл. за период с 1957 по 2018 гг.
Fig. 2. Area of forest fires (hectares per year) in the Arkhangelsk region for the period from 1957 to 2018

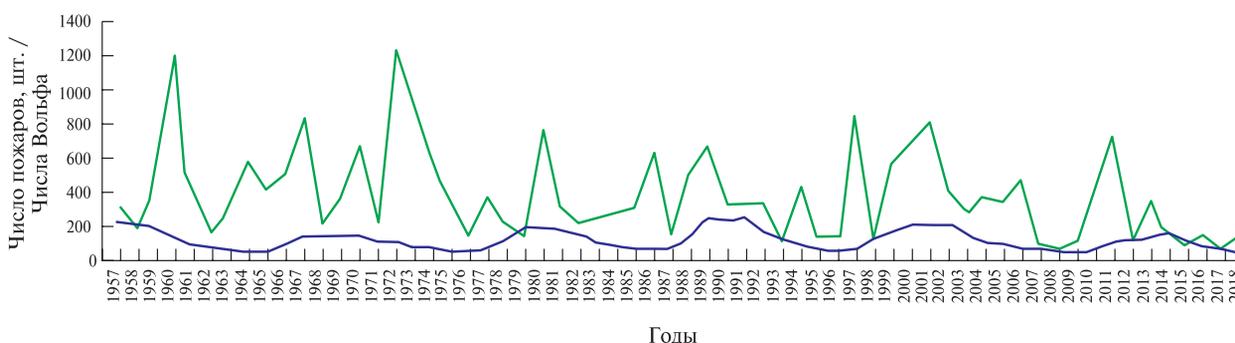


Рис. 3. Количество лесных пожаров в Архангельской обл. за период с 1957 по 2018 гг. и числа Вольфа
Fig. 3. The number of forest fires in the Arkhangelsk region for the period from 1957 to 2018 and Wolf numbers

Число Вольфа — это показатель, учитывающий солнечную активность. Повышение солнечной активности проявляется в появлении на солнце пятен, воздействующих на нижние слои атмосферы. Чем выше солнечная активность, тем больше число Вольфа [21].

В соответствии с изучением влияния солнечной активности на климатические и соответствующие погодные колебания выделяют циклы [22–24]:

- 11-летний (продолжительностью 9...14 лет);
- 22-летний (продолжительностью 18...25 лет);
- 100-летний, или вековой (продолжительностью 80...90 лет);
- многовековой (продолжительностью 1800...1900 лет).

Некоторые исследователи частично корректируют приведенную цикличность, указывая на 10- и 30-летние циклы солнечной активности, что, впрочем, не является отрицанием имеющейся информации и не противоречит принятой гипотезе [25].

Выявление цикличности в периодах солнечной активности позволяет с высокой вероятностью прогнозировать риски возникновения лесных пожаров [26].

Анализируя информацию о лесных пожарах в Архангельской обл. (см. табл. 3), можно отметить всплески горимости лесов в период 1959–1961, 1972–1973, 1997–2001 и 2010–2011 гг. (рис. 2, 3).

Результаты и обсуждение

По данным табл. 3 были рассчитаны статистические показатели лесных пожаров в Архангельской обл. (табл. 4).

Данные табл. 4 показывают, что изменчивость всех параметров лесных пожаров высока и очень высока, средняя площадь пожаров — $15,0 \pm 3,0$ га. Средняя общая площадь лесных пожаров по области имеет очень высокую изменчивость — 271 %, средняя общая площадь 9281 ± 3199 га и средняя площадь пожара $15 \pm 3,0$ достоверны на уровне не выше 90 %. Среднее число Вольфа составляет $80 \pm 7,7$ (рис. 4), среднее количество лесных пожаров — $320 \pm 27,5$.

Распределение чисел Вольфа по величине имеет закономерный характер и практически не изменяется по месяцам года.

Для исследования связи количества лесных пожаров с числами Вольфа проведен корреляционный анализ. Отмечена слабая связь между количеством пожаров и числом Вольфа, но она статистически значимая. Связь между средней площадью пожара, общей площадью лесных пожаров и числом Вольфа не установлена (рис. 5).

Значения коэффициентов корреляции составили:

- 1) между числами Вольфа и числом пожаров: $+0,26$, $F = 4,38$; $P = 0,04$,

Т а б л и ц а 4

Статистические характеристики лесных пожаров в Архангельской области

Statistics of forest fires in the Arkhangelsk region

Параметр	Среднее значение	Основная ошибка среднего значения	Срединное значение	Минимум	Максимум	Среднее квадратичное отклонение	Коэффициент изменчивости, %
Количество пожаров, шт.	320	27,5	293	32	1257	217	67
Общая площадь пожаров, га	9281	3199	1217	120	168928	25197	271
Средняя площадь пожара, га	15	3,0	7,8	0,9	136	24	159
Числа Вольфа	80	7,7	68,8	4,6	218	60	75

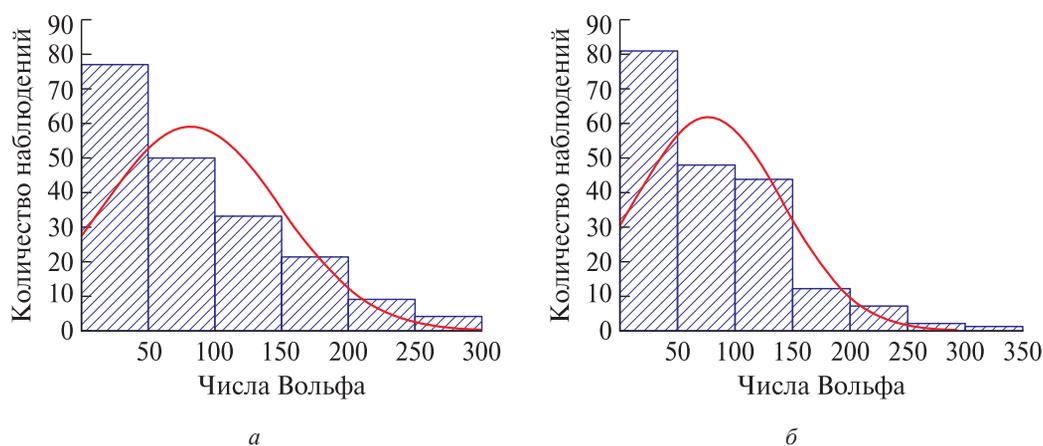


Рис. 4. Распределение чисел Вольфа в августе (а) и январе (б) за 1824–2019 гг
 Fig. 4. Distribution of Wolf numbers in August (a) and January (b) for 1824–2019

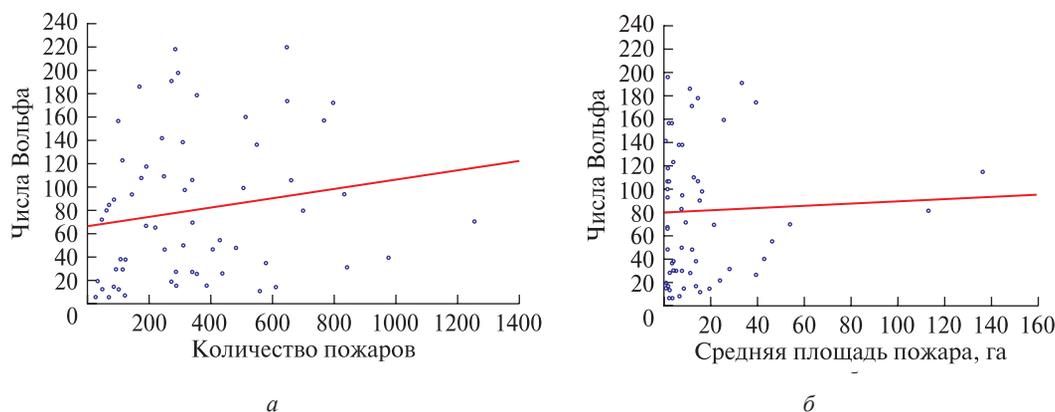


Рис. 5. Корреляция между числами Вольфа, количеством пожаров (а), средней площадью пожара (б)
 Fig. 5. Correlation between Wolf numbers, number of fires (a), average fire area (b)

где F — значение критерия Фишера;

P — уровень значимости или вероятность случайной обусловленности результата);

2) между числами Вольфа и средней площадью пожара:

+0,04; $F = 0,09$; $P = 0,76$;

3) между числами Вольфа и общей площадью пожаров:

+0,06; $F = 0,22$; $P = 0,64$.

Выводы

В соответствии с рассмотрением результатов статистического анализа можно говорить о практическом отсутствии достоверных связей зависимости числа пожаров, их общей и средней площади от чисел Вольфа, отражающих солнечную активность.

Большое влияние в данном случае оказывает жизнедеятельность местного населения, сопут-

ствующая увеличению числа возгораний при благоприятных метеорологических факторах. Ограничение доступа населения в лес в период высокой пожарной опасности является вполне обоснованным мероприятием.

Площадные параметры лесных пожаров не могут быть величинами, зафиксированными в одинаковых условиях, в т. ч. лесорастительных, временных (время возникновения, распространения, тушения и т. д.), Следует сказать о невозможности зафиксировать связь между площадью лесного пожара и причинами его возникновения.

В вопросе взаимосвязи между количеством пожаров и солнечной активностью была установлена слабая связь, т. е. не подтвердилась такая устойчивая зависимость для условий Архангельской обл. Однако это дает повод провести более детальные исследования. Для целей следующего шага по развитию данного направления необходимо классифицировать пожарную статистику по причинам возникновения, по возможности корректирования площадных характеристик во временных рамках или с учетом каких-либо других исходных данных.

Список литературы

- [1] Волчатова И.В. Пожары растительности как фактор снижения объема экосистемных услуг лесов особо охраняемых природных территорий // ИзВУЗ Лесной журнал, 2019. № 6. С. 79–91.
DOI: 10.17238/issn0536-1036.2019.6.794
- [2] Дубинин А.Е., Залесов С.В. Горимость сосновых лесов Ильменского заповедника и послепожарные последствия в них // Вестник Башкирского ГАУ, 2016. № 3. С. 101–106.
- [3] Логинов А.А., Лыков И.Н., Васильева М.А. Укрупненная оценка стоимости экосистемных услуг леса // Проблемы региональной экологии, 2018. № 3. С. 120–124.
- [4] Макаров В.П., Малых О.Ф., Горбунов И.В., Пак Л.Н., Зима Ю.В., Банщикова Е.А., Желибо Т.В. Влияние пожаров на флористическое разнообразие сосновых лесов Восточного Забайкалья // ИзВУЗ Лесной журнал, 2019. № 1. С. 77–86.
- [5] Москальченко С.А., Пономарев Е.И., Иванов А.В. Горимость лесов Красноярского края в современных условиях // Хвойные бореальной зоны, 2014. Т. 32. № 1–2. С. 33–39.
- [6] Тимофеева С.С., Гармышев В.В. Методика оценки неучтенной экологической нагрузки на атмосферу, создаваемую пожарами Иркутской области // Вестник Забайкальского ГУ, 2016. Т. 22, № 1. С. 48–56.
- [7] Тимофеева С.С., Гармышев В.В., Хисматулин С.Р., Малыхин А.В. Социальные, экономические и экологические последствия пожаров в муниципальных центрах Сибирского федерального округа: анализ, оценка, прогноз. Иркутск: Аспринт, 2010. 169 с.
- [8] Цветков П.А., Бурак Л.В. Исследования природы пожаров в лесах Сибири // Сибирский лесной журнал, 2014. № 3. С. 25–42.
- [9] Волокитина А.В., Софронова Т.М., Корец М.А. Прогнозирование поведения пожаров растительности // ИзВУЗ Лесной журнал, 2020. № 1. С. 9–25.
DOI: 10.37482/0536-1036-2020-1-9-25
- [10] Иванова Г.А., Иванов В.А. Зональность лесных горючих материалов и их пирогенная трансформация в сосняках Средней Сибири // ИзВУЗ Лесной журнал, 2020. № 4. С. 9–26. DOI: 10.37482/0536-1036-2020-4-9-26
- [11] Зайцев А.П. Чрезвычайные ситуации. М.: Мир, 2002, 325 с.
- [12] Исаева Л.К., Власов А.Г. Методические указания расчета показателей, характеризующих опасность загрязнения окружающей среды выбросами от пожаров и аварий. М.: Изд-во Академии ГПС МЧС, 2003. 44 с.
- [13] Курбатский Н.П., Цветков П.А. Охрана лесов от пожаров в районах интенсивного освоения. Красноярск: Изд-во Института леса и древесины, 2006. 149 с.
- [14] Копейкин М.А. Лесные пожары в Архангельской области // Итоги 2017 года, динамика и причины. Арктические исследования: от экстенсивного освоения к комплексному развитию: материалы I Междунар. молодежной науч.-практ. конф., Архангельск, 26–28 апреля 2018 г. Т. 2. Архангельск: Изд-во САФУ, 2018. 471 с.
- [15] О применении региональных классов пожарной опасности в лесах в зависимости от условий погоды. URL: <http://docs.cntd.ru/document/560454139> (дата обращения 20.12.2020).
- [16] Ефремов Д.Ф., Захаренков А.С., Копейкин М.А., Кузьмичев Е.П., Сметанина М.И., Солдатов В.В. Профилактика и меры предупреждения лесных пожаров в системе лесопользования Российской Федерации / под общ. ред. Е.П. Кузьмичева. М.: Всемирный банк, 2012. 104 с.
- [17] Единый лесопожарный центр. URL: <https://elc29.ru/sample-page/napravleniya-deyatelnosti/> (дата обращения 20.12.2020).
- [18] Геоинформационный портал Дальневосточного региона РФ, ФГБУ «Дальневосточное УГМС», ДЦ ФГБУ «НИЦ Планета». URL: <http://meteo-dv.ru> (дата обращения 20.12.2020).
- [19] Хабаровский центр по гидрометеорологии и мониторингу окружающей среды с функциями регионального специализированного центра. URL: <http://www.khabmeteo.ru/cgi-bin/geofiz.cgi> (дата обращения 20.12.2020).
- [20] Виноградова В.В., Титкова Т.Б., Черенкова Е.А. Динамика увлажнения и теплообеспеченности в переходных ландшафтных зонах по спутниковым и метеорологическим данным в начале XXI века // Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса, 2015. Т. 12. № 2. С. 162–172.
- [21] Геофизический центр Российской академии наук – ГЦ РАН, Мировой центр данных по Солнечно-Земной физике Москва. URL: <http://www.wdcb.ru/stp/solar/sunspots.ru.html> (дата обращения 20.12.2020).
- [22] Белецкий Е.Н. Цикличность – фундаментальное свойство развития и функционирования природных систем // Вестник Харьковского национального аграрного университета. Сер. Биология, 2007. Вып. 3. С. 100–116.
- [23] Кривенко В.Г. Концепция природной цикличности и некоторые задачи хозяйственных стратегий России // Аграрная Россия, 2005. № 6. С. 41–47.
- [24] Витинский Ю.И., Копецкий М., Ку克林 Г.В. Статистика пятнообразовательной деятельности Солнца. М.: Наука, 1986. 296 с.
- [25] Вильдяев В.М., Логунов О.Ю. О цикличности природных процессов // Использование и охрана природных ресурсов в России, 2009. № 4. С. 106.
- [26] Кудрявцев М.Ю., Лукин В.В., Малинецкий Г.Г., Митин Н.А., Науменко С.А., Подлазов А.В., Румянцев А.А., Торопыгина С.А. Управление рисками лесных пожаров на территории Российской Федерации. М.: Изд-во ИПМ им. М.В. Келдыша РАН, 2008. 28 с.

Сведения об авторах

Копейкин Михаил Адольфович — аспирант кафедры лесоводства и лесоустройства, ФГАОУ ВО «Северный (Арктический) федеральный университет имени М.В. Ломоносова», kopejkin.m@edu.narfu.ru

Коптев Сергей Викторович — д-р с.-х. наук, зав. кафедрой лесоводства и лесоустройства, ФГАОУ ВО «Северный (Арктический) федеральный университет имени М.В. Ломоносова», s.koptev@narfu.ru

Третьяков Сергей Васильевич — д-р с.-х. наук, профессор кафедры лесоводства и лесоустройства, ФГАОУ ВО «Северный (Арктический) федеральный университет имени М.В. Ломоносова», s.v.tretyakov@narfu.ru

Поступила в редакцию 13.01.2021.

Принята к публикации 26.02.2021.

IMPACT OF SOLAR ACTIVITY ON FOREST FIRES IN ARKHANGELSK REGION

MA. Kopeykin, S.V. Koptev, S.V. Tretyakov

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

kopejkin.m@edu.narfu.ru

Analysis of information on forest fires in the Arkhangelsk region showed bursts of forest fires in the period 1959–1961, 1972–1973, 1997–2001 and 2010–2011. To establish the regularities of the solar activity influence (Wolf numbers) on forest fires, statistical studies were carried out. The distribution of Wolf numbers in terms of magnitude has a regular character and practically does not change over the months of the year. Correlation analysis about the statistical dependence of the factors was used to test the hypothesis. A certain interdependence between meteorological factors, of the local population life and the number of fires has been noted. An assessment of the interconnection degree between the area and number of forest fires and solar activity has been carried out. A weak relationship has been established between solar activity and the number of forest fires in the forest fund. It is recommended to use Wolf numbers to predict the degree of fire hazard only in conjunction with other factors.

Keywords: solar activity, the number of Wolf, forest fires

Suggested citation: Kopeykin M.A., Koptev S.V., Tretyakov S.V. *Vliyaniye solnechnoy aktivnosti na lesnye pozhary v Arkhangel'skoy oblasti* [Impact of solar activity on forest fires in Arkhangelsk region]. *Lesnoy vestnik / Forestry Bulletin*, 2021, vol. 25, no. 3, pp. 73–81. DOI: 10.18698/2542-1468-2021-3-73-81

References

- [1] Volchatova I.V. *Pozhary rastitel'nosti kak faktor snizheniya ob'ema ekosistemnykh uslug lesov osobo okhranyaemykh prirodnykh territoriy* [Vegetation fires as a factor in reducing the volume of ecosystem services in forests of specially protected natural areas]. *Lesnoy Zhurnal* (Russian Forestry Journal), 2019, no. 6, pp. 79–91. DOI: 10.17238/issn0536-1036.2019.6.794
- [2] Dubinin A.E., Zalesov S.V. *Gorimost' sosnovykh lesov Il'menskogo zapovednika i poslepozharnye posledstviya v nikh* [Burningness of pine forests of the Ilmensky reserve and post-fire consequences in them]. *Vestnik Bashkirskogo GAU* [Bulletin of the Bashkir State Agrarian University], 2016, no. 3, pp. 101–106.
- [3] Loginov A.A., Lykov I.N., *Vasil'eva M.A. Ukrupnennaya otsenka stoimosti ekosistemnykh uslug lesa* [An integrated assessment of the cost of ecosystem services in the forest]. *Problemy regional'noy ekologii* [Problems of regional ecology], 2018, no. 3, pp. 120–124.
- [4] Makarov V.P., Malykh O.F., Gorbunov I.V., Pak L.N., Zima Yu.V., Banshchikova E.A., Zhelibo T.V. *Vliyaniye pozharov na floristicheskoe raznoobrazie sosnovykh lesov Vostochnogo Zabaykal'ya* [The influence of fires on the floristic diversity of pine forests in Eastern Transbaikalia]. *Lesnoy Zhurnal* (Russian Forestry Journal), 2019, no. 1, pp. 77–86.
- [5] Moskal'chenko S.A., Ponomarev E.I., Ivanov A.V. *Gorimost' lesov Krasnoyarskogo kraya v sovremennykh usloviyakh* [The fire rate of the forests of the Krasnoyarsk Territory in modern conditions]. *Khvoynye boreal'noy zony* [Coniferous boreal zones], 2014, v. 32, no. 1–2, pp. 33–39.
- [6] Timofeeva S.S., Garmyshev V.V. *Metodika otsenki neuchtennoy ekologicheskoy nagruzki na atmosferu, sozdavaemuyu pozharami Irkutskoy oblasti* [Methodology for assessing unaccounted environmental load on the atmosphere created by fires in the Irkutsk region]. *Vestnik Zabaykal'skogo GU* [Bulletin of the Zabaikalsky State University], 2016, v. 22, no. 1, pp. 48–56.
- [7] Timofeeva S.S., Garmyshev V.V., Khismatulin S.R., Malykhin A.V. *Sotsial'nye, ekonomicheskie i ekologicheskie posledstviya pozharov v munitsipal'nykh tsentrakh Sibirskogo federal'nogo okruga: analiz, otsenka, prognoz* [Social, economic and environmental consequences of fires in the municipal centers of the Siberian Federal District: analysis, assessment, forecast]. Irkutsk: Asprint, 2010, 169 p.
- [8] Tsvetkov P.A., Buryak L.V. *Issledovaniya prirody pozharov v lesakh Sibiri* [Research of the nature of fires in the forests of Siberia]. *Sibirskiy lesnoy zhurnal* [Siberian Forest Journal], 2014, no. 3, pp. 25–42.

- [9] Volokitina A.V., Sofronova T.M., Korets M.A. *Prognozirovanie povedeniya pozharov rastitel'nosti* [Forecasting the behavior of vegetation fires]. *Lesnoy Zhurnal* (Russian Forestry Journal), 2020, no. 1, pp. 9–25. DOI: 10.37482 / 0536-1036-2020-1-9-25
- [10] Ivanova G.A., Ivanov V.A. *Zonal'nost' lesnykh goryuchikh materialov i ikh pirogennaya transformatsiya v sosnyakakh Sredney Sibiri* [Zoning of forest combustible materials and their pyrogenic transformation in pine forests of Central Siberia]. *Lesnoy Zhurnal* (Russian Forestry Journal), 2020, no. 4, pp. 9–26. DOI: 10.37482 / 0536-1036-2020-4-9-26
- [11] Zaytsev A.P. *Chrezvychaynye situatsii* [Emergencies]. Moscow: Mir, 2002, 325 p.
- [12] Isaeva L.K., Vlasov A.G. *Metodicheskie ukazaniya rascheta pokazateley, kharakterizuyushchikh opasnost' zagryazneniya okruzhayushchey sredy vybrosami ot pozharov i avariyy* [Methodological guidelines for calculating indicators characterizing the danger of environmental pollution by emissions from fires and accidents]. Moscow: Akademiya GPS MChS [Academy of State Fire Service of the Ministry of Emergency Situations], 2003, 44 p.
- [13] Kurbatskiy N.P., Tsvetkov P.A. *Okhrana lesov ot pozharov v rayonakh intensivnogo osvoeniya* [Protection of forests from fires in areas of intensive development]. Krasnoyarsk: ILiD, 2006, 149 p.
- [14] Kopeykin M.A. *Lesnye pozhary v Arkhangel'skoy oblasti* [Forest fires in the Arkhangelsk region]. *Itogi 2017 goda, dinamika i prichiny. Arkhticheskie issledovaniya: ot ekstensivnogo osvoeniya k kompleksnomu razvitiyu: materialy I Mezhdunarodnoy molodezhnoy nauchno-prakticheskoy konferentsii* [Results of 2017, dynamics and reasons. Arctic research: from extensive development to integrated development: materials of the 1st International Youth Scientific and Practical Conference]. Arkhangelsk, April 26–28 2018. V. 2. Arkhangelsk: NArFU, 2018, 471 p.
- [15] *O primeneni regional'nykh klassov pozharnoy opasnosti v lesakh v zavisimosti ot usloviy pogody* [On the application of regional classes of fire hazard in forests, depending on weather conditions]. Available at: <http://docs.cntd.ru/document/560454139> (accessed 20.12.2020).
- [16] Efremov D.F., Zakharenkov A.S., Kopeykin M.A., Kuz'michev E.P., Smetanina M.I., Soldatov V.V. *Profilaktika i mery preduprezhdeniya lesnykh pozharov v sisteme lesoupravleniya Rossiyskoy Federatsii* [Prevention and prevention of forest fires in the forest management system of the Russian Federation]. Ed. E.P. Kuzmichev. Moscow: Vsemirnyy bank, [World Bank], 2012, 104 p.
- [17] *Edinyy lesopozharnyy tsentr* [Unified forest fire center]. Available at: <https://elc29.ru/sample-page/napravleniya-deyatelnosti/> (accessed 20.12.2020).
- [18] *Geoinformatsionnyy portal Dal'nevostochnogo regiona RF, FGBU «Dal'nevostochnoe UGMS», DTs FGBU «NITs Planeta»* [Geo-information portal of the Far Eastern region of the Russian Federation, FGBU «Far Eastern UGMS», DC FGBU «Research Center Planeta»]. Available at: <http://meteo-dv.ru> (accessed 20.12.2020).
- [19] *Khabarovskiy tsentr po gidrometeorologii i monitoringu okruzhayushchey sredy s funktsiyami regional'nogo spetsializirovannogo tsentra* [Khabarovsk Center for Hydrometeorology and Environmental Monitoring with the functions of a regional specialized center]. Available at: <http://www.khabmeteo.ru/cgi-bin/geofiz.cgi> (accessed 20.12.2020).
- [20] Vinogradova V.V., Titkova T.B., Cherenkova E.A. *Dinamika uvlazhneniya i teploobespechennosti v perekhodnykh landshaftnykh zonakh po sputnikovym i meteorologicheskim dannym v nachale KhKhI veka* [Dynamics of humidification and heat supply in transitional landscape zones according to satellite and meteorological data at the beginning of the XXI century]. *Sovremennyye problemy distantsionnogo zondirovaniya Zemli iz kosmosa* [Modern problems of remote sensing of the Earth from space], 2015, v. 12, no. 2, pp. 162–172.
- [21] *Geofizicheskiy tsentr Rossiyskoy akademii nauk — GTs RAN, Mirovoy tsentr dannykh po Solnechno-Zemnoy fizike Moskva* [Geophysical Center of the Russian Academy of Sciences — GC RAS, World Data Center for Solar-Terrestrial Physics Moscow]. Available at: <http://www.wdcb.ru/stp/solar/sunspots.ru.html> (accessed 20.12.2020).
- [22] Beletskiy E.N. *Tsiklichnost' — fundamental'noe svoystvo razvitiya i funktsionirovaniya prirodnykh sistem* [Cyclicality is a fundamental property of the development and functioning of natural systems]. *Vestnik Khar'kovskogo natsional'nogo agrarnogo universiteta. Ser. Biologiya* [Bulletin of the Kharkov National Agrarian University. Ser. Biology], 2007, v. 3, pp. 100–116.
- [23] Krivenko V.G. *Kontseptsiya prirodnykh tsiklik i nekotorye zadachi khozyaystvennykh strategiy Rossii* [The concept of natural cycles and some tasks of economic strategies in Russia]. *Agrarnaya Rossiya* [Agrarian Russia], 2005, no. 6, pp. 41–47.
- [24] Vitinskiy Yu.I., Kopetskiy M., Kuklin G.V. *Statistika pyatnoobrazovatel'noy deyatel'nosti Solntsa* [Statistics of the sunspot-forming activity of the Sun]. Moscow: Nauka, 1986, 296 p.
- [25] Vil'dyaev V.M., Logunov O.Yu. *O tsiklichnosti prirodnykh protsessov* [On the cyclical nature of natural processes]. *Ispol'zovanie i okhrana prirodnykh resursov v Rossii* [Use and protection of natural resources in Russia], 2009, no. 4, p. 106.
- [26] Kudryavtsev M.Yu., Lukin V.V., Malinetskiy G.G., Mitin N.A., Naumenko S.A., Podlazov A.V., Rummyantsev A.A., Toropygina S.A. *Upravlenie riskami lesnykh pozharov na territorii Rossiyskoy Federatsii* [Forest fire risk management in the Russian Federation]. Moscow: IPM im. M.V. Keldysh RAN, 2008, 28 p.

Authors' information

Kopeykin Mikhail Adol'fovich — Pg. Student of Silviculture and Forest Management department, Northern (Arctic) Federal University named after M.V. Lomonosov, kopejkin@narfu.edu.ru

Koptev Sergey Viktorovich — Dr. Sci. (Agriculture), Head of the of Silviculture and Forest Management department, Northern (Arctic) Federal University named after M.V. Lomonosov, s.koptev@narfu.ru

Tretyakov Sergey Vasilievich — Dr. Sci. (Agriculture), Professor of Silviculture and Forest Management department, Northern (Arctic) Federal University named after M.V. Lomonosov, s.v.tretyakov@narfu.ru

Received 13.01.2021.

Accepted for publication 26.02.2021.

ИСТОРИЧЕСКИЙ ОБЗОР СОЗДАНИЯ УЛИЦЫ ХАЧАТУРА АБОВЯНА В Г. ЕРЕВАНЕ И СОВРЕМЕННОЕ СОСТОЯНИЕ ОДНОИМЕННОГО СКВЕРА

В.А. Леонова¹, К.К. Варданян^{2, 3}, Л.Б. Ефремян³

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

²Ереванский государственный медицинский университет им. М. Гераци, 0025, Республика Армения, г. Ереван, ул. Корьюна, д. 2

³МНКО «Озеленение и охрана окружающей среды», 0010, Республика Армения, г. Ереван, ул. П. Бюзанда, д. 1/3

leonovava@bk.ru

Кратко рассмотрен исторический аспект развития одной из самых важных магистралей города — сложившейся с середины XIX в. градостроительной оси г. Еревана — улицы Х. Абовяна. Указаны реальные размеры улицы, дан анализ и описано ее оформление на разных территориальных участках, приведена информация об архитектурных сооружениях: Культурном центре-музее имени Гранта Матевосяна и мемориале, посвященном армянским военным, погибшим в Венгрии и венгерским военнопленным, погибшим в Армении. Представлен краткий исторический обзор города. Подробно проанализировано современное состояние сквера им. Х. Абовяна, структура озелененных участков, состояние всех конструктивных элементов — от качества дорожно-тропиночной и поливочной сети, ассортимента древесных насаждений и до полного ландшафтного анализа территории.

Ключевые слова: улица-парк, сквер, Абовян, градостроительная ось, Культурный центр-музей имени Гранта Матевосяна, инвентаризация, поливочная система

Ссылка для цитирования: Леонова В.А., Варданян К.К., Ефремян Л.Б. Исторический обзор создания улицы Хачатура Абовяна в г. Ереване и современное состояние одноименного сквера // Лесной вестник / Forestry Bulletin, 2021. Т. 25. № 3. С. 82–92. DOI: 10.18698/2542-1468-2021-3-82-92

В условиях интенсивных темпов урбанизации проблема оздоровления городской среды остается актуальной. Озеленение городов — одно из эффективных ее решений, как по результатам, срокам осуществления, так и по стоимости. Многочисленные исследования свидетельствуют об исключительной значимости озеленения в экологии окружающей среды и ее положительном влиянии на здоровье населения. Особенно важно создание искусственного микроклимата в южных городах путем их рационального озеленения, поскольку в дневное время фасады зданий сильно нагреваются и долгое время после захода солнца отдают тепло, нагревая окружающий воздух, формируя тем самым эффект тепловых островов, что отрицательно влияет на здоровье человека.

Научные данные свидетельствуют о том, что в условиях жаркого климата, в частности г. Алма-Аты (условия, подобные г. Еревану), даже небольшое внутриквартальное озеленение в виде садилов, однорядная посадка деревьев, устройство скверов оказывают существенное благоприятное влияние на микроклимат окружающей территории [1, 2]. Последнее обстоятельство подтверждает актуальность таких исследований.

Цель работы

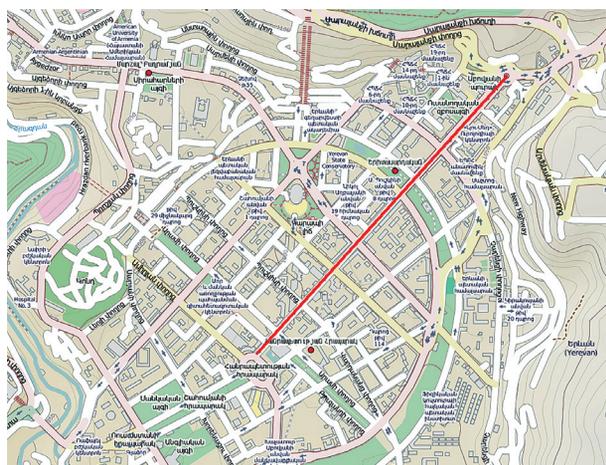
Цель работы — проведение историко-архивной экспертизы формирования улицы Хачатура Абовяна и анализ современного состояния конструктивных элементов одноименного сквера.

Методика исследования

Историко-архивная экспертиза проведена по общепринятой методике, в том числе с помощью графо-аналитического метода. Инвентаризация насаждений осуществлялась по методике Академии коммунального хозяйства им. К.Д. Памфилова (г. Москва).

Историческая справка. Площадь Республики — сердце г. Еревана, а улица Х. Абовяна — его основная артерия. В 1920-е годы началась реализация градостроительного плана архитектора А. Таманяна — весь город был перестроен, но ул. Абовяна эта перестройка не затронула. Здесь сохранился уголок старого дореволюционного Еревана — единственное место, где еще не снесены здания XIX в., и где царит особая историческая атмосфера [3].

Улица Абовяна — первая улица в г. Ереване, построенная в середине XIX в. по проекту генплана города. Тогда были возведены здания в стиле армянского *Belle Époque* (прекрасная эпоха) и улица носила имя генерал-майора Михаила Астафьева — губернатора Еревана. Позднее, в 1883 г., в честь императора Александра III улицу переименовали в Александровскую. А в 1921 г. ее переименовали в честь Хачатура Абовяна, и это название сохранилось до наших дней. В середине XIX в. на Астафьевской улице доминировали две церкви: Святых апостолов Петра и Павла (снесена в 1933 г.) и Святой Богородицы Католикке.



а



б

Рис. 1. План г. Еревана: *а* — расположение ул. Х. Абовяна в плане города обозначено красной линией, которая начинается от нынешней Площади Республики (на юге) и тянется на северо-восток; *б* — завершение улицы — памятник Х. Абовяну

Fig. 1. Yerevan's plan: *a* — the location of Kh. Abovyan St. in the city plan is indicated by a red line, which begins from the current Republic Square (in the south) and stretches to the northeast, *б* — the end of the street — a monument to Kh. Abovyan

Наиболее зажиточные и влиятельные горожане стали заселять смежные улицы, а на Астафьевской улице появились европейские магазины, в частности, магазин сукна и галантереи «Саксонский», принадлежащий Егору Ханзадян, доходный дом Арама Тер-Аветикяна [4].

Рассматриваемая улица изначально была одной из мощных улиц города, после того как положение г. Еревана были утверждены наместником Кавказа А.И. Барятинским. Согласно плану города и в соответствии с географическим положением местности, улицы должны были быть прямыми. Центр Ремесла и Торгово-промышленную палату также планировалось расположить здесь.

В конце XIX — начале XX вв. улица Абовяна приобрела статус экономического, политического и культурного центра Еревана, в котором наряду со знаменитыми гостиницами «Франция», «Ориант» и «Гранд Отель», расположились медицинские центры и городские клубы. Церковь Сурб Погос-Петрос, датируемая V–VII вв., также находилась на этой улице на месте нынешнего кинотеатра «Москва». Ее окружал красивый сад, принадлежащий Школе Св. Гаянэ [5].

Памятник Х. Абовяну (1950), писателю Нового времени и первому человеку, взошедшему на гору Арарат, расположен на круглой площадке, от которой расходятся дороги к горным окраинам (рис. 1, б). [6].

В настоящее время ул. Х. Абовяна расположены четыре государственных университета: архитектурный, политехнический, аграрный и медицинский, а также Черный корпус Ереванского государственного университета (ЕГУ), в

прошлом — Учительская семинария, открытая в 1905 г. Это — это первое здание ЕГУ. Все основные корпуса сосредоточены на Бульварном кольце, и только Черный корпус остался крупнейшим из осколков старого города Эривань. У здания 112-летняя история — оно было построено в 1905 г. по проекту архитекторов Василия Мирзояна и Николая Киткина. Сегодня на его базе действуют три университетских факультета: экономики, управления и богословия, вход в здание украшает современный хачкар (рис. 2) [7].

Квартал между ул. Х. Абовяна и ближайшими северными склонами считается вотчиной медиков. Здесь расположены клиническая больница «Гераци» — первая построенная городе, а также Ереванский государственный медицинский университет (ЕГМУ) им. Мхитара Гераци — врача и ученого XII в. [8].

В 1914 г. на рекомендованной врачами территории площадью в 2,5 га в северо-восточной части города, на Александровской улице, был заложен фундамент здания Первой клинической больницы. Удачно выбранная градостроительная позиция здания больницы способствует созданию благоприятного микроклимата и его регуляции. Здание, поставленное в глубине отведенного участка, в отдалении от шума и загрязнения улицы, органично взаимодействует с парковым окружением. В 1920-х гг. здесь был больничный городок, спроектированный А. Таманяном — самый достопримечательный медицинский комплекс республики.

Улица Х. Абовяна — одна из основных магистралей центральной части города. Направление улицы, сложившееся в революционный период,



а



б

Рис. 2. Ереванский университет: *а* — первое здание Ереванского университета, *б* — хачкар (камень-крест)
Fig. 2. Yerevan University: *a* — the first building of Yerevan University, *b* — khachkar (stone-cross)

было сохранено и закреплено Генеральным планом А. Таманяна 1924 г. [3].

В настоящее время ширина улицы варьирует на различных участках: от ул. Таманяна до ул. Свердлова (ныне ул. П. Бюзанд) она составляет 20 м, от ул. Туманяна до сквера им. Х. Абовяна улица расширяется до 43 м [9]. Северный отрезок ул. Х. Абовяна был отдан под строительство студенческого и больничного городков. Реконструкция и застройка данной части улицы начались в 1930-е гг. При застройке опорным являлось здание Госуниверситета (бывшая Учительская семинария), надстроенное в 1930-х гг. На углу улиц Х. Абовяна и С. Кирова (ныне ул. Корюна) в 1938 г. была построена первая очередь Медицинского института (архитектор С. Сафарян). Учитывая значение здания в общем ансамбле городка, автор решил его крупными, лаконичными объемами. В 1950-х гг. его значение как доминанты больничного городка возросло благодаря надстройке над угловой частью здания купола актового зала [10].

Улица Х. Абовяна у Канакерского плато завершается круглой площадкой со сквером им. Х. Абовяна. Отсюда в северном направлении начинается проспект Азатутян, а в северо-

восточном — ул. Мясникяна, ведущая в Нор-Норк (административный район г. Еревана) и улицы студенческого городка. В центре этого важного транспортного участка города воздвигнут памятник Х. Абовяну — великому армянскому писателю и просветителю XIX в. (скульптор С. Степанян, архитектор Г. Таманян) [11].

В 1962–1966 гг. реконструировали и застроили отрезок ул. Х. Абовяна — от ул. А. Туманяна до ул. Московской (архитекторы Ф. Дарбинян, Д. Аветисян, К. Мартиросян). Исходя из идеи А. Таманяна «Ереван — город-сад», был создан новый тип магистрали улица-парк. На этом отрезке ул. Х. Абовяна тротуары расширены до 16 м с обеих сторон, превысив ширину проезжей части (11 м). Такая ширина тротуара позволила создать большие пространства газонов, посадить фруктовые и декоративные деревья [12].

На улице были устроены характерные для г. Еревана сады и парки с многочисленными бассейнами, фонтанами, перголами, летними кафе и уголками отдыха. Неактивное транспортное движение на этом отрезке способствовало лучшему использованию озелененных тротуаров для отдыха жителей данной улицы. В целях уменьшения перегрева проезжая часть вместо асфальта была вымощена бетонными плитами, а тротуары — маленькими плитками наподобие мозаики [13]. После реконструкции ул. Х. Абовяна стала любимым местом прогулок ереванцев как наиболее благоустроенная и красивая магистраль города [14].

В основе Генерального плана г. Еревана, разработанном знаменитым архитектором А. Таманяном в 1924 г., была заложена идея города-сада «как примера и самого удачного приема в современном градостроительстве», общественные зеленые зоны рассматривались как важные формообразующие доминанты в планировочной структуре города. Исходя из условий местности и существующей системы магистралей, Александром Таманяном была принята радиально-кольцевая система планировки с созданием новой композиционной оси города «север — юг». Были задуманы и реализованы «кольцевые зеленые улицы без строений», так называемые легкие города. В целом площадь зеленых насаждений достигала примерно 140 га и занимала примерно 15 % всей территории города [15].

Ассортимент деревьев и кустарников. Исследование ассортимента декоративных древесных растений г. Еревана имеет свою историю. В начале XX в. древний маленький глинобитный губернский город Эривань, расположенный в полупустынной зоне, имел бедную растительность, и ничем не отличался от азиатских городов. Но по мере создания орошения в городе появились частные сады с виноградниками, фруктовыми



Рис. 3. Площадь им. Х. Абовяна с разворотным кругом и памятником армянскому писателю (на северо-востоке) и сквером в виде прямоугольной трапеции (на юго-западе)

Fig. 3. H. Abovyan Square with a turning circle and a monument to the Armenian writer (in the northeast) and a square in the form of a rectangular trapezoid (in the southwest)

деревьями, среди которых встречались субтропические виды — *инжир*, *гранат*. Вдоль некоторых улиц были посажены *шелковица*, *грецкий орех*, *платан*, *тополь* на участках, обильно орошаемых постоянно протекающей в канаве водой [16].

Естественное природное отсутствие декоративных древесных растений обусловило в советский период огромную потребность обогащения города новыми насаждениями. Поэтому на 1961 г. по использованию интродуцентов в озеленении г. Ереван занимал одно из первых мест среди городов СССР. В оформлении столицы Армении были использованы 221 вид и разновидности деревьев и кустарников. Из них в садах и парках — 136 видов, в бульварах зеленого кольца — 94 вида, внутриквартальных насаждениях — 62, а на улицах 50 видов. Однако пестрота не способствовала созданию полноценных, устойчивых и высокодекоративных городских насаждений [17].

В период 1971–1981 гг. в зеленом кольце г. Еревана использовалось уже 170 видов и 4 формы деревьев и кустарников. Среди них встречались 11 видов хвойных видов деревьев и 82 — лиственных; а среди кустарников — 71 вид (3 хвойных, 67 лиственных, 1 вечнозеленый лиственный и 6 — вьющихся). Исследования более позднего периода показали, что городской ассортимент сократился до 143 видов и 4 форм деревьев и кустарников, из которых на интродуценты (экзоты) приходился — 121 вид, остальные были аборигенные и гибридные [18].

Как показывали многолетние исследования, аборигенные деревья и кустарники в составе декоративных насаждений столицы Республики Армения представлены крайне бедно, тогда как

преобладают древесные растения-интродуценты, составляющие более 75 % общего количества видов и которые, как правило, по скорости роста, долговечности и декоративности уступают многим аборигенным видам [19].

Разразившийся в начале 1990-х гг. энергетический кризис нанес значительный ущерб озеленению города. В результате были уничтожены созданные в 1950-х гг. леса (лесные культуры) и почти полностью разрушилась цельность растительных сообществ. Поэтому в настоящее время, чтобы оценить состояние сохранившихся деревьев и кустарников и их ассортимент, необходимо провести исследование всех насаждений города. И данная работа по исследованию насаждений сквера Х. Абовяна является первой в созданной Муниципальной научно-коммерческой организации «Озеленение и охрана окружающей среды».

Результаты и обсуждение

Сквер им. Х. Абовяна завершает одну из сторон одноименной улицы. Он имеет форму практически прямоугольной трапеции с коротким основанием, где располагается заброшенное здание кафе или каменной остановки, выходит на площадь с разворотным кругом, в центре которого возвышается скульптура писателя (рис. 3).

На рис. 3 хорошо просматривается полуоткрытая пространственная структура сквера с зелеными и коричневыми кронами деревьев, в центре с круглым зданием Культурного центра-музея имени Гранта Матевосяна, армянского писателя XX в. [20]. К северу от здания хорошо видны светлые участки территории, которые представляют собой остатки площадки с бетонным и щебеночным основанием, непригодным для растительности.

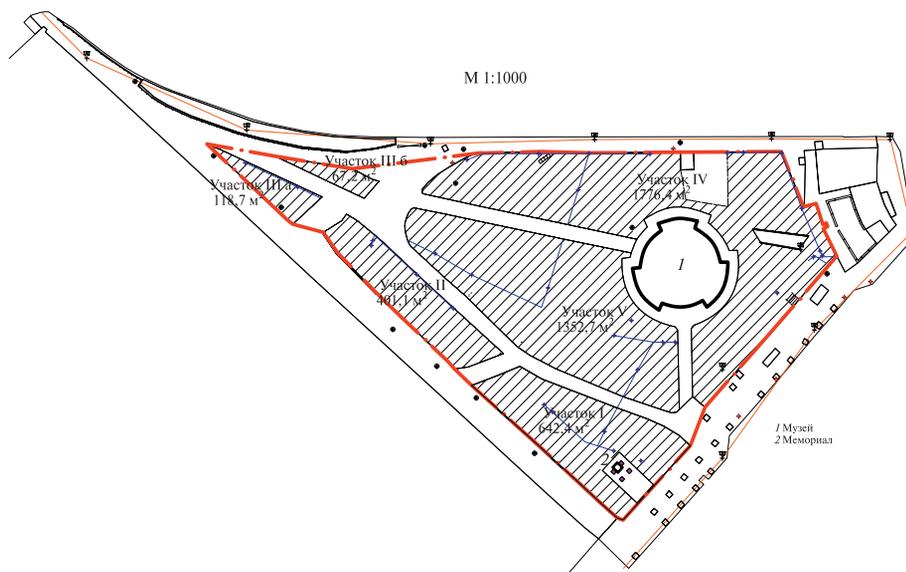


Рис. 4. Схема расположения границ и озелененных участков сквера
 Fig. 4. Layout of borders and landscaped areas of the square

Т а б л и ц а 1
Баланс территории по участкам
 Territory balance by plots

Категория	Площадь	
	м ²	%
Здания и сооружения	294,8	5,0
Дорожки	1260,6	21,3
Озелененные участки	4361,4	73,7
Участок I	645,3	14,8
Участок II	401,1	9,2
Участок III	185,9	4,3
Участок IV	1776,4	40,7
Участок V	1352,7	31,0
Всего	5916,8	100,0

На севере сквер огибает одна из основных магистралей города: проспект Азатутяна, переходящая в ул. Х. Абовяна. Южная сторона сквера прилегает к Национальному агроуниверситету, на которую выходит главный вход второго корпуса здания (перед ним располагается асфальтовая площадка неправильной формы).

В сентябре 2020 г. была выполнена геодезическая съемка сквера, на основании которой подготовлены чертежи ландшафтного анализа территории, плана инвентаризации и состояния поливочной сети, а также была составлена схема расположения озелененных участков сквера (рис. 4), определены его границы (указаны красным цветом).

Существующая дорожно-тропиночная сеть делит территорию сквера на пять различных по форме и площади участков. Из табл. 1 видно, что участки IV и V, прилегающие к зданию Культурного центра-музея им. Г. Матевосяна,

занимают 71 % озелененной территории и фактически создают «зеленое» ядро сквера. Угловой — участок I — достаточной большой по площади и составляет 15 % озелененной площади сквера, на нем расположен мемориал, посвященный армянским военным, погибшим в Венгрии и венгерским военнопленным, погибшим в Армении. Он представляет собой прямоугольную площадку (на юго-востоке сквера), вымощенную бетонной плиткой, на которой установлена небольшая стена, а перед ней разбиты четыре квадрата для посадки цветов-летников. Участки II и III представляют собой развязку пешеходных дорожек, ведущих к входу в одно из зданий университета.

На территории сквера более 30 лет не проводилась реконструкция, поэтому многие конструктивные элементы: дорожки, поливочная система, освещение требуют ремонта. Например, подпорные стенки из бетона на участках I и II обветшали и обсыпаются; плиточное мощения мемориала и его ступени требуют ремонта; асфальтовое покрытие дорожек имеет трещины; около 14 % контуров озелененных участков не имеют бортового камня; не работают фонари и отсутствует вечернее освещение. Озелененные пространства и древесные насаждения также нуждаются в реконструкции. Травянистый покров на всех участках различен по плотности и ассортименту, имеются участки с отсутствием почвенного слоя, непригодные для создания газона. Вследствие этого был проведен подробный ландшафтный анализ территории сквера в целях оценки состояния почвенного покрова и основных конструктивных элементов сквера.

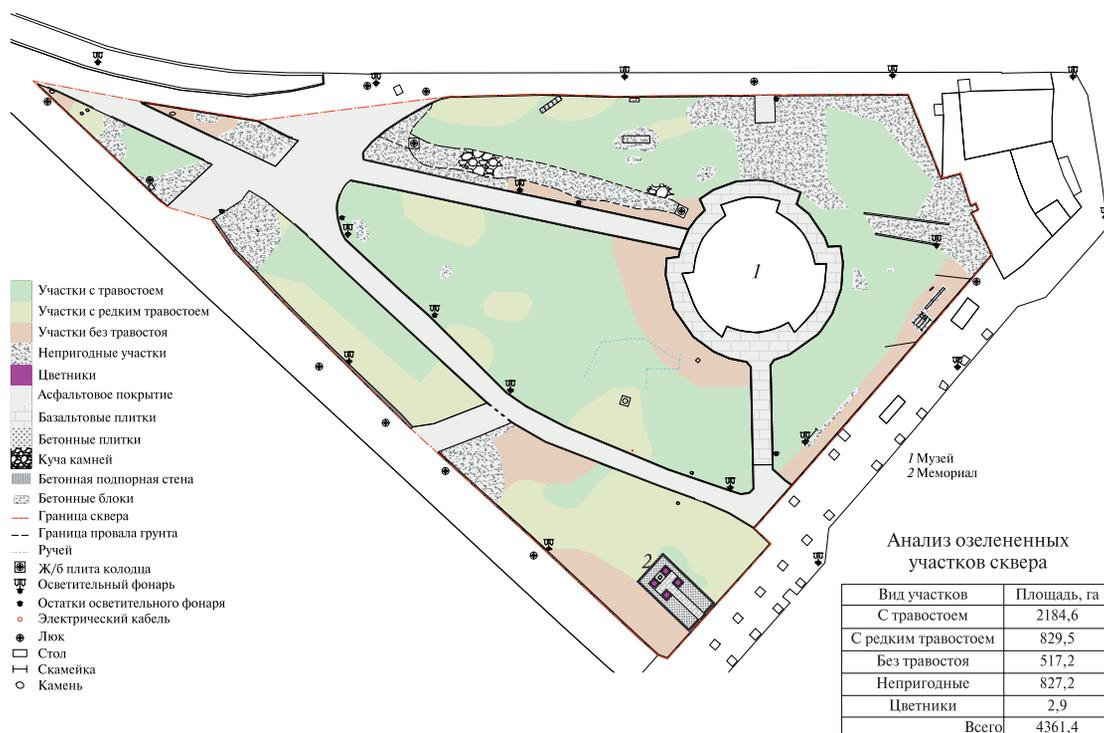


Рис. 5. Ландшафтный анализ территории сквера им. Х. Абовяна
 Fig. 5. Landscape analysis of the surface of Abovyan Square

Ландшафтный анализ территории показал (рис. 5), что сквер требует инженерной подготовки территории, особенно участок IV, на котором зафиксирован провал грунта, засыпанный строительным мусором, идущий вдоль коммуникации Культурного центра-музея имени Гранта Матевосяна. Кроме того, здесь встречаются бетонные блоки разных размеров, металлические основания фонарных столбов, площадка с щебеночным основанием (на севере, за зданием музея). А в северо-восточном углу участка IV имеется остаток садово-парковой дорожки с гравийным покрытием, которая шла от остановки автотранспорта к агроуниверситету, но построенное здание нарушило данную пешеходную связь. За существующей торговой палаткой на газоне находится старый металлический стол и две такие же скамьи.

На территории сквера восемь нерабочих фонарных столбов, имеется ручей (участок V), камень-валун (участок I), бетонные подпорные стенки (участки I и II). Определены три типа покрытий дорожно-тропиночной сети: асфальтовое, мощение из базальтовых и бетонных плит. Всю территорию сквера можно подразделить на пять типов:

- 1) участки с травостоем;
- 2) участки с редким травостоем;
- 3) участки без травы, с грунтовым покрытием;
- 4) цветник;
- 5) участки, непригодные для озеленения.

Т а б л и ц а 2

Анализ состояния деревьев
Tree Condition Analysis

Состояние	Количество	
	шт.	%
Хорошее	—	—
Удовлетворительное	123	51,9
Неудовлетворительное	114	48,1
Итого	237	100

Инвентаризацию существующей древесной растительности провели в сентябре 2020 г. Она показала, что на территории сквера произрастает 128 деревьев 14 видов. В хорошем состоянии деревьев нет (табл. 2), почти 52 % находится в удовлетворительном состоянии (имеют много дефектов), а 48 % — в неудовлетворительном (включая пни).

Кроме того, в сквере 108 пней различного диаметра — от 20 см до 80 см, их наличие свидетельствует о том, что ранее проводилась санитарная рубка, и было вырублено 46 % произрастающих в сквере деревьев. Анализ диаметра пней показал, что 48 % из них составляют пни молодых растений (с диаметром 10...20 см), третья часть (34 %) приходится на пни с диаметром от 20 до 40 см, а на пни диаметром от 40 до 80 см, принадлежавшие старым посадкам, приходится около 18 %. Такое количество пней и деревьев

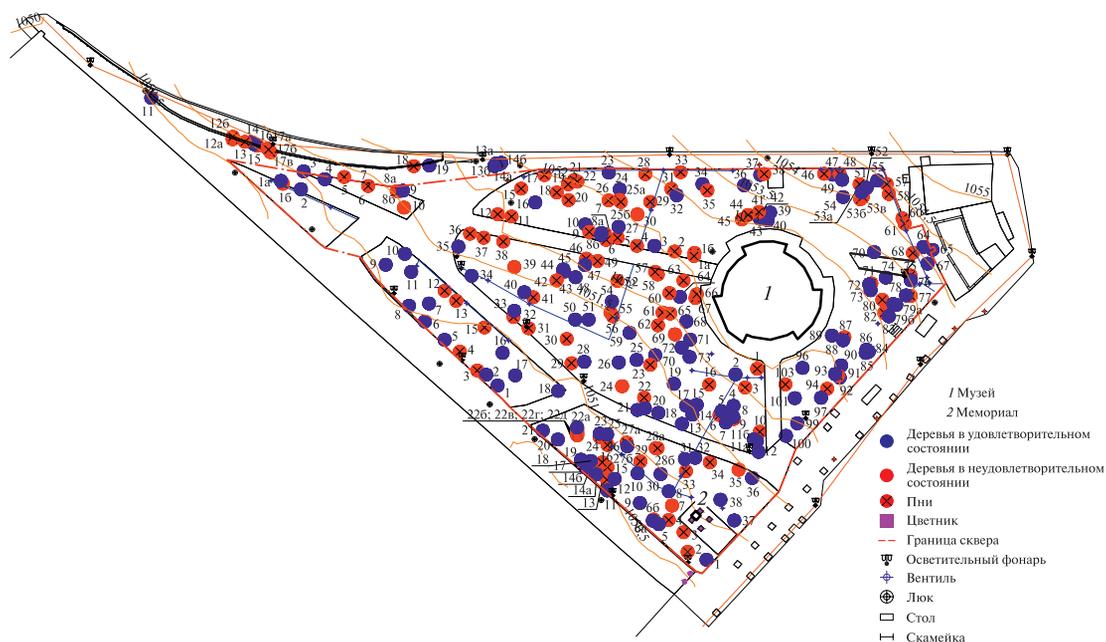


Рис. 6. План инвентаризации насаждений сквера им. Х. Абовяна
Fig. 6. Inventory Plan of the Square Plantations of Abovyan Square

в неудовлетворительном состоянии показывает, что большинство древесных насаждений сквера погибло, а оставшиеся экземпляры находятся в стадии отмирания. Современное состояние деревьев представлено на плане инвентаризации насаждений сквера (рис. 6), где синим цветом указаны деревья в удовлетворительном состоянии, красным — неудовлетворительном, пни показаны красным цветом с черным крестом внутри кружочка.

Анализ ассортимента существующих деревьев показал, что к основному ассортименту можно отнести такие быстрорастущие виды, как клен ясенелистный, айлант и акацию белую (33 %), из которых два первых вида распространились самосевом. На благородные виды деревьев (софору, шелковицу, ясень и катальпу) приходится всего 16 % общего количества деревьев. Остальные семь видов встречаются в единичном количестве — от 1 до 3 шт. Таким образом, видовой состав сквера не представляет никакой ценности, а с учетом огромного количества биологических дефектов (различные раны ствола и дупла, отсутствие кроны, за исключением 1–2-х веток и т. д.), существующие насаждения сквера не могут полноценно выполнять санитарно-гигиенические и декоративные функции (табл. 3).

В сквере произрастает семь видов кустарников в количестве 14 шт., из которых два вида — свидина кроваво-красная и клен ясенелистный (кустовая поросль) составляют 2/3 общего количества (табл. 4). Остальные виды представлены единичными экземплярами. Если оценить состав ассортимента, то можно увидеть, что декоратив-

Таблица 3

Анализ ассортимента деревьев

Tree Assortment Analysis

Вид	Количество	
	шт.	%
Клен ясенелистный <i>Acer negundo</i> (L.)	34	14,3
Айлант высочайший <i>Ailanthus altissima</i> (Mill.)	26	11,0
Робиния лжеакация <i>Robinia pseudo acacia</i> (L.) (Акация белая)	19	8,0
Софора японская <i>Styphnolobium japonicum</i> (L.) Schott	11	4,6
Шелковица черная (тута) <i>Morus nigra</i> (L.)	10	4,2
Ясень обыкновенный <i>Fraxinus excelsior</i> (L.)	8	3,4
Катальпа прекраснейшая <i>Catalpa</i> (Scop.)	7	3,0
Шелковица белая (тута) <i>Morus alba</i> (L.)	3	1,3
Вяз американский <i>Ulmus americana</i> (L.)	3	1,3
Вяз мелколистный <i>Ulmus parvifolia</i> (Jacq.)	3	1,3
Слива домашняя <i>Prunus domestica</i> (L.)	2	0,8
Можжевельник виргинский <i>Juniperus virginiana</i> (L.)	1	0,4
Дуб летний <i>Quercus robur</i> (L.)	1	0,4
Абрикос обыкновенный <i>Prunus armeniaca</i> (L.)	1	0,4
В том числе пни	108	45,6
Итого	237	100,0

ные и красивоцветущие кустарники занимают 50 % (7 шт.), остальное все — поросль или кустовидная форма существующих деревьев. Таким образом, соотношение деревьев и кустарников, которое определяет структуру насаждений сквера имеет численное выражение 9:1, что не соответ-



Рис. 7. Существующее положение сквера и всех его конструктивных элементов
 Fig. 7. Existing position of the square and all its features

Т а б л и ц а 4
Анализ ассортимента кустарников
Shrub Assortment Analysis

Вид	Количество	
	шт.	%
Свидина кроваво-красная <i>Cornus sanguinea</i> (L.)	5	35,8
Клен ясенелистный (кустовая форма) <i>Acer negundo</i> (L.)	4	28,7
Вяз американский (кустовая форма) <i>Ulmus americana</i> (L.)	1	7,1
Вяз мелколистный (кустовая форма) <i>Ulmus parvifolia</i> (Jacq.)	1	7,1
Акация белая (кустовидная форма) <i>Robinia pseudoacacia</i> (L.)	1	7,1
Сиреньобыкновенная <i>Syringa vulgaris</i> (L.)	1	7,1
Спирея Вангутта <i>Spiraea × vanhouttei</i> (Briot.) Zabel	1	7,1
Итого	14	100,0

ствует нормативу (норма: 1:5) и свидетельствует, о том, что структура насаждений сквера требует реконструкции.

На рис. 7 видно, что основные старовозрастные деревья, представляющие собой остатки рядовой посадки и относящиеся к первым посадкам сквера (первая группа), сохранились вдоль здания аграрного университета (участки I и II). Южная часть сквера летом находится в тени от здания, что помогает рядовой посадке выживать в жарком

полупустынным климате. Вторая достаточно крупная группа деревьев находится на участке IV и располагается в районе ручейка, который образовался от постоянно льющемся источника питьевой воды. На участках III и V крупные деревья — это дикая поросль айланта, на последнем участке в северо-восточном углу имеются неплохие экземпляры софоры японской, там же произрастающий клен ясенелистный не обладает декоративными признаками.

В связи с тем, что около недавно построенного Культурного центра-музея им. Гранта Матевосяна на участках IV и V преобладают открытые пространства, на них имеются молодые посадки, которые пока никак не влияют на пространственную структуру сквера, что нежелательно в жарком климате. Большое количество пней, обозначенных на рис. 7 красными точками, свидетельствует, о том, что перед посадкой новых деревьев и кустарников требуется инженерная подготовка территории по удалению пней (их выкорчевка или дробление и удаление крупных корней).

Существующая поливочная система сквера является закрытой и состоит из магистрального канала с ответвлениями. Система выполнена из металлических труб с установленными вентилями, большая часть которой проложена по земле, частично под землей. Была спроектирована и выполнена в советский период и в настоящее время морально и физически устарела, т. е. находится в неудовлетворительном состоянии. Полив шланговый (рис. 8).

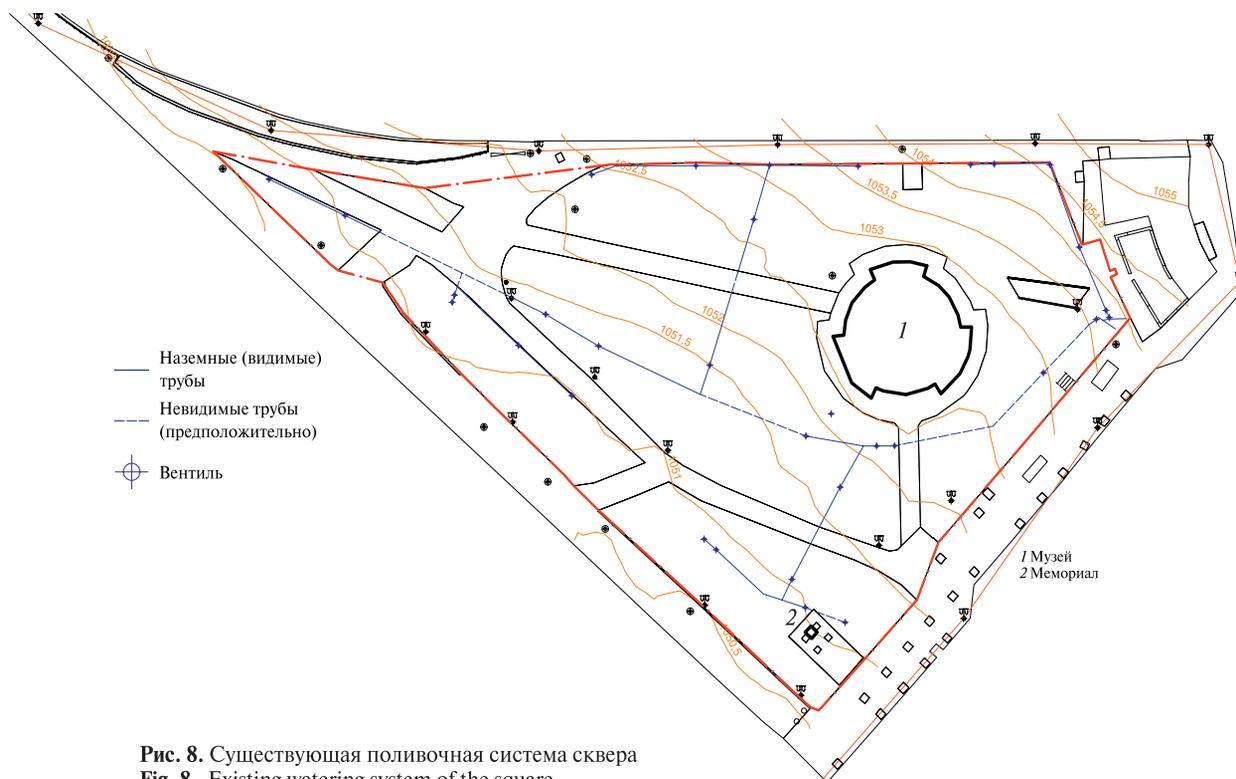


Рис. 8. Существующая поливочная система сквера
Fig. 8. Existing watering system of the square

Т а б л и ц а 5
Баланс существующей территории
Баланс существующей территории

Категория	Площадь	
	м ²	%
Здания и сооружения	294,8	5,0
Дорожки	1260,6	21,3
Озелененные участки	4361,4	73,7
под деревьями	2486,8	57,0
под кустами	44,7	1,0
под газонами	1827,4	41,9
под газоном	2,9	0,1
Всего	5916,8	100,0

На участке V (ближе к музею) имеется выход питьевой воды на поверхность земли, который своим постоянным течением образовал ручей с переувлажненным участком и обильной травянистой растительностью.

Выводы

1. Планировка западной части территории сквера морально устарела и не соответствует современным требованиям, предъявляемым к главному входу второго корпуса агроуниверситета.
2. Поверхность сквера представлена пятью типами: участки с травостоем, участки с редким травостоем, участки без травостоя (грунтовое покрытие), территория непригодная для травянистой растительности (занимает 37,6 %) и цветники.

3. Ассортимент деревьев сквера включает следующие наиболее устойчивые, декоративные и благородные виды деревьев — *акация белая, софора японская, шелковица черная, ясень обыкновенный, катальпа прекраснейшая* и др., занимающие не более 25 % общего количества. Таким образом, современный состав насаждений требует обновления.

4. Пространственная структура и соотношение деревьев и кустарников не соответствуют нормативам, а его структура требует срочной реконструкции.

5. Освещение на территории сквера отсутствует, а сохранившиеся малые архитектурные формы не соответствуют современным требованиям.

6. Требуется полная реконструкция и замена существующей поливочной системы с использованием в перспективе комбинированной системы: системы дождевания и системы капельного полива.

Список литературы

- [1] Корякин И.С. Озеленение населенных мест. Алма-Ата: Казахский государственный медицинский ин-т, 1959. 86 с.
- [2] Батенко Э.А. Гигиеническое обоснование оптимальной застройки и благоустройства микрорайонов городов в условиях полупустынного резко-континентального климата: автореф. дис. ... канд. мед. наук. Алма-Ата, 1979. 19 с.
- [3] Григорян А.Г. Зеленая архитектура Еревана // Материалы к совещанию «Озеленение территории города как среда для труда, жизни и отдыха населения» (тез. докл.). Таллинн 6–8 сентября 1968 г. Таллинн, 1968. Т. II. С. 89–105.

- [4] Русский след: исторические здания ул. Абовяна. URL: https://dommoskvy.am/news/01.02.2020_russkij-sled-istoricheskie-zdaniya-ul-abovyan/ (дата обращения 06.12.2020).
- [5] Арутюнян В.К., Оганесян К.Л. Архитектура Советской Армении. Краткий очерк. Ереван: Изд-во АН Армянской ССР, 1955. 296 с.
- [6] Симонян А.П. Ереван: Очерк истории, экономики и культуры города. Ереван: Изд-во Ереванского гос. ун-та, 1963. 516 с.
- [7] Гаспарян М.А. Архитектура Еревана XIX — начала XX века: автореф. дис. ... д-ра архитектуры. Ереван, 2004. 46 с.
- [8] Арутюнян В.М., Асратян М.М., Меликян А.А. Ереван: к 2750-летию города. М.: Стройиздат, 1968. С. 234–263.
- [9] Акопян Т.Х. История Еревана (1879–1917). Ереван: Изд-во ЕГУ, 1963, 490 с.
- [10] Григорян А.Г., Товмасын М.Л. Архитектура Советской Армении. М.: Стройиздат, 1986. 320 с.
- [11] Халпахчян О.Х. Архитектурные ансамбли Армении. М.: Искусство, 1980. 480 с.
- [12] Атоян С.П., Арутюнян Л.В. Озеленение дорог и улиц. Ереван: Айпетрат, 1961. 93 с.
- [13] Григорян А.Г. Природа и городской организм (к вопросу составления проекта ландшафтной организации территории города) // Матер. совещ. «Природа, город, человек», Ереван 13–14 июня 1975 г. Ереван, 1975. С. 15–21.
- [14] Григорян А.Г. Проектирование городского ландшафта на стадии разработки генерального плана города. Л.: Стройиздат, 1977. С. 30–34.
- [15] Яралов Ю.С. Ереван. М.: Изд-во Акад. архитектуры СССР, 1943, 110 с.
- [16] Осипян Л.Л., Саркисян К.Ш. История озеленения города Еревана // Биологический журнал Армении, 2004. Т. 56, № 3–4. С. 285–293.
- [17] Григорян А. Ландшафт современного города. М.: Стройиздат, 1986. 134 с.
- [18] Варданын Ж.А., Ктракян С.К. Эколого-биологические аспекты сочетания аборигенных и интродуцированных древесных растений, применяемых в озеленении г. Еревана. Ереван: НАН Армении, 2019. Т. 119. № 4. С. 345–352.
- [19] Арутюнян Л.В. Древесные экзоты Еревана // Бюл. Бот. сада АН АрмССР, 1961. Т. 18. С. 5–30.
- [20] В Ереване строится Культурный центр-музей «Грант Матевосян». URL: <https://www.construction.am/rus/news/698-hrant-matevosyan-cultural-center-museum-in-yerevan/> (дата обращения 15.12.2020).

Сведения об авторах

Леонова Валентина Алексеевна — канд. с.-х. наук, доцент МГТУ им. Н.Э. Баумана (Мытищинский филиал), leonovava@bk.ru

Варданын Кристина Кареновна — канд. мед. наук, доцент Ереванского государственного медицинского университета им. М. Гераци, заместитель директора по развитию Муниципальной научно-коммерческой организации (МНКО) «Озеленение и охрана окружающей среды» г. Еревана, Kristina.vardkaren@gmail.com

Ефремян Левон Борисович — инженер-конструктор Управления ландшафтной архитектуры и дизайна МНКО «Озеленение и охрана окружающей среды» г. Еревана, levone@yandex.com

Поступила в редакцию 11.01.2021.

Принята к публикации 25.02.2021.

HISTORICAL OVERVIEW OF KHACHATUR ABOVYAN STREET IN YEREVAN AND CURRENT STATE OF PARK

V.A. Leonova¹, K.K. Vardanyan^{2, 3}, L.B. Efremian³

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

²Yerevan State Medical University named after M. Heratsi (YSMU), 2, Koryun st., 0025, Yerevan, Armenia

³Greening and environmental protection, 1/3 Building, Pavstos Buzandi st., 0010, Yerevan, Armenia

leonovava@bk.ru

The historical aspect of the development of one of the most important highways of the city — Kh. Abovyan Street — was developed since the middle of the XIX in Yerevan. The real dimensions of the street are indicated, the analysis is given and its design in different territorial areas is described, information on architectural structures is given, they are the Cultural Center-Museum of G. Matevosyan and a memorial dedicated to the Armenian military who died in Hungary and Hungarian prisoners of war who died in Armenia. Here is a brief historical review of the city. The current state of the Kh. Abovyan Park, the structure of landscaped areas, the state of all structural elements such as the quality of the road-path and irrigation network, the assortment of tree plantations and a landscape analysis of the territory were analyzed in detail.

Keywords: street-park, square, Abovyan, urban planning axis, Cultural Center-Museum named after Grant Matevosyan, inventory, irrigation system

Suggested citation: Leonova V.A., Vardanyan K.K., Efremian L.B. *Istoricheskiy obzor sozdaniya ulitsy Khachatura Abovyan v g. Erevane i sovremennoe sostoyanie odnoimennogo skvera* [Historical overview of Khachatur Abovyan street in Yerevan and current state of park]. *Lesnoy vestnik / Forestry Bulletin*, 2021, vol. 25, no. 3, pp. 82–92. DOI: 10.18698/2542-1468-2021-3-82-92

Reference

- [1] Koryakin I.S. *Ozelenenie naselennykh mest* [Greening of populated areas]. Alma-Ata, 1959, 86 p.
- [2] Batenko E.A. *Gigienicheskoe obosnovanie optimal'noy zastroyki i blagoustroystva mikrorayonov gorodov v usloviyakh polupustynnogo rezko-kontinental'nogo klimata* [Hygienic substantiation of optimal development and improvement of city microdistricts in a semi-desert sharply continental climate]. Dis. Cand. Sci. (Medical). Alma-Ata: Karaganda State Medical Institute, 1979, 19 p.
- [3] Grigoryan A.G. *Zelenaya arkhitektura Erevana. Materialy k Soveshchaniyu «Ozelenenie territorii goroda, kak sreda dlya truda, zhizni i otdykha naseleniya» (tezisy dokladov)* [Green architecture of Yerevan. Materials for the Meeting «Greening of the city territory as an environment for work, life and rest of the population» (abstracts)]. Tallinn 6–8 September 1968. Tallinn, 1968, t. II, pp. 89–105.
- [4] *Russkiy sled: istoricheskie zdaniya ul. Abovyana* [Russian trace: historical buildings st. Abovyan]. Available at: https://dommoskvy.am/news/01.02.2020_russkiy-sled-istoricheskie-zdaniya-ul-abovyana/ (accessed 06.12.2020).
- [5] Arutyunyan V.K., Oganessian K.L. *Arkhitektura Sovetskoy Armenii. Kratkiy ocherk* [Oganessian Architecture of Soviet Armenia. Brief sketch]. Yerevan: Publishing house of the Academy of Sciences of the Armenian SSR, 1955, 296 p.
- [6] Simonyan A.P. *Erevan: Ocherk istorii, ekonomiki i kul'tury goroda* [Yerevan: Essay on the history, economy and culture of the city]. Yerevan: Publishing house of the Yerevan State University, 1963, 516 p.
- [7] Gasparyan M.A. *Arkhitektura Erevana XIX — nachala XX veka* [Architecture of Yerevan XIX — early XX centuries]. Dis. Dr. [Architecture]. Yerevan: State University of Architecture and Construction, 2004.46 p.
- [8] Arutyunyan V.M., Asratyan M.M., Melikyan A.A. *Erevan: k 2750-letiyu goroda* [Yerevan: to the 2750th anniversary of the city]. Moscow: Stroyizdat, 1968, pp. 234–263.
- [9] Akopyan T.Kh. *Istoriya Erevana (1879–1917)* [History of Yerevan (1879–1917)]. Yerevan: Publishing house of the Yerevan State University, 1963, 490 p.
- [10] Grigoryan A.G., Tovmasyan M.L. *Arkhitektura Sovetskoy Armenii* [Architecture of Soviet Armenia]. Moscow: Stroyizdat, 1986, 320 p.
- [11] Khalpakhch'yan O.Kh. *Arkhitekturnye ansambli Armenii* [Architectural ensembles of Armenia]. Moscow: Iskusstvo [Art], 1980, 480 p.
- [12] Atoyan S.P., Arutyunyan L.V. *Ozelenenie dorog i ulits* [Greening of roads and streets]. Yerevan: Aypetrat, 1961, 93 p.
- [13] Grigoryan A.G. *Priroda i gorodskoy organizm (k voprosu sostavleniya proekta landshaftnoy organizatsii territorii goroda)* [Nature and the urban organism (on the issue of drafting the landscape organization of the city territory)]. *Materialy soveshchaniya «Priroda, gorod, chelovek»* [Proceedings of the meeting «Nature, city, man»]. Yerevan 13–14 June 1975. Yerevan, 1975, pp. 15–21.
- [14] Grigoryan A.G. *Proektirovanie gorodskogo landshafta na stadii razrabotki general'nogo plana goroda* [Urban landscape design at the stage of developing a master plan for the city]. Leningrad: Stroyizdat, 1977, pp. 30–34.
- [15] Yaralov Yu.S. *Erevan* [Yerevan]. Moscow: Publishing house of the USSR Academy of Architecture, 1943, 110 p.
- [16] Osipyan L.L., Sarkisyan K.Sh. *Istoriya ozeleneniya goroda Erevana* [The history of the greening of the city of Yerevan]. *Biologicheskii zhurnal Armenii* [Biological J. of Armenia], 2004, v. 56, no. 3–4, pp. 285–293.
- [17] Grigoryan A. *Landshaft sovremennogo goroda* [Landscape of the modern city]. Moscow: Stroyizdat, 1986, 134 p.
- [18] Vardanyan Zh.A., Ktrakyan S.K. *Ekologo-biologicheskie aspekty sochetaniya aborigennykh i introdutsirovannykh drevesnykh rasteniy, primenyaemykh v ozelenenii g. Erevana* [Ecological and biological aspects of the combination of aboriginal and introduced woody plants used in landscaping in Yerevan]. Yerevan: NAS of Armenia, 2019, v. 119, no. 4, pp. 345–352.
- [19] Arutyunyan L.V. *Drevesnye ekzoty Erevana* [Wood exotics of Yerevan]. *Byulleten' Botanicheskogo sada AN ArmSSR* [Bulletin of Botanical Garden of the Academy of Sciences of the Armenian SSR], 1961, t. 18, pp. 5–30.
- [20] *V Erevane stroitsya Kul'turnyy tsentr-muzey «Grant Matevosyan»* [Cultural center-museum «Hrant Matevosyan»]. Available at: <https://www.construction.am/rus/news/698-hrant-matevosyan-cultural-center-museum-in-yerevan/> (accessed 15.12.2020).

Authors' information

Leonova Valentina Alekseevna — Cand. Sci. (Agriculture), Associate Professor of the BMSTU (Mytishchi branch), leonovava@bk.ru

Vardanyan Kristina Karenovna — Cand. Sci. (Medicine), Associate Professor of the YSMU named after M. Geratsi, Deputy Director for Development of MNPO «Greening and Environmental Protection» of Yerevan, Kristina.vardkaren@gmail.com

Efremyan Levon Borisovich — Engineer Constructor of the Department of Landscape Architecture and Design of MNPO «Landscaping and Environmental Protection» of Yerevan, levone@yandex.com

Received 11.01.2021.

Accepted for publication 25.02.2021.

УДК 574.1

DOI: 10.18698/2542-1468-2021-3-93-102

СТРАТЕГИЯ ООН И ИНДИКАТОРЫ УСТОЙЧИВОСТИ ЭКОСИСТЕМ ДЛЯ СОХРАНЕНИЯ ГОРОДСКОГО БИОРАЗНООБРАЗИЯ МОСКВЫ

О.В. Чернышенко, В.А. Фролова, Л.П. Жданова

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

tchernychenko@mgul.ac.ru

Стратегия ООН по обеспечению устойчивого развития городов была рассмотрена с учетом разных подходов к оценке биоразнообразия, экосистемных услуг, антропогенных факторов и изменения климата. Для оценки биоразнообразия г. Москвы был использован индекс биоразнообразия городов или сингапурский индекс (СВИ), который состоит из трех основных разделов: 1) местное биоразнообразие, 2) экосистемные услуги и 3) управление. Для расчетов был выбран 21 индикатор. Каждый показатель имеет определенные критерии оценки с максимальным баллом в 4 балла. Для расчета индекса использовались данные Департамента природопользования и охраны окружающей среды города Москвы, литературные источники и результаты социальных опросов парков. Были рассчитаны индикаторы, которые включают в себя оценки особо охраняемых природных территорий, природных и озелененных территорий города, количество аборигенных и инвазивных видов растений, разнообразие птиц, бабочек и других видов.

Ключевые слова: биоразнообразие городов, сингапурский индекс, экосистемные услуги

Ссылка для цитирования: Чернышенко О.В., Фролова В.А., Жданова Л.П. Стратегия ООН и индикаторы устойчивости экосистем для сохранения городского биоразнообразия Москвы // Лесной вестник / Forestry Bulletin, 2021. Т. 25. № 3. С. 93–102. DOI: 10.18698/2542-1468-2021-3-93-102

Устойчивое развитие городов — одна из главных целей общемировой стратегии развития на период до 2030 г., принятой Генеральной Ассамблеей ООН в сентябре 2015 г. [1]. В документе указано, что для обеспечения устойчивого развития можно применять различные подходы, имеющиеся в распоряжении каждой страны, исходя из ее национальных условий и приоритетов, однако «планета Земля и ее экосистемы — это наш общий дом». В Цели 15 подчеркивается не только защита и восстановление экосистем суши, но и прекращение процесса утраты биоразнообразия. Утрата биологического разнообразия в XXI в вызывает серьезную озабоченность, и эта проблема постоянно обсуждается на уровне ООН и национальных институтов власти. Многие города мира имеют богатое биоразнообразие, которое обеспечивает широкий набор экосистемных услуг. Однако негативное воздействие урбанизации на городское биоразнообразие усиливается с каждым годом. Это загрязнение окружающей среды, изменение климата, увеличение запечатанных поверхностей, рост численности городского населения и др. Для оптимизации процесса устойчивого развития городов и охраны природы были предложены экосистемный подход и индекс биоразнообразия городов (The City Biodiversity Index, СВИ), известный как сингапурский индекс [2]. Он состоит из трех основных разделов: 1) местное биоразнообразие, 2) экосистемные услуги и 3) управление. Раздел по местному биоразнообразию представлен индикаторами, учитывающими количество аборигенных видов. Показатели

экосистемных услуг состоят из индикаторов оценки охлаждающего эффекта зелеными насаждениями и депонирования углерода. Для показателей управления используются индикаторы оценки управления биоразнообразием на уровне городов, размер бюджета для его сохранения, наличие местной стратегии и плана действий. Авторы индекса предлагают регулярно проводить на его основе оценки для мониторинга прогресса в деле сохранения городского биоразнообразия. Руководство пользователя рекомендует городам оценивать индекс биоразнообразия каждые три года. Индекс использовался как один из критериев оценки конкурса мировых столиц по программам сохранения биоразнообразия.

В концепции перехода Российской Федерации [3] к устойчивому развитию одной из главных задач является улучшение качества окружающей среды за счет экологизации экономической деятельности и экологически ориентированных методов управления. К глобальным вызовам экологической безопасности относится [4] сокращение биологического разнообразия, что влечет за собой необратимые последствия для экосистем, разрушая их целостность. Устойчивость развития крупнейших российских городов и мегаполисов напрямую зависит от характера и последовательности реализации политики муниципальных, региональных и национальных (федеральных) властей, а для городского жителя важны уникальные возможности, которые предоставляет природа (экосистемные услуги). Политика властей по поддержанию состояния экосистем и сохранению

Биоразнообразие определяет благополучие жителей современного крупнейшего города или мегаполиса. Качество жизни (прежде всего здоровья) горожан зависит от потенциала услуг, оказываемых не только собственно городскими экосистемами (например, зелеными насаждениями, парками и т. д.), но и экосистемами пригородных территорий.

В российских городах сохранились участки естественных лесов с достаточно высоким уровнем флористического богатства, включая виды Красной книги, редкие и красивоцветущие виды [5–11], прибрежные территории, леса, болота, озера, суходольные и заливные луга и др. В застроенных городских территориях долины рек и ручьев выполняют роль экологических коридоров.

Часто такие природные территории являются особо охраняемыми природными территориями (ООПТ) федерального, регионального или местного значения. Природные экосистемы в условиях мегаполисов являются ядрами биоразнообразия и выполняют также рекреационную функцию, испытывая огромную антропогенную нагрузку [12–14]. Поэтому для устойчивого развития городов необходимо использование природных территорий без потери биоразнообразия в широком значении этого понятия с учетом разнообразия видов, экосистем и ландшафтов, сохраняющих основу ООПТ.

В соответствии с международными конвенциями одна из ключевых задач управления природными территориями Москвы — это сохранение биоразнообразия. Озелененные территории Москвы занимают более 50 % площади города, выполняя природоохранные, средозащитные и рекреационные функции (рис. 1) [15]. Зеленый фонд города Москвы представляет собой совокупность территорий, занятых зелеными насаждениями и природными сообществами (рис. 2). Территории зеленого фонда города Москвы представлены особо охраняемыми природными территориями, особо охраняемыми зелеными территориями, природными, озелененными территориями и иными территориями, занятыми зелеными насаждениями. В границах города сохранены крупные лесные массивы, открытые русла малых рек, незастроенные участки поймы р. Москвы с лугами и болотами, несколько верховых и переходных болот, старинные парки (рис. 3).

Цель работы

Цель работы — рассчитать сингапурский индекс биоразнообразия (СВИ) для оценки возможностей сохранения природных видов флоры и фауны Москвы, предоставления экосистемных услуг и стратегий городского управления.

Материалы и методы

По официальным данным в черте города насчитывается 196 позвоночных видов животных, большая часть из них относится к редким. По своим защитно-гнездовым и кормовым качествам городские леса и некоторые участки речных долин практически не уступают загородным природным местообитаниям, здесь гнездятся и зимуют 255 видов птиц [16]. Флора Москвы состоит из более чем 1600 видов растений, из них 420 культивируемых видов, 460 — заносных и 730 видов аборигенной флоры. Москва занимает первое место по площади озелененных природных и рекреационных объектов на одного горожанина и 3 место по шаговой доступности рекреационных объектов среди 12 столиц мира. В городе под статусом ООПТ находится 122 природные территории, площадью около 17,9 тыс. га, а за последние 10 лет создано девять новых ООПТ площадью около 275 га.

Для оценки природного биоразнообразия Москвы в 2020 г. нами был выбран международный метод оценки — сингапурский индекс биоразнообразия (СВИ). Критерии биоразнообразия в данном индексе разделены на 25 индикаторов и включают в себя обоснование такого выбора, порядок расчета индикатора, место получения данных для расчетов, основу для оценки.

Природное биоразнообразие в городе оценивается следующими индикаторами: процент естественных/полуестественных природных площадей (1); разнообразие экосистем (2); степень фрагментации (3); число аборигенных видов (4–9); доля особо охраняемых природных территорий (10); доля инвазивных чужеродных видов (11).

Экосистемные услуги, предоставляемые природным биоразнообразием, включают в себя: услуги по предоставлению пресной воды (12); депонирование углерода (13); рекреационные и образовательные услуги (14–16).

Государственное руководство и управление биоразнообразием составляют: бюджетные средства, выделяемые на проекты по сохранению биоразнообразия (17); количество проектов и программ по биологическому разнообразию, организуемых в городе ежегодно (18); наличие местной стратегии сохранения биоразнообразия и плана действий (19); организационный потенциал (20, 21); участие и партнерство (22, 23); экологическое образование и информированность горожан (24, 25).

Для каждого индикатора выделяется максимум четыре балла, а для всех 25 индикаторов максимальная сумма баллов СВИ равна 100. Индекс можно применять в различных оценках, например

при планировании новых и реконструкции старых районов города.

Мы адаптировали подходы к оценке индекса СВИ к условиям Москвы и выбрали для расчетов только 21 индикатор. Количество максимальных баллов в нашей системе мониторинга, использующей систему оценки сингапурского индекса, составило всего лишь 64 балла. Индикаторы биоразнообразия:

1. Доля природных или полустественных территорий города (%).

Расчет индикатора: (общая площадь с природными и полустественными экосистемами / общая площадь города) \times 100. В природные и полустественные территории включены все территории, которые не являются сильно нарушенными или искусственными ландшафтами: городские леса, ООПТ, природные заказники регионального значения, природно-исторические парки, памятники природы, болота, естественные луга, ручьи, озера и т. д. Площадь Москвы 2561,5 км², площадь парков и городских лесов и восстановленных территорий 991,6 км². Ранговая оценка: 0 баллов — 0 %; 1 балл — 1...6 %; 2 балла — 7...13 %; 3 балла — 14...20 %; 4 балла — 21 % и более. Оценка индикатора — 4 балла.

2. Природные территории (%), находящиеся официально под юридической защитой города.

Расчет индикатора: (площадь охраняемых территорий с природными экосистемами/общая площадь города) \times 100. Площадь Москвы 2561,5 км², площадь ООПТ 179,2 км². Ранговая оценка: 0 баллов — 0 %; 1 балл — 1...4 %; 2 балла — 5...9 %; 3 балла — 10...19 %; 4 балла — 20 % и более. Показатель рассчитывается исходя из предпосылки, что реально любой город может обеспечить защиту максимум около 20 % своей городской площади. Оценка индикатора — 4 балла.

3. Участки города, относящиеся к различным категориям землепользования. Этот индикатор показывает, как различается богатство биоразнообразия в различных типах землепользования. Он используется в качестве инструмента планирования биоразнообразия для принятия решения о том, на какую категорию землепользования следует обратить внимание для повышения биоразнообразия.

Расчет индикатора. Были рассчитаны доли площади каждой категории землепользования от общей площади города и умножены на весовые коэффициенты от 0 до 3. Категория землепользования: А) площадь непроницаемой застройки; Б) антропогенной растительности и зеленых насаждений; С) природа — особо охраняемые природные территории и природные экосистемы; Д) искусственные водоемы; Е) природные водные объекты. Оценка индикатора — 2,6.



Рис. 1. Московский государственный объединенный художественный историко-архитектурный и природно-ландшафтный музей-заповедник «Коломенское — Измайлово — Люблино»

Fig. 1. Moscow State Integrated Art and Historical Architectural and Natural Landscape Museum-Reserve «Kolomenskoye — Izmailovo — Lublino»



Рис. 2. Природно-исторический парк «Покровское-Стрешнево»



Рис. 3. Парк Кузьминки

Fig. 3. Kuzminki Park

4. Количество аборигенных видов растений.

Расчет индикатора: проводился по количеству видов растений, которые можно найти в городах. Ранговая оценка: 0 баллов — 0 видов; 1 балл — 1...99 видов; 2 балла — 100...499 видов; 3 балла — 500...999 видов; 4 балла — 1000 видов и более. По данным Департамента природопользования и охраны окружающей среды города Москвы в городе зарегистрировано 1610 видов растений, аборигенных 730, культивируемых 420, заносных 460. К сожалению, неизвестно, сколько видов культивируемых растений является видами природной флоры Москвы, поэтому оценка индикатора — 3 балла.

5. Численность гнездящихся и зимующих птиц.

Расчет индикатора: по количеству зарегистрированных видов гнездящихся и зимующих птиц. Ранговая оценка: 0 баллов — 0 видов; 1 балл — 19...27 видов; 2 балла — 28...48 видов; 3 балла — 48...69 видов; 4 балла — 70 и более видов. Данные Департамента природопользования и охраны окружающей среды города Москвы за 2019 г. — 137 видов птиц [15], данные Атласа птиц Москвы за 2021 г. — 255 [16]. Оценка индикатора — 4.

6. Количество видов бабочек.

Расчет индикатора: по количеству зарегистрированных видов бабочек. Ранговая оценка: 0 баллов — 0 видов; 1 балл — 1...50 видов; 2 балла — 50...100 видов; 3 балла — 101...150 видов; 4 балла — 151 и более видов. Официальные данные мэра Москвы — около 200 видов бабочек обитают в городе [17]. Оценка индикатора — 4 балла.

7. Наблюдаемые виды млекопитающих природной флоры.

Расчет индикатора: по количеству зарегистрированных млекопитающих. Ранговая оценка: 0 баллов — сохранение количества видов природной флоры; 1 балл — 1 увеличение на один аборигенный вид; 2 балла — увеличение на 2 аборигенных вида; 3 балла — увеличение на 3 вида; 4 балла: 4+ увеличение видов. В Москве зарегистрировано 45 видов млекопитающих [15]. Это базовый первый уровень для дальнейших расчетов.

8. Наблюдаемые виды пресмыкающихся.

Расчет индикатора: по количеству зарегистрированных видов пресмыкающихся. Ранговая оценка: 0 баллов — сохранение количества видов природной флоры; 1 балл — увеличение на один аборигенный вид; 2 балла — увеличение на 2 аборигенных вида; 3 балла — увеличение на 3 вида; 4 балла — 4+ увеличение видов. В Москве зарегистрировано 4 вида пресмыкающихся [15]. Это базовый первый уровень для дальнейших расчетов.

9. Наблюдаемые виды земноводных.

Расчет индикатора: по количеству зарегистрированных видов земноводных. Ранговая оценка: 0 баллов — сохранение количества видов природной флоры; 1 балл — увеличение на один природный вид; 2 балла — увеличение на 2 вида природной флоры; 3 балла — увеличение на 3 вида; 4 балла — 4+ увеличение видов. В Москве зарегистрировано 10 видов земноводных [15]. Это базовый первый уровень для дальнейших расчетов.

10. Уровень распространения инвазивных чужеродных видов в городе.

Расчет индикатора: (количество инвазивных чужеродных видов/количество аборигенных видов) × 100. Ранговая оценка: 0 баллов — 31 % и более; 1 балл — 21...30 %; 2 балла — 11...20 %; 3 балла — 1...10 %; 4 балла — 0 %. Для Москвы и Московской области количество инвазивных видов составило 53 вида [18]. При расчете средняя величина — 5,9 % инвазивных видов по отношению к зарегистрированным аборигенным видам (1) и количеству аборигенных и заносных видов (2):

$$\frac{53}{730} \times 100 = 7,26 \% \quad (1)$$

$$\frac{53}{1190} \times 100 = 4,5 \% \quad (2)$$

Оценка индикатора — 3 балла.

11. Частота посещаемости жителями районов города общественных парков и охраняемых территорий.

Расчет индикатора: по количеству посещений в год на одного человека. Ранговая оценка: 0 баллов — 0 посещений/год; 1 балл — 1...10 посещений/год; 2 балла — 11...50 посещений/год (почти раз в неделю); 3 балла — 51...100 посещений/год; 4 балла — более 100 посещений/год. Потенциальная посещаемость в год в ГАУК г. Москвы «Парк «Зарядье» (рис. 4) оценивается в 13 864 536 посещений/год с учетом повторных посещений [19]. Общее количество человек, посетивших территорию Национального парка «Лосиный остров» в целях туризма и отдыха, включая посетителей в организованных группах, посетителей музеев, визит-центров, демонстрационных вольерных комплексов, экспозиций живых растений и иных объектов, расположенных на территории парка, составляет 55 772. Оценка индикатора — 4 балла.

12. Частота посещаемости детьми (<16 лет) парков с образовательными экскурсиями.

Расчет индикатора: по количеству посещений в год. Биоразнообразие предоставляет рекреационные и образовательные услуги и очень важно, чтобы дети на прогулках и отдыхе получали зна-

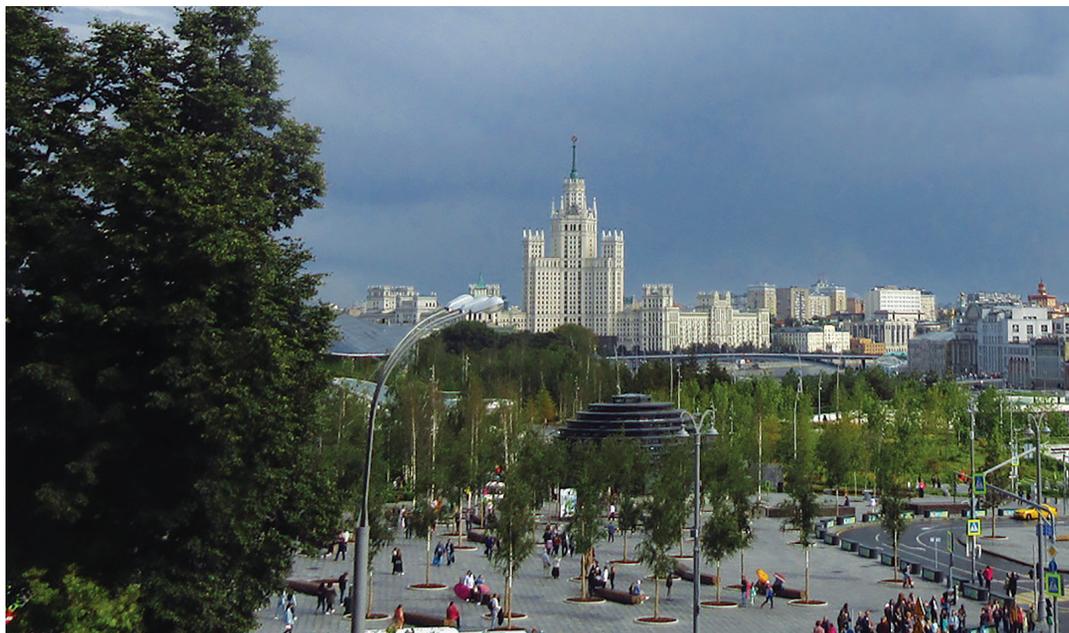


Рис. 4. Парк Зарядье
Fig. 4. Zaryadye Park

ния о природе, расширяли экологическое мировоззрение, проявляли любовь к природе и Родине. Ранговая оценка: 0 точка — 0 визитов/год; 1 балл — 1 визит/год; 2 балла — 2 посещения в год; 3 балла — 3 посещения в год; 4 балла — 4 и более посещения в год. Нами взяты официальные данные опроса посетителей «Парка им. Горького», где проводились официальные исследования, результат опроса — дети посещают парк регулярно. Статистика Национального парка «Лосиный остров» за 2019 г. — 1750 посещений детских мероприятий. Оценка индикатора — 4 балла.

13. Размеры парковой зоны, доступной для посещения горожанами.

Расчет индикатора: по площади парков и особо охраняемых природных территорий/население города. Ранговая оценка: 0 баллов — 0 га/чел.; 1 балл — 0,1...0,3 га/чел.; 2 балла — 0,4...0,6 га/чел.; 3 балла — 0,7...0,9 га/чел.; 4 балла — 1 и более га/чел. С привлечением данных Департамента природопользования и охраны окружающей среды города Москвы [15], оценка индикатора составила 4 балла.

14. Количество жителей города, проживающих на расстоянии 300 м от парка или доступной природной/полуестественной зоны.

Расчет индикатора: по количеству жителей, проживающих в шаговой доступности от общественных парков. Ранговая оценка: 0 баллов — менее 20 %; 1 балл — 20...40 %; 2 балла — 40...60 %; 3 балла — 60...80 %; 4 балла — 80 % и более. Москва занимает первое место по площади озелененных природных и рекреационных объектов на душу населения среди 12 городов

сравнения, таких как Нью-Йорк, Пекин, Лондон и другие, при этом около 90 % населения имеют доступ к таким территориям в шаговой доступности [15]. Оценка индикатора — 4 балла.

15. Мероприятия по информированию общественности и повышению осведомленности о биоразнообразии, проводимые в городе ежегодно.

Расчет индикатора: по количеству мероприятий о городском биоразнообразии в год. Ранговая оценка: 0 баллов — 0 проектов (программ) в год; 1 балл — 1...20 в год; 2 балла — 21...50 в год; 3 балла — 51...100 в год; 4 балла — более 100. В Москве за 1 день проходит более восьми экологических мероприятий (например, 20.11.2020 г. проведено по информации с официального сайта Департамента природопользования города Москвы). Другой пример, специалисты Мосприроды подготовили с 29 марта по 2 апреля 2021 г. специальную программу с проведением более 30 бесплатных эколого-просветительских занятий, приуроченных к Международному дню птиц. Поэтому в год всегда проходит больше 100 мероприятий. Оценка индикатора — 4 балла.

16. Государственные учреждения, координирующие участие в проектах по вопросам биоразнообразия.

Расчет индикатора: количество агентств, координирующих работу по биоразнообразию. Ранговая оценка: 0 баллов — отсутствие координации; 1 балл — по крайней мере, два агентства координируют свои действия по вопросам биоразнообразия; 2 балла — по крайней мере, три агентства координируют свои действия по вопросам биоразнообразия; 3 балла — по крайней

мере четыре агентства; 4 балла — не менее пяти агентств координируют работу по вопросам биоразнообразия. В нашем городе таких учреждений более пяти: ФГБУН «Главный ботанический сад им. Н.В. Цицина РАН», Ботанический сад Биологического факультета МГУ им. М.В. Ломоносова, Мичуринский сад РГАУ — МСХА им. К.А. Тимирязева, Ботанический сад им. П.И. Травникова, Государственный биологический музей имени К.А. Тимирязева, Научно-исследовательский Зоологический музей МГУ им. М.В. Ломоносова и др. Оценка индикатора — 4 балла.

17. Объем бюджета города, расходующийся на проекты в области биоразнообразия.

Расчет индикатора: (сумма, потраченная на проекты, связанные с биоразнообразием/общий бюджет города) \times 100. Ранговая оценка: 0 баллов — 0 %; 1 балл — 1 %; 2 — 2 %, 3 — 3 %, 4 балла — более 3 %. Проекты по сохранению биоразнообразия проходят ежегодно. Для каждой ООПТ города создан паспорт с данными по количеству видов природной флоры, редких растений и животных Красной книги, показателями экологического состояния природной территории. Работает Экспертный совет по сохранению, планированию и развитию особо охраняемых природных территорий, природных и озелененных территорий города Москвы, проводятся конкурсы на лучший проект в области экологического образования и просвещения и др.

18. Наличие в городе постоянного процесса общественных консультаций по вопросам, связанным с биоразнообразием.

Расчет индикатора: наличие или отсутствие формального или неформального процесса консультаций по вопросам, связанным с биоразнообразием. Ранговая оценка: 0 баллов — нет процесса; 1 — возможность консультаций рассматривается; 2 балла — процесс запланирован; 3 балла — консультации в процессе организации; 4 балла — процесс существует. Активно функционирует Экспертный совет по сохранению, планированию и развитию особо охраняемых природных территорий, природных и озелененных территорий города Москвы. В него входят представители Москомархитектуры, ГУП «НИИПИ Генплана города Москвы», ВНИИ природы, ГБС РАН, Московское объединение ландшафтных архитекторов, МФ МГТУ им. Н.Э. Баумана, МГУ имени М.В. Ломоносова и др. Оценка индикатора — 4 балла.

19. Количество агентств, частных компаний — партнеров по проектам и программам, связанным с биоразнообразием, на основе письменных договорных соглашений.

Расчет индикатора: число учреждений (частных компаний, НПО), с которыми городские власти сотрудничают в рамках мероприятий, проек-

тов или программ в области биоразнообразия. Ранговая оценка: 0 баллов — отсутствие формальных/неформальных партнерств; 1 балл — город в партнерстве как минимум с одним другим агентством (частной компанией, НПО); 2 балла — город в партнерстве как минимум с двумя другими агентствами (частными компаниями, НПО); 3 балла — город в партнерстве как минимум с тремя другими агентствами (частными компаниями, НПО); 4 балла — город в партнерстве как минимум с четырьмя другими агентствами (частными компаниями, НПО). В 2013 г. создан Общественный экологический совет при Департаменте природопользования и охраны окружающей среды города Москвы, который активно сотрудничает с представителями общественных экологических организаций, научных и образовательных учреждений, экспертного сообщества в целях принятия оптимальных решений в сфере охраны окружающей среды и природопользования, в том числе по вопросам сохранения биоразнообразия с учетом мнения жителей столицы. Оценка индикатора — 4 балла.

20. Разнообразие экосистем в соответствии с определением Конвенции о биологическом разнообразии.

Расчет индикатора: количество природных экосистем, которое дает представление о разнообразии ниш для городской флоры и фауны. При расчете этого показателя могут быть рассчитаны леса, пресноводные болота, торфяные болота, естественные луга, реки, ручьи, озера, скалистые берега, песчаные дюны и др. Предположительно, любой город может вместить около 10 природных экосистем в своих границах. Ранговая оценка: 0 баллов — 0 естественных экосистем; 1 балл — 1...3 экосистемы; 2 балла — 4...6 экосистемы; 3 балла — 7...9 экосистем; 4 балла — 10 и более экосистем. в Москве более 10 экосистем. Оценка индикатора — 4 балла.

21. Пресноводные услуги.

Расчет индикатора: пресная вода необходима для выживания горожан. Хороший лесной покров в водосборных зонах обеспечивает экосистемные услуги по очистке воды. Если город не затрачивает денежные средства на очистку или фильтрацию воды, то экосистемные услуги пресноводного водосбора хорошего качества. Ранговая оценка: 0 баллов — астрономическая стоимость, т. е. неэкономичная. 1 балл — высокая стоимость; 2 балла — средняя; 3 балла — низкая; 4 балла — бесплатно. Для расчета используется показатель затрат на замещение услуг водосбора на душу населения. Стоимость очистки воды официально составляет в Москве 17 руб. за 1 м³ отведения ливневых вод, что дешево по сравнению с США — 4 долл. (912 руб., т. е. в 4 раза больше).

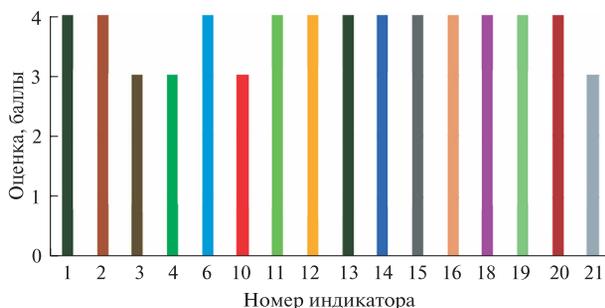


Рис. 5. Оценки индикаторов индекса биоразнообразия городов (CBI) для Москвы

Fig. 5. Estimates of the Urban Biodiversity Index (CBI) indicators for Moscow

Результаты и обсуждение

Все оценки индикаторов представлены на рис. 5. Сингапурский индекс (CBI) охватывает широкий спектр вопросов сохранения биоразнообразия в городах и оценивает программу действий городских правительств. По состоянию на 2020 г. база данных Центра городского биоразнообразия (Urban Biodiversity Hub) [20, 21] содержит список 189 городских муниципалитетов на шести континентах, которые опубликовали подходы, принимаемые правительствами для поощрения и измерения городского биоразнообразия, планы и отчеты о уже реализованных проектах. Большинство городов для оценки национального биоразнообразия использовала индикаторы от 1 до 10, которые включают в себя оценки природных зон, их состояния и особенностей фрагментации, присутствия видов (как аборигенных, так и инвазивных) [22]. Много городских планов связано с природными территориями, где были запланированы «пространства биоразнообразия», например Париж, «устойчивость тростниковых зарослей по берегам рек» в Берлине, «поддержание городских лугов» в Глазго. Проблемы решения нехватки данных о видах были решены с использованием показателей землепользования, которые дают информацию о состоянии экосистем и коррелируют с биоразнообразием [23, 24]. Количество видов было определено по частоте встречаемости и в пределах определенной категории, например, растения, морские таксоны или птицы. Однако использование простых показателей как количество видов для оценки биоразнообразия нельзя считать единственным и точным. Использование уже имеющихся списков видов растений и животных не показывает изменения биоразнообразия во времени, особенно в городской среде под влиянием усиления антропогенных факторов. Важно помнить, что успешность экосистемных услуг природных территорий и зеленых насаждений города зависит от сохранения биоразнообразия [25, 26], которое следует учитывать в практике управления городами.

Выводы

Расчеты по Индексу биоразнообразия Москвы (CBI) показывают, что городское руководство имеет понимание, как сохранить природное биоразнообразие на практике. Необходимы дополнительные исследования эффективности конкретных действий правительства города, выбор новых показателей для сопоставимости данных результатов через несколько лет в целях прекращения утраты биоразнообразия для будущих поколений.

Список литературы

- [1] Resolution adopted by the General Assembly on 25 September 2015. The General Assembly. Adopts the following outcome document of the United Nations summit for the adoption of the post-2015 development agenda: Transforming our world: the 2030 Agenda for Sustainable Development, 2015, 35 p. URL: https://www.un.org/en/development/desa/population/migration/generalassembly/docs/globalcompact/A_RES_70_1_E.pdf (дата обращения 29.03.2021).
- [2] SCBD (Secretariat of the Convention on Biological Diversity). User's manual for the City Biodiversity Index (CBI), SCBD, 2010. URL: <https://www.cbd.int/doc/meetings/city/subws-2014-01/other/subws-2014-01-singapore-index-manual-en.pdf> (дата обращения 29.03.2021).
- [3] О Концепции перехода Российской Федерации к устойчивому развитию. URL: <http://docs.cntd.ru/document/9017665> (дата обращения 29.03.2021).
- [4] О Стратегии экологической безопасности Российской Федерации на период до 2025 года. URL: <https://www.garant.ru/products/ipo/prime/doc/71559074/#review> (дата обращения 29.03.2021).
- [5] Дзама Е.Д., Савватеева О.А. Создание особо защитных участков леса (ОЗУЛ) как один из способов сохранения биоразнообразия (на примере г. Дубна Московской области) // Междунар. журн. прикладных и фундаментальных исследований, 2012. № 1. С. 87–89.
- [6] Евсеева А.А., Константинов Е.Л. Видовое богатство и адвентизация как критерии устойчивости остаточных урбофитоценозов // Экология урбанизированных территорий, 2014. № 1. С. 54–58.
- [7] Раппопорт А.В., Ефимов С.В. Критерии эффективности управления Зеленым фондом г. Москвы // Проблемы озеленения крупных городов. Сборник материалов XVII Междунар. науч.-практ. конф., Москва, 24–25 августа 2016 г. М.: ВДНХ, 2016. С. 106–111.
- [8] Воронов Л.Н. Опыт анализа биоразнообразия орнитофауны лесопарка «Роща Гузовского» города Чебоксары // Естественнонаучные исследования в Чувашии, 2016. № 3. С. 53–57.
- [9] Лисова О.С., Григорьевская А.Я., Якименко О.В., Прохорова Н.Л. Охраняемые территории как «ядра» рекреационного каркаса Воронежской городской агломерации // Лесотехнический журнал, 2016. Т. 6. № 1 (21). С. 93–104.
- [10] Попова А.А., Попова В.Т., Карпеченко И.Ю., Карпеченко Н.А. Влияние урбанизации и антропогенной нагрузки на биоразнообразие почвенного покрова дубрав г. Воронежа и Воронежской области // Тр. Санкт-Петербургского научно-исследовательского института лесного хозяйства, 2019. № 4. С. 72–87.

- [11] Дебелая И.Д., Морозова Г.Ю. Городские особо охраняемые природные территории в зеленой инфраструктуре города Хабаровска // Теоретическая и прикладная экология, 2020. № 3. С. 203–209.
- [12] Макеева В.М., Смулов А.В. Эколого-генетическая диагностика состояния и методы восстановления популяций животных городских особо охраняемых природных территорий (на примере модельных видов в городе Москве) // Научные ведомости Белгородского государственного университета. Серия: Естественные науки, 2011. № 3 (98). С. 104–110.
- [13] Бойко В.М., Маршалкович А.С. Проблемы развития экологических сетей крупных городов на примере Москвы // Строительство: наука и образование, 2014. № 3. С. 3.
- [14] Соловьев С.А., Мунайдарова А.Ж., Швидко И.А. Современный облик биоразнообразия птиц ООПТ природный парк «Птичья гавань» центра города Омска // Науч. тр. Государственного природного заповедника «Присурский», 2015. Т. 30. № 1. С. 240–244.
- [15] Доклад «О состоянии окружающей среды в городе Москве в 2019 году» / под ред. А. О. Кульбачевского. М., 2020. 222 с.
- [16] Калякин М.В., Волцит О.В., Куркамп Х. Гроот Атлас птиц города Москвы. М.: Фитон XXI, 2014. 332 с.
- [17] Официальный сайт Мэра Москвы. URL: <https://www.mos.ru/> (дата обращения 29.03.2021).
- [18] Виноградова Ю.К., Майоров С.Р., Хорун Л.В. Черная книга флоры Средней России: чужеродные виды растений в экосистемах Средней России. М.: Геос, 2010. 512 с.
- [19] Социокультурная концепция и финансовая модель. Этап 4–3. М.: Ситимэйкерс, 2017. 258 с.
- [20] Urban Biodiversity Hub (UBHub) Update: Trends in Municipal Urban Biodiversity Efforts, 2020. URL: <https://www.ubhub.org/news> (дата обращения 29.03.2021).
- [21] United Nations. 2018 revision of world urbanization prospects. Geneva: United Nations, 2018. URL: <https://population.un.org/wup/Publications/Files/WUP2018-Report.pdf> (дата обращения 29.03.2021).
- [22] Pierce J.R., Barton M.A., Tan M.M.J., Oertel G., Halder M.D., Lopez-Guijosa P.A. Actions, indicators, and outputs in urban biodiversity plans: A multinational analysis of city practice // PLoS ONE, 2020, v. 15, no. 7. URL: <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0235773> (дата обращения 29.03.2021).
- [23] Uchiyama Y., Hayashi K., Kohsaka R. Typology of cities based on City Biodiversity Index: Exploring biodiversity potentials and possible collaborations among Japanese cities // Sustainability, 2015, v. 7, no. 10, pp. 14371–14384. DOI: 10.3390/su71014371
- [24] Kohsaka R., Uchiyama Y. Motivation, strategy and challenges of conserving urban biodiversity in local contexts: Cases of 12 municipalities in Ishikawa, Japan // Procedia Engineering, 2017, v. 198, pp. 212–218. URL: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1877705817329296> (дата обращения 29.03.2021).
- [25] Jax K., Heink U. Searching for the place of biodiversity in the ecosystem services discourse // Biol. Conserv. 2015, v. 191, pp. 198–205. URL: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0006320715002554> (дата обращения 29.03.2021).
- [26] Deslauriers M.R., Asgary A., Nazarnia N., Jaeger J.A.G. Implementing the connectivity of natural areas in cities as an indicator in the City Biodiversity Index (CBI) // Ecol. Indicators, 2018, v. 94, no. 2, pp. 99–113. DOI: 10.1016/j.ecolind.2017.02.028

Сведения об авторах

Чернышенко Оксана Васильевна — д-р биол. наук, профессор кафедры «Ландшафтная архитектура и садово-парковое строительство» МГТУ им. Н.Э. Баумана (Мытищинский филиал), tchernyuchenko@mgul.ac.ru

Фролова Вера Алексеевна — канд. с.-х. наук, доцент, зав. кафедрой «Ландшафтная архитектура и садово-парковое строительство» МГТУ им. Н.Э. Баумана (Мытищинский филиал), frolova@mgul.ac.ru

Жданова Лина Павловна — магистрант кафедры «Ландшафтная архитектура и садово-парковое строительство» МГТУ им. Н.Э. Баумана (Мытищинский филиал), relicspb@gmail.com

Поступила в редакцию 2021.

Принята к публикации 2021.

UN STRATEGY AND ECOSYSTEM SUSTAINABILITY INDICATORS FOR PRESERVING MOSCOW'S URBAN BIODIVERSITY

O.V. Chernyshenko, V.A. Frolova, L.P. Zhdanova

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

tchernyshenko@mgul.ac.ru

The UN Strategy for Sustainable Urban Development was analyzed taking into account different approaches to assessing biodiversity, ecosystem services, anthropogenic factors and climate change. The City Biodiversity Index or Singapore Index on City Biodiversity (CBI) was used to assess the biodiversity of Moscow. The Singapore index comprises three core sections: 1) native biodiversity, 2) ecosystem services, and 3) governance. 21 indicators have been selected. Each indicator has specific evaluation criteria with a maximum score of 4 points. Data from the Department of Nature Management and Environmental Protection of the City of Moscow, literature sources and the results of social surveys of parks were used to calculate the index. Indicators including estimates of specially protected natural areas, natural and green areas of the city, the number of native and invasive plant species, the diversity of birds, butterflies and other species were calculated.

Keywords: City biodiversity, Singapore index, ecosystem services

Suggested citation: Chernyshenko O.V., Frolova V.A., Zhdanova L.P. *Strategiya OON i indikatory ustoychivosti ekosistem dlya sokhraneniya gorodskogo bioraznoobraziya Moskvy* [UN strategy and ecosystem sustainability indicators for preserving Moscow's urban biodiversity]. *Lesnoy vestnik / Forestry Bulletin*, 2021, vol. 25, no. 3, pp. 93–102. DOI: 10.18698/2542-1468-2021-3-93-102

References

- [1] Resolution adopted by the General Assembly on 25 September 2015. The General Assembly. Adopts the following outcome document of the United Nations summit for the adoption of the post-2015 development agenda: Transforming our world: the 2030 Agenda for Sustainable Development, 2015, 35 p. Available at: https://www.un.org/en/development/desa/population/migration/generalassembly/docs/globalcompact/A_RES_70_1_E.pdf (accessed 29.03.2021).
- [2] SCBD (Secretariat of the Convention on Biological Diversity). User's manual for the City Biodiversity Index (CBI), SCBD, 2010. Available at: <https://www.cbd.int/doc/meetings/city/subws-2014-01/other/subws-2014-01-singapore-index-manual-en.pdf> (accessed 29.03.2021).
- [3] *O Kontseptsii perekhoda Rossiyskoy Federatsii k ustoychivomu razvitiyu* [On the Concept of the Russian Federation's Transition to Sustainable Development]. Available at: <http://docs.cntd.ru/document/9017665> (accessed 03/29/2021).
- [4] *O Strategii ekologicheskoy bezopasnosti Rossiyskoy Federatsii na period do 2025 goda* [On the Environmental Safety Strategy of the Russian Federation for the period up to 2025]. Available at: <https://www.garant.ru/products/ipo/prime/doc/71559074/#review> (accessed 03/29/2021).
- [5] Dzama E.D., Savvateeva O.A. *Sozdanie osobo zashchitnykh uchastkov lesa (OZUL) kak odin iz sposobov sokhraneniya bioraznoobraziya (na primere g. Dubna Moskovskoy oblasti)* [Creation of specially protected forest areas (OZUL) as one of the ways to preserve biodiversity (on the example of Dubna, Moscow region)]. *Mezhdunarodnyy zhurnal prikladnykh i fundamental'nykh issledovaniy* [International J. of Applied and Fundamental Research], 2012, no. 1, pp. 87–89.
- [6] Evseeva A.A., Konstantinov E.L. *Vidovoe bogatstvo i adventizatsiya kak kriterii ustoychivosti ostatochnykh urbofitotsenozov* [Species richness and adventitization as criteria for the sustainability of residual urban phytocenoses]. *Ekologiya urbanizirovannykh territoriy* [Ecology of urbanized territories], 2014, no. 1, pp. 54–58.
- [7] Rappoport A.V., Efimov S.V. *Kriterii effektivnosti upravleniya Zelenym fondom g. Moskvy* [Criteria for the effectiveness of management of the Green Fund of Moscow]. *Problemy ozeleneniya krupnykh gorodov. Sbornik materialov XVII mezhdunarodnoy nauchno-prakticheskoy konferentsii* [Problems of greening large cities. Collection of materials of the XVII international scientific-practical conference], Moscow, August 24-25, 2016. Moscow: VDNKh, 2016, pp. 106–111.
- [8] Voronov L.N. *Opyt analiza bioraznoobraziya ornitofauny lesoparka «Roshcha Guzovskogo» goroda Cheboksary* [The experience of analyzing the biodiversity of the avifauna of the forest park «Grove of Guzovsky» in the city of Cheboksary]. *Estestvennonauchnye issledovaniya v Chuvashii* [Natural science research in Chuvashia], 2016, no. 3, pp. 53–57.
- [9] Lisova O.S., Grigor'evskaya A.Ya., Yakimenko O.V., Prokhorova N.L. *Okhranyaemye territorii kak «yadra» rekreatsionnogo karkasa Voronezhskoy gorodskoy aglomeratsii* [Protected areas as the «core» of the recreational framework of the Voronezh urban agglomeration]. *Lesotekhnicheskii zhurnal* [Forestry Journal], 2016, t. 6, no. 1 (21), pp. 93–104.
- [10] Popova A.A., Popova V.T., Karpechenko I.Yu., Karpechenko N.A. *Vliyanie urbanizatsii i antropogennoy nagruzki na bioraznoobraziye napochvennogo pokrova dubrav g. Voronezha i Voronezhskoy oblasti* [The influence of urbanization and anthropogenic load on the biodiversity of the ground cover of oak forests in Voronezh and the Voronezh region]. *Trudy Sankt-Peterburgskogo nauchno-issledovatel'skogo instituta lesnogo khozyaystva* [Proceedings of the St. Petersburg Scientific Research Institute of Forestry], 2019, no. 4, pp. 72–87.
- [11] Debelaya I.D., Morozova G.Yu. *Gorodskie osobo okhranyaemye prirodnye territorii v zelenoy infrastrukture goroda Khabarovska* [Urban specially protected natural areas in the green infrastructure of the city of Khabarovsk]. *Teoreticheskaya i prikladnaya ekologiya* [Theoretical and Applied Ecology], 2020, no. 3, pp. 203–209.
- [12] Makeeva V.M., Smurov A.V. *Ekologo-geneticheskaya diagnostika sostoyaniya i metody vosstanovleniya populyatsiy zhivotnykh gorodskikh Osobo Okhranyaemykh Prirodnykh Territoriy (na primere model'nykh vidov v gorode Moskve)* [Ecological and genetic diagnostics of the state and methods of restoration of animal populations in urban Specially Protected Natural Areas (on the example of model species in the city of Moscow)]. *Nauchnye vedomosti Belgorodskogo gosudarstvennogo universiteta. Seriya: Estestvennye nauki* [Scientific Bulletin of Belgorod State University. Series: Natural Sciences], 2011, no. 3 (98), pp. 104–110.

- [13] Boyko V.M., Marshalkovich A.S. *Problemy razvitiya ekologicheskikh setey krupnykh gorodov na primere Moskvy* [Problems of the development of ecological networks in large cities on the example of Moscow]. Stroitel'stvo: nauka i obrazovanie [Construction: Science and Education], 2014, no. 3, p. 3.
- [14] Solov'ev S.A., Munaydarova A.Zh., Shvidko I.A. *Sovremennyy oblik bioraznoobraziya ptits OOPT prirodnyy park «Ptich'ya gavan'» tsentra goroda Omska* [The modern appearance of the biodiversity of birds in the specially protected natural park «Bird harbor» in the center of the city of Omsk]. Nauchnye trudy Gosudarstvennogo prirodnogo zapovednika «Prisurskiy» [Scientific works of the State Natural Reserve «Prisurskiy»], 2015, v. 30, no. 1, pp. 240–244.
- [15] *Doklad «O sostoyanii okruzhayushchey sredy v gorode Moskve v 2019 godu»* [Report «On the state of the environment in the city of Moscow in 2019»]. Ed. A.O. Kulbachevsky. Moscow, 2020, 222 p.
- [16] Kalyakin M.V., Voltsit O.V., Kurkamp Kh. *Groot Atlas ptits goroda Moskvy* [Groot Atlas of birds of the city of Moscow]. Moscow: Fiton XXI, 2014, 332 p.
- [17] *Ofitsial'nyy sayt Mera Moskvy* [Official site of the Mayor of Moscow]. Available at: <https://www.mos.ru/> (accessed 29.03.2021).
- [18] Vinogradova Yu.K., Mayorov S.R., Khorun L.V. *Chernaya kniga flory Sredney Rossii: chuzherodnye vidy rasteniy v ekosistemakh sredney Rossii* [Black Book of Flora of Central Russia: Alien Plant Species in Ecosystems of Central Russia]. Moscow: Geos, 2010, 512 p.
- [19] *Sotsiokul'turnaya kontseptsiya i finansovaya model'. Etap 4–3* [Sociocultural concept and financial model. Stage 4–3]. Moscow: Citymakers, 2017, 258 p.
- [20] Urban Biodiversity Hub (UBHub) Update: Trends in Municipal Urban Biodiversity Efforts, 2020. Available at: <https://www.ubhub.org/news> (accessed 29.03.2021).
- [21] United Nations. 2018 revision of world urbanization prospects. Geneva: United Nations, 2018. Available at: <https://population.un.org/wup/Publications/Files/WUP2018 – Report.pdf> (accessed 29.03.2021).
- [22] Pierce J.R., Barton M.A., Tan M.M.J., Oertel G., Halder M.D., Lopez-Guijosa P.A. Actions, indicators, and outputs in urban biodiversity plans: A multinational analysis of city practice. PLoS ONE, 2020, v. 15, no. 7. Available at: <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0235773> (accessed 29.03.2021).
- [23] Uchiyama Y., Hayashi K., Kohsaka R. Typology of cities based on City Biodiversity Index: Exploring biodiversity potentials and possible collaborations among Japanese cities. Sustainability, 2015, v. 7, no. 10, pp. 14371–14384. DOI: 10.3390/su71014371
- [24] Kohsaka R., Uchiyama Y. Motivation, strategy and challenges of conserving urban biodiversity in local contexts: Cases of 12 municipalities in Ishikawa, Japan. Procedia Engineering, 2017, v. 198, pp. 212–218. Available at: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1877705817329296> (accessed 29.03.2021).
- [25] Jax K., Heink U. Searching for the place of biodiversity in the ecosystem services discourse. Biol. Conserv. 2015, v. 191, pp. 198–205. Available at: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0006320715002554> (accessed 29.03.2021).
- [26] Deslauriers M.R., Asgary A., Nazarnia N., Jaeger J.A.G. Implementing the connectivity of natural areas in cities as an indicator in the City Biodiversity Index (CBI). Ecol. Indicators, 2018, v. 94, no. 2, pp. 99–113. DOI: 10.1016/j.ecolind.2017.02.028

Authors' information

Chernyshenko Oksana Vasil'evna — Dr. Sci. (Biology), Professor of the Department of Landscape Architecture and Garden and Park Construction of the BMSTU (Mytishchi branch), tchernychenko@mgul.ac.ru

Frolova Vera Alekseevna — Cand. Sci. (Agriculture), Associate Professor, Head of the Department of Landscape Architecture and Garden and Park Construction of the BMSTU (Mytishchi branch), frolova@mgul.ac.ru

Zhdanova Lina Pavlovna — Master graduand of the Department of Landscape Architecture and Garden and Park Construction of the BMSTU (Mytishchi branch), relicspb@gmail.com

Received 2021.

Accepted for publication 2021.

ИССЛЕДОВАНИЕ ЗНАЧЕНИЯ САДОВОГО КОЛЬЦА В РАДИАЛЬНО-КОЛЬЦЕВОЙ ПЛАНИРОВКЕ МОСКВЫ, ТИПОЛОГИИ ОЗЕЛЕНЕНИЯ И НОРМАТИВНЫХ БАЛАНСОВЫХ ПОКАЗАТЕЛЕЙ

П.В. Копылов

ООО «М4», г. Москва, ул. Макаренко, д. 5, стр. 1а, оф. 2

poulkopylov@gmail.com

Рассмотрена современная динамика развития Садового кольца с учетом осуществления государственной программы капитального ремонта «Моя улица» г. Москвы. Приведено деление магистрали на сегменты и отдельные элементы благоустройства и озеленения с последующим сравнением их балансных показателей. Проанализирован положительный опыт строительства и дана оценка возможностей его применения для развития аналогичных городских территорий. Получены значения неравномерности озеленения Садового кольца и представлен анализ нормативного балансового показателя озеленения. Показана важность дополнения и актуализации нормативного показателя, учета равномерности озеленения на городских объектах. Применение нормативного показателя озеленения является актуальным для создания минимально достаточных площадных значений комфортной городской среды.

Ключевые слова: озеленение Садового кольца 2015–2017, «Моя улица», баланс озеленения улиц

Ссылка для цитирования: Копылов П.В. Исследование значения Садового кольца в радиально-кольцевой планировке Москвы, типологии озеленения и нормативных балансовых показателей // Лесной вестник / Forestry Bulletin, 2021. Т. 25. № 3. С. 103–110. DOI: 10.18698/2542-1468-2021-3-103-110

Цель работы

Цель работы — оценка равномерности проведенных озеленительных работ в результате разработки типологии озеленения крупной магистральной улицы и выявления полных балансовых характеристик сегментов объекта, выявление достаточности нормативной базы для комплексных территорий по анализу показателей озеленения.

Методы исследования

При проведении работ применялись натурные методы определения количественных характеристик элементов озеленения и аналитические методы исследования проектных материалов, данных картографии, спутниковых снимков и панорамных фотоизображений. Благодаря разработанной системе типологии и систематизации проведен анализ нормативных показателей озеленения. Полученные данные обобщались и сравнивались с имеющимися графическими и табличными материалами.

Исследование сравнительно современного объекта благоустройства и озеленения — Садового кольца (2015–2017) может оказать содействие при актуализации нормативных регламентов, обозначить положительный опыт проектирования, который можно применить к аналогичным объектам ландшафтной архитектуры.

Садовое кольцо в радиально-кольцевой планировке Москвы. Радиально-кольцевая планировка Москвы сложилась исторически, расходясь кругами от центра (рис. 1) [1–3].

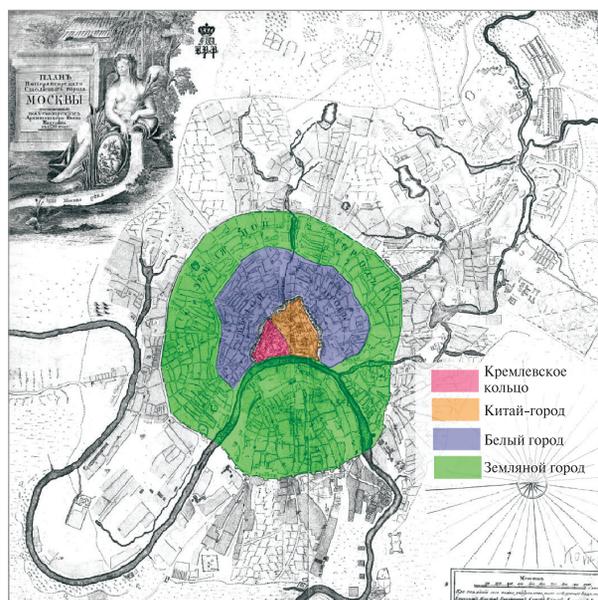


Рис. 1. Исторические кольца Москвы на основе плана Москвы XVIII в. (на основе Мичуринского плана 1739 г.)

Fig. 1. Historical rings of Moscow based on the Moscow plan of the 18th century (based on the Michurin plan of 1739)

Начало было положено с древнейшего Кремлевского кольца, далее в порядке движения от центра образовался район Китай-города с Китайгородской стеной, частично сохранившейся до наших дней, потом Белый город, по границам которого прошло современное Бульварное кольцо, Земляной город, или Деревянный город, с современным Садовым кольцом. Последними «укреплениями» Москвы в виде таможенной границы был не сохранившийся до наших дней

Динамика развития кольцевой планировки Москвы

The dynamics of the ring layout of Moscow development

Наименование объекта	Время создания	Протяженность, км
Кремль и Кремлевское кольцо	XI в.	–
Китай-город и Китайгородская стена	1530-е годы	–
Белый город (по его границам проходит современное Бульварное кольцо)	Конец XVI в.	–
Бульварное кольцо, или Кольцо А (не замкнуто, имеет форму подковы; кольцо разрывается на участке от Пречистенской наб. до ул. Пятницкой) [4]	Конец XVIII — начало XIX в.	9
Земляной город, или Деревянный город, или «Скородом» (по его границе проходит современное Садовое кольцо)	Середина XVII в.	–
Садовое кольцо, или Кольцо Б [5]	1816–1930-е годы	15,6
Камер-Коллежский вал (по его границе частично проходит современное Третье транспортное кольцо)	Середина XVIII в.	–
Кольцевая линия Московского метрополитена [6]	1950–1954 гг.	19,4
Третье транспортное кольцо, ранее кольцо В	1960–2005 гг.	35,1
Окружная железная дорога	1903–1908 гг.	–
Московское центральное кольцо [7]	2016 г.	54
Московская кольцевая автомобильная дорога [8]	1962 г.	108,9



Рис. 2. Садовое кольцо на карте
Fig. 2. Garden Ring on the map

Камер-Коллежский вал, далее — кольцевая линия Московского метрополитена, Третье транспортное кольцо (ТТК), не сохранившаяся окружная железная дорога, современная линия Московского центрального кольца (МЦК) и Московская кольцевая автодорога (МКАД) (табл. 1).

Современное Садовое кольцо представляет собой круговую магистраль, которую формируют 18 улиц, общей протяженностью 15,6 км. Садовое кольцо является комплексным многофункциональным элементом городской планировки, в состав которого входят различные по площади и назначению объекты, в том числе проезжая магистральная часть, находящиеся вдоль нее архитектурные сооружения, памятники архитектуры, жилая, деловая и коммерческая недвижимость,

мощные и озелененные территории (тротуары, площади, парки, сады, скверы и дворцовые территории) (рис. 2) [9–15].

В рамках крупнейшего проекта «Моя улица» по благоустройству Москвы (2015–2017) были проведены работы по реконструкции Садового кольца с новой организацией проезжей и пешеходной частей магистрали. В проекте также закладывался капитальный ремонт существующих и прокладка новых инженерных коммуникаций. Благодаря новому благоустройству существенно возросло значение пешеходной функции. Тротуары расширили, благодаря чему они стали безопаснее и комфортнее. Были установлены новые малые архитектурные формы и остановочные павильоны, устроены велодорожки с велопарковками.

В целях исследования и анализа балансовых показателей современного благоустройства рассмотрение территории велось согласно ранее принятому проектному делению Садового кольца на сегменты (табл. 2) с выделением линейных и знаковых территорий.

Изучение результатов озеленения Садового кольца. На первом этапе в целях систематизации и топологии озеленения Садового кольца по государственной программе «Моя улица» (2016–2017) были проведены натурные исследования на предмет подсчета общего количества представленных элементов уличного озеленения и внесения полученных данных в специально разработанную инвентаризационную ведомость. На втором этапе проводились камеральные работы по расчету площадей озеленения стандартизированных ландшафтных элементов, расчет в них количества деревьев и кустарников, а также иных элементов проектного и существующего озеленения.

Т а б л и ц а 2

Деление Садового кольца на сегменты

Dividing the Garden Ring into segments

Но- мер сег- мента	Место расположения линейных и прилегающих к ним знаковых территорий	Длина сег- мента, м
1	Смоленская-Сенная площадь — Новый Арбат	670
2	Новый Арбат — Баррикадная	720
3	Баррикадная — 1-я Ямская-Тверская	1390
4	1-я Ямская-Тверская — Долгоруковская	670
5	Долгоруковская — Самотечная площадь	1120
6	Самотечная площадь — пр-т Мира	660
7	Пр-т Мира — площадь Красных Ворот	1090
8	Площадь Красных Ворот — Покровка	780
9	Покровка — Серебряническая набережная	1540
10	Николаямская набережная — Таганская площадь	1210
11	Космодамианская набережная — Новокузнецкая	1460
12	Новокузнецкая — Серпуховская площадь	790
13	Серпуховская площадь — Октябрьская площадь	740
14	Октябрьская площадь — Крымская набережная	800
15	Фрунзенская набережная — Зубовская площадь	1110
16	Зубовская площадь — Смоленская площадь	770
	Всего	15 520

Основой придорожного озеленения стали приподнятые приствольные группы, выполненные из сборных (прямых и радиусных) индивидуальных гранитных бортовых элементов, называемых на стадии разработки проекта «кадками». Такие группы различаются по количеству высаживаемых в них деревьев и местоположению (ярусности) в зависимости от близости к проезжей части. Выделяются группы 1-го яруса (придорожные):

– группа на одно дерево, внешний диаметр — 2,4 м, площадь озеленения внутри клумбы 3,46 м², из расчета 9 шт. на 1 м² в группу высаживают 31 кустарник (рис. 3);

– группа на три дерева, внешние размеры 2,4×14,4 м, площадь озеленения внутри клумбы 28,66 м², из того же расчета, в группу высаживают 258 кустарников (рис. 4);

– группа на пять деревьев, внешние размеры 2,4×26,4 м, площадь озеленения внутри группы 53,86 м², из того же расчета, в группу высаживают 485 кустарников (рис. 5).

Размеры группы собранной из гранитных элементов 2-го яруса:



Рис. 3. Гранитная группа на одно дерево
Fig. 3. Granite group for one tree



Рис. 4. Гранитная группа на три дерева
Fig. 4. Granite group for three trees

– группа на одно дерево, внешний диаметр — 2,2 м, площадь озеленения внутри группы 2,84 м², из расчета 11 шт. на 1 м² в группу высаживают 31 кустарник (рис. 6).



Рис. 5. Гранитная группа на пять деревьев
Fig. 5. Granite group for five trees

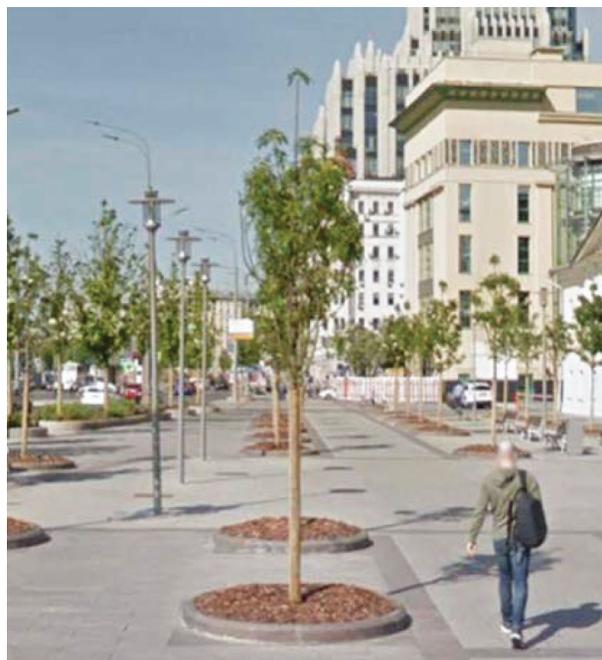


Рис. 6. Гранитная группа 2-го яруса на одно дерево
Fig. 6. Granite group of the 2nd tier for one tree

Для проведения натурных исследований применялась разработанная ведомость инвентаризации гранитных групп, а также входящих в их состав деревьев, кустарников и цветников (табл. 3). Расчет площадей озеленения, занимаемых под гранитными группами, проводился путем умножения количества групп на их соответствующие размеры и вносился в сводную таблицу по сегментам [16, 17].

Балансовые показатели твердых и травяных покрытий были получены из проектных материалов и собраны в сводную таблицу.

В результате анализа проектной документации и проведения последующих натурных исследований были выяснено, что в проекте не учитывался балансовый показатель существующего озеленения в виде примыкающих к территории Садового кольца и находящихся в свободной пешей доступности озелененных площадей.

Нами такие площади были учтены путем их выявления и с помощью расчетов на основе применения топографических материалов и оценки проектных материалов. Для проведения анализа были разработаны схемы проектных работ в рамках программы «Моя улица» по сегментам (рис. 7) и проекты озеленения, требующего дополнительного учета с указанием границ проектных площадей.

Далее, рассчитав значения площадей и суммируя их по каждому сегменту, актуализировали табличные балансовые показатели, применив значения полных площадей озеленения, полученных по предыдущим полевым исследованиям и

Т а б л и ц а 3

Ведомость проведения инвентаризации деревьев, кустарников и цветников
List of inventory of trees, shrubs and flower beds

Наименование элементов уличного озеленения		
Проектные насаждения	Клумбы 1-го яруса (придорожные)	на 1 дерево
		на 3 дерева
		на 5 деревьев
Проектные насаждения	Клумбы 2-го яруса	на 1 дерево
	Насаждения на участках газона	деревья
Существующие насаждения		деревья
		кустарники

анализам проектных материалов (рис. 8). Затем внесли эти данные в таблицу актуализированных укрупненных сводных балансовых показателей и пересчитали долю озеленения в границах каждого сегмента (табл. 4).

В результате проведенных исследований можно проанализировать полученные результаты обеспеченности озелененными территориями (см. табл. 4) и установить следующее соотношения:

- по сегментам 6, 8 значения показателей не выше 4 %;
- по сегментам 3, 5, 9, 11, 15 значения показателей более 4 %, но не выше 10 %;
- по сегментам 1, 2, 7, 12, 16 значения показателей более 10 %, но не выше 17 %;
- по сегментам 4, 10, 13, 14 значения показателей более 17 %, но не выше 30,2 %.

Т а б л и ц а 4

Сводная ведомость балансового показателя озеленения по сегментам Садового кольца
Summary list of the balance sheet index of landscaping by segments of the Garden Ring

Номер сегмента	Показатель обеспеченности озелененными территориями, %
1	12,3
2	16,0
3	9,4
4	26,3
5	9,7
6	3,3
7	11,3
8	2,9
9	9,1
10	30,2
11	7,7
12	16,3
13	26,5
14	29,4
15	8,3
16	16,8

Таким образом, в результате выполненных сравнений, можно говорить о неравномерности распределения озелененных площадей по сегментам Садового кольца. Наименьшее значение — 2,9 % зафиксировано на сегменте 8, а наибольшее значение составляет 30,2 % на сегменте 10.

Выводы

В результате проведенных анализов установлено неравномерное распределение озелененных площадей по территории Садового кольца. Более равномерное озеленение можно получить вследствие полного анализа балансовых показателей территорий, а также применения проектных решений, в которых за счет уменьшения площадей твердых покрытий мощений устраивались бы элементы озеленения в наиболее равномерных пропорциях.

В ходе исследований также выявлены существенные различия площадей озеленения по ряду сегментов, которые ранее не учитывались при расчетах проектных балансовых показателей. Для того чтобы избежать несоответствия балансовых соотношений площадей озеленения и мощений и отразить полноту сведений, необходимо включить в баланс полностью все доступные для пешехода озелененные площади, находящиеся в общей планировочной структуре улицы и влияющие на оценку обеспеченности территорий улиц в дополнительном озеленении.

Также в результате проведенных натурных исследований и анализа проектных материалов

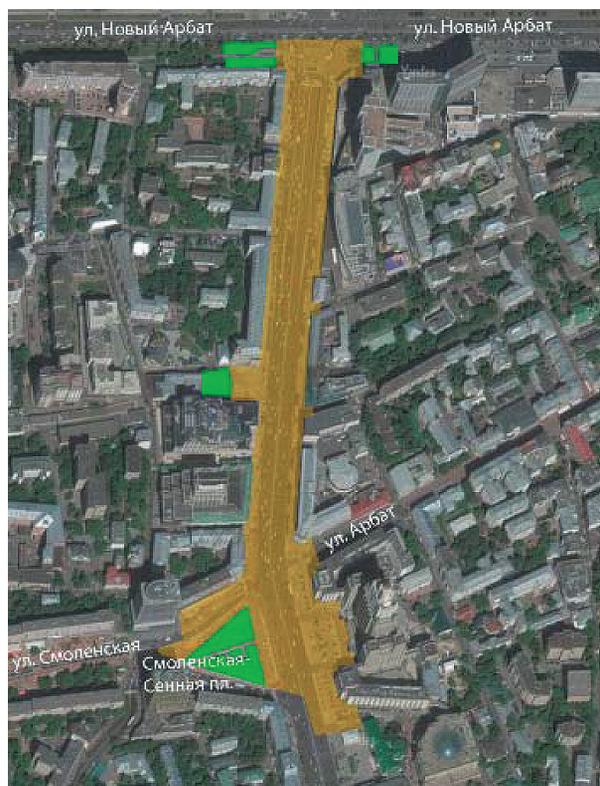


Рис. 7. Границы 1-го сегмента Садового кольца от Смоленской-Сенной площади до ул. Новый Арбат (границы проектных работ — оранжевый цвет; границы озеленения, не вошедшие в проектные объемы — зеленый цвет)

Fig. 7. Borders of the 1st segment of the Garden Ring from Smolenskaya-Sennaya square to st. Novy Arbat (boundaries of design work — orange; boundaries of landscaping that were not included in the design volumes — green)

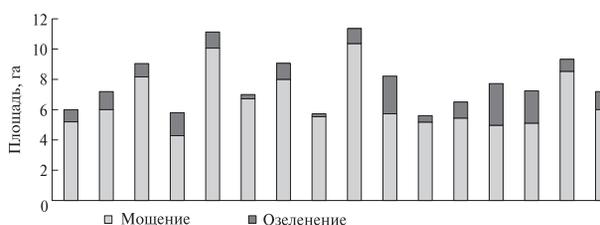


Рис. 8. Гистограмма балансовых показателей по сегментам Садового кольца

Fig. 8. Histogram of balance sheet indicators by segments of the Garden Ring

получены табличные данные, которые можно проверить на соответствие нормативным значениям. Однако при анализе нормативной базы было установлено, что существующие показатели для различных территорий, приведенных в МГСН 1.01–99, не учитывают большой их комплексности. Проведение расчетов на отдельных территориях, находящихся в составе Садового кольца и непосредственно примыкающих к его границам, таких как парки, сады и скверы, имеющие установленные соотношения элементов территории в соответствующих

таблицах 7.1, 7.3, 7.5 МГСН 1.01.99 (доля зеленых насаждений и водоемов для парков 65...70 %, для садов 80...90 % и для скверов 60...80 %) [18], не составляют превалирующую площадь всего Садового кольца и не могут отображать полную ситуацию единых пешеходных зон Садового кольца. Помимо так называемых знаковых территории (площадей, скверов, парков и садов) в состав общей планировочной структуры магистралей входят линейные сегменты, к которым относятся продолжительные преимущественно транзитные пешеходные участки с зонами отдыха и рекреации, а также иные различные примыкающие к Садовому кольцу озелененные и мощеные участки, имеющие свободную пешеходную доступность и входящие в общую планировочную структуру. Поэтому вследствие отсутствия общего норматива нет возможности оценить и утверждать достаточность или недостаток озелененных территорий в пределах Садового кольца.

Значение зеленых территорий в современной городской среде, имеющих защитные, утилитарные, территориально-планировочные, экономические [19], сенсорные [20], эстетические, структурные и композиционные функции [21], сложно оценить. Поглощение выхлопных газов и выделение кислорода, способность фильтрации загрязняющих веществ [22] и удержание пыли в воздухе, регуляция микроклимата и принятие на себя стока (в ряде случаев до 10 % [23]) с больших водонепроницаемых поверхностей городской среды [24] — эти и другие функции уличных зеленых насаждений обретают актуальность в условиях ориентированной к урбанизации среды со все более возрастающим числом автомобилей, дорог и парковок [25].

Изучение качественных характеристик общественных пространств и интеграции в них возрастающей универсальной роли зелени служит стимулом для дальнейших исследований, имеющих целью доработку и разработку универсальных показателей, учитывающих потребности более полного круга пользователей для различных по комплексности городских территорий, а также применения увеличенной типологии элементов отечественного городского озеленения.

Список литературы

- [1] Бирюкова Т.З. Москва. От конки до метро. Очерки истории городского транспорта в XIX — начале XX вв. М.: Изд-во «ОСТ ПАК НТ», 2016. 279 с.
- [2] Бирюкова Т.З. Устои и быт в прежней Москве. Очерки. М.: Изд-во «ОСТ ПАК НТ», 2016. 342 с.
- [3] Как росла Москва — старинные планы и инфографика. URL: <https://fishki.net/2417272-kak-ros-la-moskva---starinnye-plany-i-infografika.html> (дата обращения 09.09.2020).
- [4] Бульварное кольцо (Москва). URL: [https://ru.wikipedia.org/wiki/Бульварное_кольцо_\(Москва\)](https://ru.wikipedia.org/wiki/Бульварное_кольцо_(Москва)) (дата обращения 09.09.2020).
- [5] Садовое кольцо. URL: https://ru.wikipedia.org/wiki/Садовое_кольцо (дата обращения 09.09.2020).
- [6] Кольцевая линия (Москва). URL: [https://ru.wikipedia.org/wiki/Кольцевая_линия_\(Москва\)](https://ru.wikipedia.org/wiki/Кольцевая_линия_(Москва)) (дата обращения 09.09.2020).
- [7] Московское центральное кольцо. URL: https://ru.wikipedia.org/wiki/Московское_центральное_кольцо (дата обращения 09.09.2020).
- [8] Московская кольцевая автомобильная дорога. URL: https://ru.wikipedia.org/wiki/Московская_кольцевая_автомобильная_дорога (дата обращения 09.09.2020).
- [9] Active Design Supplement: Shaping the Sidewalk Experience. NYC. Michael R. Bloomberg. City of New York, 2013, 120 p.
- [10] Appleyard D. The Environment as a Social Symbol: Within a Theory of Environmental Action and Perception // J. of the American Planning Association, 1979, v. 45(2), pp. 143–145.
- [11] Gehl J. Life Between Building, Using Public Space. Washington — Covelo — London: Island Press, 2011, 200 p.
- [12] Jacobs A.B. Great Streets. Cambridge, Mass.: MIT Press, 1995, 331 p.
- [13] Jacobs A., MacDonald E., Rofe Y. The Boulevard Book: History, Evolution, Design of Multiway Boulevards // APT Bulletin: The J. of Preservation Technology, 2002, v. 33, no. 2/3, pp. 77–78.
- [14] Jacobs J. The Death and Life of Great American Cities. New York: Vintage Books, 1992, 472 p.
- [15] Lynch K. A Theory of Good City Form. Cambridge: MIT Press; 1981, 525 p.
- [16] Weimann H., Björk J., Håkansson C. Experiences of the Urban Green Local Environment as a Factor for Well-Being among Adults: An Exploratory Qualitative Study in Southern Sweden // Int. J. Environ Res. Public Health, 2019, no. 16(14), p. 2464. DOI: 10.3390/ijerph16142464
- [17] Wolf K.L. Business district streetscapes, trees, and consumer response // J. of Forestry, 2005, v. 103(8), pp. 396–400.
- [18] Нормы и правила проектирования планировки и застройки Москвы МГСН 1.01-99. URL: <http://docs.cntd.ru/document/1200003977> (дата обращения 09.09.2020).
- [19] Urban green infrastructure. Indicators for urban green infrastructure // European Environment Agency, 2017. https://www.eea.europa.eu/themes/sustainability-transitions/urban-environment/urban-green-infrastructure/indicators_for_urban-green-infrastructure (дата обращения 09.09.2020).
- [20] Appleyard, D. Livable streets: Protected neighborhoods? // Annals of the American Academy of Political and Social Science, 1980, t. 451, no. 1, pp. 106–117.
- [21] Фролова В.А. Исследование структуры насаждений на общегородских объектах озеленения (на примере бульваров г. Москвы): дис. ... канд. с.-х. наук. Москва, МГУЛ, 2001. 152 с.
- [22] Боговая И.О., Теодоронский В.С. Озеленение населенных мест. М.: Агропромиздат, 1990. 239 с.
- [23] NYC Green Infrastructure Plan. NYC Environmental Protection. Michael R. Bloomberg, Mayor Carter Strickland, Commissioner, 2011, 43 p.
- [24] Casey E.S. *The fate of place-A philosophical history*. Berkeley: University of California Press, 1997, 512 p.
- [25] Gehl J. Cities for People. Washington — Covelo — London: Island Press, 2010, 288 p.

Сведения об авторе

Копылов Павел Владимирович — гл. инженер проектов ООО «М4», poulkopylov@gmail.com

Поступила в редакцию 11.01.2021.

Принята к публикации 17.02.2021.

EXPLORING PRACTICAL USE OF GARDEN RING IN RADIAL-CIRCULAR LAYOUT OF MOSCOW, TYPOLOGY OF GREENING AND NORMATIVE BALANCE INDICATORS

P.V. Kopylov

Architectural and Engineering Organization «M4», 5, bul. 1a, office 2, Makarenko st., Moscow, Russia

poulkopylov@gmail.com

The article examines the current dynamics of the development of the Garden Ring, and the state program of repairs «My street» in Moscow. For the purpose of analysis and typology of individual divisions of the highway into segments and elements of landscaping and greening, with their subsequent comparison of their balance indicators of greening. The article analyzes the positive experience of construction and an assessment of the possibilities of its application for the development of similar urban areas. The values of the irregularity of greening of the Garden Ring and the analysis of the normative balance indicator of greening are obtained. The addition and updating of indicators, as well as the normative nature of greening of urban objects, are seen and solved at various stages and by various participants: both for the state customer and for the executors, during the construction, repair and reconstruction of public areas. Normative indicators of greening is a essential aspect for creating the minimum areal values of a comfortable urban environment.

Keywords: greening of the Garden ring 2015–2017, «My street», balance of streets greening

Suggested citation: Kopylov P.V. *Issledovanie znacheniya Sadovogo kol'tsa v radial'no-kol'tsevoy planirovke Moskvy, tipologii ozeleneniya i normativnykh balansovykh pokazateley* [Exploring practical use of Garden ring in radial-circular layout of Moscow, typology of greening and normative balance indicators]. *Lesnoy vestnik / Forestry Bulletin*, 2021, vol. 25, no. 3, pp. 103–110. DOI: 10.18698/2542-1468-2021-3-103-110

References

- [1] Biryukova T.Z. *Moskva. Ot konki do metro. Oчерki istorii gorodskogo transporta v XIX — nachale XX vv.* [Moscow. From horse power cabin to the subway. Urban transport essays from 19th to start 20th cc.]. Moscow: OST PAK new technology, 2016, 279 p.
- [2] Biryukova T.Z. *Ustoi i byt v prezhney Moskvе. Oчерki.* [Foundations and life in the former Moscow. Essays]. Moscow: OST PAK new technology, 2016, 342 p.
- [3] *Kak rosла Moskva — starinnye plany i infografika* [How Moscow grew — old plans and infographics]. Available at: <https://fishki.net/2417272-kak-rosла-moskva---starinnye-plany-i-infografika.html> (accessed 09.09.2020).
- [4] *Bul'varnoe kol'tso* [Boulevard Ring]. Available at: [https://ru.wikipedia.org/wiki/Bul'varnoe_kol'tso_\(Moskva\)](https://ru.wikipedia.org/wiki/Bul'varnoe_kol'tso_(Moskva)) (accessed 09.09.2020).
- [5] *Sadovoe kol'tso* [Garden Ring]. Available at: http://moscow.org/moscow_encyclopedia/311_garden_ring.htm (accessed 09.09.2020).
- [6] *Kol'tsevaya liniya* [Ring line]. Available at: [https://ru.wikipedia.org/wiki/Kol'tsevaya_liniya_\(Moskva\)](https://ru.wikipedia.org/wiki/Kol'tsevaya_liniya_(Moskva)) (accessed 09.09.2020).
- [7] *Moskovskoe tsentral'noe kol'tso* [Moscow Central Ring]. Available at: https://ru.wikipedia.org/wiki/Moskovskoe_tsentral'noe_kol'tso (accessed 09.09.2020).
- [8] *Moskovskaya kol'tsevaya avtomobil'naya doroga* [Moscow ring road]. Available at: https://ru.wikipedia.org/wiki/Moskovskaya_kol'tsevaya_avtomobil'naya_doroga (09.09.2020).
- [9] Active Design Supplement: Shaping the Sidewalk Experience. NYC. Michael R. Bloomberg. City of New York, 2013, 120 p.
- [10] Appleyard D. The Environment as a Social Symbol: Within a Theory of Environmental Action and Perception. *J. of the American Planning Association*, 1979, v. 45(2), pp. 143–145.
- [11] Gehl J. *Life Between Building, Using Public Space.* Washington — Covelo — London: Island Press, 2011, 200 p.
- [12] Jacobs A.B. *Great Streets.* Cambridge, Mass.: MIT Press, 1995, 331 p.
- [13] Jacobs A., MacDonald E., Rofe Y. The Boulevard Book: History, Evolution, Design of Multiway Boulevards. *APT Bulletin: The J. of Preservation Technology*, 2002, v. 33, no. 2/3, pp. 77–78.
- [14] Jacobs J. *The Death and Life of Great American Cities.* New York: Vintage Books, 1992, 472 p.
- [15] Lynch K. *A Theory of Good City Form.* Cambridge: MIT Press; 1981, 525 p.
- [16] Weimann H., Björk J., Håkansson C. Experiences of the Urban Green Local Environment as a Factor for Well-Being among Adults: An Exploratory Qualitative Study in Southern Sweden. *Int. J. Environ Res. Public Health*, 2019, no. 16(14), p. 2464. DOI: 10.3390/ijerph16142464

- [17] Wolf K.L. Business district streetscapes, trees, and consumer response. *J. of Forestry*, 2005, v. 103(8), pp. 396–400.
- [18] *Normy i pravila proektirovaniya planirovki i zastroyki Moskvy MGSN 1.01-99* [Нормы и правила проектирования планировки и застройки Москвы МГСН 1.01-99]. Available at: <http://docs.cntd.ru/document/1200003977> (accessed 09.09.2020).
- [19] Urban green infrastructure. Indicators for urban green infrastructure. European Environment Agency, 2017. https://www.eea.europa.eu/themes/sustainability-transitions/urban-environment/urban-green-infrastructure/indicators_for_urban-green-infrastructure (accessed 09.09.2020).
- [20] Appleyard, D. Livable streets: Protected neighborhoods?. *Annals of the American Academy of Political and Social Science*, 1980, t. 451, no. 1, pp. 106–117.
- [21] Frolova V.A. *Issledovanie struktury nasazhdeniy na obshchegorodskikh ob'ektakh ozeleneniya: Na primere bul'varov g. Moskvy* [Investigation of the structure of plantings at city-wide greening objects: On the example of Moscow boulevards]. Dis. Cand. Sci. (Agric.). Moscow, MSFU, 2001. 152 p.
- [22] Bogovaya I.O., Teodoronskiy V.S. *Ozelenenie naselennykh mest* [Greening of settlements]. Moscow: Agropromizdat, 1990. 239 p.
- [23] NYC Green Infrastructure Plan. NYC Environmental Protection. Michael R. Bloomberg, Mayor Carter Strickland, Commissioner, 2011, 43 p.
- [24] Casey E.S. *The fate of place-A philosophical history*. Berkeley: University of California Press, 1997, 512 p.
- [25] Gehl J. *Cities for People*. Washington — Covelo — London: Island Press, 2010, 288 p.

Author's information

Копылов Павел Владимирович — Chef Engineer at Architectural and Engineering Organization «М4», poulkopylov@gmail.com

Received 11.01.2021.

Accepted for publication 17.02.2021.

ТЕХНИКО-ЭКОНОМИЧЕСКОЕ ОБОСНОВАНИЕ ЭЛЕМЕНТОВ ПЛАНА ЛЕСОВОЗНЫХ АВТОМОБИЛЬНЫХ ДОРОГ

С.Ю. Саблин¹, А.В. Скрыпников¹, В.Г. Козлов²,
В.С. Прокопец¹, А.Н. Брюховецкий¹, М.И. Голубев³

¹ФГБОУ ВО «Воронежский государственный университет инженерных технологий», 394036, Россия, г. Воронеж, пр-т Революции, д. 19

²ФГБОУ ВО «Воронежский государственный аграрный университет имени императора Петра I», 394087, г. Воронеж, ул. Мичурина, д. 1

³МГТУ им. Н.Э. Баумана (Мытищинский филиал), 141005, Московская обл., г. Мытищи, ул. 1-я Институтская, д. 1

vyu-kozlov@yandex.ru

Изложены особенности проанализированных исследовательских работ и показана необходимость их дальнейшего развития. Учитывая структурные связи и ограничения системы, составлена математическая модель технико-экономического обоснования суммарных приведенных затрат параметров плана трассы, продольного профиля и ширины проезжей части, имеющая возможность варьирования суммы приведенных к исходному году строительных и эксплуатационных затрат в предварительно заданной области поиска. Определена целевая функция, являющаяся основной частью математической модели, включающая все элементы и связи системы технико-экономического обоснования элементов плана лесовозных автомобильных дорог. Сделан вывод о том, что поиск оптимального сочетания геометрических элементов и сроков их изменения является экстремальной задачей, и наилучший метод ее решения заключается в определении состояния системы, соответствующей минимальному значению целевой функции, которая представляет собой сумму приведенных к исходному году строительных и эксплуатационных затрат.

Ключевые слова: затраты, трасса, лесовозная автомобильная дорога, строительство, технико-экономическое обоснование

Ссылка для цитирования: Саблин С.Ю., Скрыпников А.В., Козлов В.Г., Прокопец В.С., Брюховецкий А.Н., Голубев М.И. Технико-экономическое обоснование элементов плана лесовозных автомобильных дорог // Лесной вестник / Forestry Bulletin, 2021. Т. 25. № 3. С. 111–117. DOI: 10.18698/2542-1468-2021-3-111-117

Для упорядочения множества параметров, связей и определения средств решения задач обоснования геометрических параметров лесовозных автомобильных дорог целесообразно обратиться к основам одного из направлений теории принятия решений — системному анализу.

Основным и наиболее ценным результатом системного анализа считаем повышение степени понимания проблемы и нахождение возможных путей ее решения. Оптнер С. формулирует определение проблемы следующим образом: «Проблема определяется как ситуация, в которой есть два состояния; одно называется существующим, а другое — предлагаемым. Существующее состояние представляется существующей системой; предлагаемое состояние представляется гипотетической (желаемой или предлагаемой системой)» [1].

Цель работы

Цель работы — заключается в разработке математической модели технико-экономического обоснования суммарных приведенных затрат параметров плана трассы.

Методика исследования

Характер и состав желаемой системы определяется поставленной целью исследования и сформулированными задачами. Предлагаемая

система должна по возможности компенсировать все недостатки существующих методик, т. е. комплексно учесть влияние дорожных условий на очередность строительства. Принимая во внимание вероятностный характер распределения скоростей автомобильного потока во времени и в пространстве, необходимо предусматривать выполнение расчетов в режиме онлайн с помощью информационных технологий, с тем чтобы в дальнейшем при определенных изменениях ее можно было бы сделать подсистемой будущей системы автоматизированного проектирования лесовозных автомобильных дорог.

Анализ требуемой системы включает в себя пять четко выраженных конечных элементов, свойственных процессу исследования любых систем и подсистем.

1. Цель — определение оптимальных параметров продольного и поперечного профилей лесовозной автомобильной дороги с обоснованием сроков введения ее в эксплуатацию при определенном техническом уровне в соответствии с увеличением интенсивности движения.

2. Альтернативные средства, с помощью которых можно достичь цели, множество вариантов распределения капитальных затрат во времени, изменяющееся техническое состояние дороги, которое сочетает в себе план обоих профилей,

как элементов технического состояния, определяющих технический уровень дороги, изменение одного из этих элементов свидетельствует о том, что дорога переходит в другое состояние.

3. Затраты ресурсов, требуемые для осуществления каждого альтернативного средства, которое в стоимостном отношении состоит из двух, находящихся в противоречии подсистем: капитальных затрат, определяемых сметной стоимостью и транспортно-эксплуатационных расходов.

При переходе к более высокому техническому состоянию затрачиваются ресурсы, равные разности сметных стоимостей состояния, увеличенной на сумму, необходимую для повторной организации работ. При планировании дополнительных затрат на отдаленный срок их следует привести к исходному году

$$K_{ij} = \frac{(K_j - K_i)\eta}{e^{t_{ij}}}, \quad (1)$$

где K_i — сметная стоимость технического состояния с низкими показателями;

K_j — сметная стоимость технического состояния с более высокими показателями;

η — коэффициент увеличения дополнительных капитальных затрат при стадийном строительстве (по данным А.В. Каца, $\eta = 1,1$) [2];

$e^{t_{ij}}$ — год перехода из состояния i в состояние j .

Анализ объема транспортно-эксплуатационных расходов работы автомобильного транспорта показывает, что изменение величины расходов, связанных с перевозками, зависит от скорости движения [3]. Ежегодные транспортно-эксплуатационные расходы в общем виде можно выразить с помощью формулы

$$\Theta = f[N_0 f(t) : s : v_T], \quad (2)$$

где N_0 — интенсивность движения в исходный год, авт/сут.;

v_T — средняя техническая скорость движения в год, км/ч;

s — себестоимость перевозок, руб./авт.ч.

4. Разработка логической и математической модели поставленной задачи. Построение логической модели решения задачи заключается в установлении связей между элементами системы, иерархии элементов, в определении системных объектов: входа, процесса, выхода и обратной связи [4–7].

5. Критерий выбора предпочтительных вариантов — наиболее соответствует решению задач этапного развития транспортных линий во времени, характеризующийся минимальным значением эксплуатационных и капитальных затрат, приведенных к исходному году. Минимальное значение затрат позволяет учитывать грузооборот и отдалает капитальные вложения.

Вывод о наилучшем соответствии критерия оптимальности характеру поставленной цели сделало подавляющее большинство исследователей [10–13].

Критерий оптимальности выполняет функцию управления процессом поиска стратегии развития дороги, т. е. соответствует назначению подсистемы обратной связи. Функционирование обратной связи обеспечивают три ее составляющие: 1) модель выхода, представляющая собой некоторую гипотетическую величину суммарных приведенных затрат, другими словами, в модели выхода заложены требования, предъявляемые к системе; 2) соответствие модели выхода каждого варианта реальному выходу до тех пор, пока не будет найдено искомое альтернативное средство, имеющее минимальное значение затрат; 3) модель воздействия на суммарные приведенные затраты. В случае несоответствия суммарных приведенных затрат в каком-либо варианте стратегии минимальному значению необходимо испытать последующее альтернативное средство. Для этого составляется новая комбинация элементов, характеризующих техническое состояние, и сроков перехода от состояния к состоянию. Составление нового варианта является воздействием на систему.

Подсистема обратной связи действует с момента вычисления суммарных приведенных затрат (C) для двух вариантов до тех пор, пока не будет найден вариант минимальное значение суммарных приведенных затрат (C_{\min}).

Поскольку активное управление поиском осуществляется с помощью подсистемы обратной связи, в которой сосредоточены требования к системе и критерии выбора предпочтительных альтернативных средств, основой математической модели является управляющая функция, представляющая собой выражение суммарных приведенных затрат

$$C = K_0 + \int_0^{t_1} \frac{\Theta_0}{e^{Et}} dt + \frac{K_1}{e^{Et_1}} + \int_{t_1}^{t_2} \frac{\Theta_1(t)}{e^{Et_m}} dt + \dots + \frac{K_m}{e^{Et_m}} + \int_{t_m}^{T_p} \frac{\Theta_m(t)}{e^{Et}} dt. \quad (4)$$

Основные составляющие целевой функции находятся в зависимости от фазовых координат системы и от независимого управления:

$$K = f(\Pi; T; B; P; t); \quad (5)$$

$$\Theta = f[\Pi; T; B; \bar{v}(N_0 \lambda; p); t], \quad (6)$$

где p — характеристика рельефа.

Математическая модель, кроме того, определяется структурой связи (6) и ограничениями системы.

Для включения в математическую модель и обеспечения при этом удобства расчетов элементы технического состояния дороги должны быть представлены достоверными оценками, которые точнее бы отражали главные реальные воздействия геометрических параметров на обе части целевой функции.

Характерными и определяющими элементами продольного профиля являются проектные уклоны. Скорость движения лесовозного автопоезда при свободных условиях потока в наибольшей степени, по сравнению с другими элементами продольного профиля, зависит от величины уклона [14–17]. Также оказывает значительное влияние и относительная протяженность участков с различными значениями продольных уклонов и объем земляных работ. Эти обстоятельства достаточно обосновывают принятие в качестве оценки продольного профиля — распределение продольных уклонов. Тип этого распределения, его свойства и связь с другими параметрами, характеризующими техническое состояние, можно определить экспериментальным путем при анализе проектов дорог. Экспериментальным путем необходимо также определить зависимость распределения скорости автомобильного потока и транспортно-эксплуатационных характеристик от распределения продольных уклонов. Следовательно, экспериментально определяются следующие количественные связи математической модели:

$$\begin{aligned} 1) K &= f(\Pi; P); \\ 2) \bar{v} &= f(\Pi; B; N); \\ 3) \sigma_v &= f(\Pi; B; N). \end{aligned} \quad (7)$$

Ограничениями принимаются следующие условия.

1. При этапном повышении технического состояния возможен переход только с низшего состояния в высшее. Кроме того, сроки перехода упорядочены таким образом:

$$t_1 < t_2 < \dots < t_n < T_p. \quad (8)$$

2. Предполагается, что за расчетный период T_p продольный профиль может изменяться в некоторых случаях только один раз. Характеристика плана трассы (T) остается неизменной и варьируется для определения ее начального значения.

3. Необходимые ограничения должны быть наложены на область поиска оптимального решения, т. е. следует определить граничные значения фазовых координат системы.

Во времени область поиска определяется сроком $T_p = 30$ лет. Это значение принято из условий перспективного планирования с учетом фактора времени. За пределами расчетного срока влияние фактора времени настолько значительно, что стоимостные показатели уменьшаются до значений, не превышающих точности вычислений.

Ограничения области поиска в пространстве полностью зависят от рельефа местности, а количество возможных технических состояний — от размера шага поиска.

По определенному направлению трассы с известным рельефом количество возможных вариантов продольного профиля определяется числом шагов при постепенном увеличении сложности профиля от варианта, совпадающего с гипотетической линией, которая имеет нулевой уклон и соединяет начальную и конечную точки трассы, до варианта, повторяющего профиль линии земли (рисунок). На схеме символами T и Π обозначены соответственно характеристики плавного проложения трассы и продольного профиля дороги.

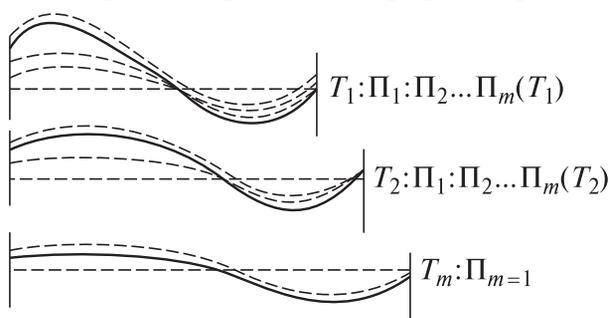


Схема определения области поиска
Search area scheme

При удлинении трассы в результате развития профиль земли имеет меньшие продольные уклоны, поэтому количество возможных вариантов проектного продольного профиля уменьшается.

Развитие трассы с определенной градацией коэффициента удлинения приведет к случаю, когда на первом же шаге проектная линия продольного профиля совпадет с линией земли. Этот вариант ограничивает область поиска в отношении строительной длины трассы (см. рисунок). В отношении количества вариантов поперечного профиля принимается решение, зависящее от назначения дороги, начальной интенсивности движения и ожидаемых темпов ее прироста. Кроме того, должна быть предусмотрена возможность повышения технического состояния дороги в отношении ширины проезжей части или числа полос движения с наименьшими затратами и бросовыми работами.

Учитывая изложенные особенности построения математической модели, зависимости (5)–(7), а также рекомендации [18–21], уравнение суммарных приведенных затрат (4) можно представить в следующем виде (9).

Определение параметров плана трассы, продольного профиля и ширины проезжей части, соответствующих минимальному значению (9) проводится путем их варьирования в предварительно заданной области поиска.

$$\begin{aligned}
C = & K(P, \Pi, T, B) + \int_0^{t_1} \left\{ (N_0 \lambda, T) \left[\frac{a + b \bar{v}(\Pi, N_0 \lambda, B, p)}{\bar{v}(\Pi, N_0 \lambda, B, p)} + S_n(\Pi, B) \right] \right\} \frac{dt}{e^{Et}} + \\
& + \frac{K_1(P, T^1, \Pi^1, B^1)}{e^{Et_1}} + \\
& + \int_{t_1}^{t_2} \left\{ (N_0 \lambda, T^1) \left[\frac{a + b \bar{v}^1(\Pi^1, N_0 \lambda, B^1, p)}{\bar{v}^1(\Pi^1, N_0 \lambda, B^1, p)} + S_n^1(\Pi^1, B^1) \right] \right\} \frac{dt}{e^{Et}} + \dots + \\
& + \frac{K_m(P, T^m, \Pi^m, B^m)}{e^{Et_m}} + \\
& + \int_{t_m}^{T_p} \left\{ (N_0 \lambda, T^m) \left[\frac{a + b \bar{v}^m(\Pi^m, N_0 \lambda, B^m, p)}{\bar{v}^m(\Pi^m, N_0 \lambda, B^m, p)} + S_n^m(\Pi^m, B^m) \right] \right\} \frac{dt}{e^{Et}}.
\end{aligned} \tag{9}$$

где T, T^1, \dots, T^m — характеристики планового положения трассы дороги при варьировании от варианта T до варианта T^m ;

Π, Π^1, \dots, Π^m — характеристики продольного профиля при варьировании от варианта Π до варианта Π^m ;

B, B^1, \dots, B^m — то же для поперечного профиля;

\bar{v} — средняя скорость движения потока автомобилей;

K_0, K_1, \dots, K_m — капитальные вложения для технических состояний, определяющихся элементами $T; \Pi; B; T^1, \Pi^1, B^1; T^m, \Pi^m, B^m$;

a — постоянная величина, не зависящая от скорости перевозок;

b — постоянная величина, зависящая от скорости движения автомобильного потока;

S_n — ущерб от дорожно-транспортных происшествий.

Поиск оптимальных сроков повышения технического состояния дороги в отношении геометрических параметров осуществляется также путем варьирования переходов и состояний во времени с учетом ограничений.

Выводы

В результате анализа теоретических предпосылок технико-экономического обоснования основных геометрических элементов лесовозных автомобильных дорог можно сделать следующие выводы.

1. Составлена система связей и параметров, определяющая процесс достижения целей исследования. Определена структура решения, его основные элементы. Представленные основы системного анализа решения вопросов проектирования лесовозных автомобильных дорог показали, что данная методология является действенным средством, обеспечивающим углубление понимания проблемы и определяющим пути решения задач и их алгоритмизацию.

2. Поиск оптимального сочетания геометрических элементов и сроков их изменения является экстремальной задачей, и наилучший метод ее решения заключается в определении состояния системы, соответствующей минимальному значению целевой функции. Целевая функция, представляющая собой сумму приведенных к исходному году строительных и эксплуатационных затрат, является основной частью математической модели задачи и включает в себя все элементы и связи системы технико-экономического обоснования элементов плана лесовозных автомобильных дорог.

Список литературы

- [1] Бабков В.Ф. Дорожные условия и безопасность движения. М.: Транспорт, 1993. 271 с.
- [2] Дрю Д. Теория транспортных потоков и управление ими. М.: Транспорт, 2012. 424 с.
- [3] Kozlov V.G. Mathematical modeling of damage function when attacking file server // J. Physics: Conference Series, 2018, v. 1015, pp. 032–069.
- [4] Kozlov V.G., Gulevsky V.A., Skrypnikov A.V., Logoyda V.S., Menzhulova A.S. Method of Individual Forecasting of Technical State of Logging Machines // IOP Conference Series: Materials Science and Engineering, 2018, v. 327(4), pp. 042–056. DOI: 10.1088/1757-899X/327/4/042056
- [5] Skrypnikov A.V., Dorokhin S.V., Kozlov V.G., Chernyshova E.V. Mathematical Model of Statistical Identification of Car Transport Informational Provision // J. Engineering and Applied Sciences, 2017, v. 12, no. 2, pp. 511–515.
- [6] Калужский Я.А., Бегма И.В., Кисляков В.М., Филиппов В.В. Применение теории массового обслуживания в проектировании автомобильных дорог. М.: Транспорт, 1969. 136 с.
- [7] Скрыпников А.В., Козлов В.Г., Ломакин Д.В., Микова Е.Ю. Оценка влияния на скорость движения постоянных параметров плана и профиля при различных состояниях поверхности дороги // Лесной вестник / Forestry Bulletin, 2017. Т. 21. № 6. С. 43–49. DOI: 10.18698/2542-1468-2017-6-43-49
- [8] Хомяк Я.В. Проектирование сетей автомобильных дорог. М.: Транспорт, 1983. 207 с.
- [9] Чернышова Е.В. Алгоритм решения задачи оптимального трассирования лесовозной автомобильной дороги на неоднородной местности // Вестник ВГУИТ, 2017. Т. 79. № 2 (72). С. 113–120.

- [10] Чернышова Е.В. Методы формирования цифровой модели местности при трассировании лесовозных автомобильных дорог // Системы. Методы. Технологии, 2017. № 3(35). С. 143–148.
- [11] Козлов В.Г., Скрыпников А.В., Чернышова Е.В., Чирков Е.В., Поставничий С.А., Могутнов Р.В. Теоретические основы и методы математического моделирования лесовозных автомобильных дорог // Изв. вузов. Лесной журнал, 2018. № 6 (366). С. 117–127.
- [12] 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.
- [13] Zavrzhnov A.I., Belyaev A.N., Zelikov V.A., Tikhomirov P.V., Mikheev N.V. Designing mathematical models of geometric and technical parameters for modern road-building machines versus the main parameter of the system // Atlantis Highlights in Material Sciences and Technology Proceedings of the Int. Symp. «Engineering and Earth Sciences: Applied and Fundamental Research» dedicated to the 85-th anniversary of N.I. Ibragimov (ISEES 2019), 2019, pp. 823–827.
- [14] Berestnev O, Soliterman Y, Goman A Development of Scientific Bases of Forecasting and Reliability Increase of Mechanisms and Machines – One of the Key Problems of Engineering Science // Int. Symp. on History of Machines and Mechanisms Proceedings, 2000, pp. 325–332.
- [15] Иванов В.Н., Ерохов В.Н. Влияние параметров автомобильных дорог на расход топлива // Автомобильные дороги, 2014. № 8. С. 10–13.
- [16] Бируля А.К. Эксплуатация автомобильных дорог. М.: Транспорт, 1966. 326 с.
- [17] Козлов В.Г., Скрыпников А.В., Микова Е.Ю., Могутнов Р.В., Зеликова Ю.А. Комплексные экспериментальные исследования изменения параметров и характеристик дорожных условий, транспортных потоков и режимов движения под влиянием климата и погоды // Лесотехнический журнал, 2018. Т. 8. № 2(30). С. 156–168. DOI: 10.12737/article_5b240611858af4.37544962
- [18] Козлов В.Г. Методы, модели и алгоритмы проектирования лесовозных автомобильных дорог с учетом влияния климата и погоды на условия движения: дис. ... д-ра техн. наук. Архангельск, 2017. 406 с.
- [19] Кондрашова Е.В., Скворцова Т.В. Совершенствование организации дорожного движения в транспортных системах лесного комплекса // Системы управления и информационные технологии, 2008. № 3.2(33). С. 272–275.
- [20] Сильянов В.В., Ситников Ю.М. Расчет скоростей движения при проектировании автомобильных дорог // МАДИ, 1974. Вып. 72. С. 47–66.
- [21] Козлов В.Г., Скрыпников А.В., Микова Е.Ю., Могутнов Р.В., Чирков Е.В. Формирование модели проектирования системы «дорожные условия — транспортные потоки» и пути ее реализации // Лесоинженерное дело, 2018. Т. 8. № 1 (29). С. 100–111. DOI:10.12737/article_5ab0dfbebece23.91630316

Сведения об авторах

Саблин Сергей Юрьевич — соискатель кафедры информационной безопасности ФГБОУ ВО «Воронежский государственный университет инженерных технологий», skrupnikovvsafe@mail.ru

Скрыпников Алексей Васильевич — д-р техн. наук, декан факультета «Управление и информатика в технологических системах» ФГБОУ ВО «Воронежский государственный университет инженерных технологий», skrupnikovvsafe@mail.ru

Козлов Вячеслав Геннадиевич — д-р техн. наук, заместитель декана по научной работе агроинженерного факультета ФГБОУ ВО «Воронежский государственный аграрный университет имени Императора Петра I», vya-kozlov@yandex.ru

Прокопец Владимир Сергеевич — соискатель кафедры информационной безопасности ФГБОУ ВО «Воронежский государственный университет инженерных технологий», skrupnikovvsafe@mail.ru

Брюховецкий Андрей Николаевич — соискатель кафедры информационной безопасности ФГБОУ ВО «Воронежский государственный университет инженерных технологий», skrupnikovvsafe@mail.ru

Голубев Михаил Иванович — канд. техн. наук, доцент МГТУ им. Н.Э. Баумана (Мытищинский филиал), bykovskiy@mgul.ac.ru

Поступила в редакцию 13.01.2021.

Принята к публикации 12.02.2021.

FEASIBILITY STUDY OF LOGGING ROAD ELEMENTS PLAN

S.Yu. Sablin¹, A.V. Skrypnikov¹, V.G. Kozlov²,
V.S. Prokopets¹, A.N. Bryukhovetskiy¹, M.I. Golubev³

¹Voronezh State University of Engineering Technologies, 19, Revolution av., 394036, Voronezh, Russia

²Voronezh State Agrarian University named after Emperor Peter the Great, 1, Michurina st., 394087, Voronezh, Russia

³BMSTU (Mytishchi branch), 1, 1st Institutskaya st., 141005, Mytishchi, Moscow reg., Russia

vya-kozlov@yandex.ru

The peculiarities of the research work are stated and the need for its further development is shown. Taking into account the structural links and limitations of the system, a mathematical model of the feasibility study of the total reduced costs of the route plan, the longitudinal profile and the width of the carriageway was compiled, which has a various amount of construction and operating costs reduced to the initial year in a predetermined search area. The objective function is determined, which is the main part of the mathematical model including all the elements and connections of the feasibility study of the timber haul roads elements. It is concluded that the search for the optimal combination of geometric elements and the timing of their change is an extreme task, and the best method for solving it is to determine the state of the system corresponding to the minimum value of the objective function, which is the sum of construction and operating costs reduced to the initial year.

Keywords: costs, route, logging road, construction, feasibility study

Suggested citation: Sablin S.Yu., Skrypnikov A.V., Kozlov V.G., Prokopets V.S., Bryukhovetskiy A.N., Golubev M.I. *Tekhniko-ekonomicheskoe obosnovanie elementov plana lesovoznykh avtomobil'nykh dorog* [Feasibility study of logging road elements plan]. *Lesnoy vestnik / Forestry Bulletin*, 2021, vol. 25, no. 3, pp. 111–117. DOI: 10.18698/2542-1468-2021-3-111-117

References

- [1] Babkov V.F. *Dorozhnye usloviya i bezopasnost' dvizheniya* [Road conditions and traffic safety]. Moscow: Transport, 1993, 271 p.
- [2] Dryu D. *Teoriya transportnykh potokov i upravlenie imi* [The theory of traffic flows and their management]. Moscow: Transport, 2012, 424 p.
- [3] Kozlov V.G. Mathematical modeling of damage function when attacking file server. *J. Physics: Conference Series*, 2018, v. 1015, pp. 032–069.
- [4] Kozlov V.G., Gulevsky V.A., Skrypnikov A.V., Logoyda V.S., Menzhulova A.S. Method of Individual Forecasting of Technical State of Logging Machines. *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*, 2018, v. 327(4), pp. 042–056. DOI: 10.1088/1757-899X/327/4/042056
- [5] Skrypnikov A.V., Dorokhin S.V., Kozlov V.G., Chernyshova E.V. Mathematical Model of Statistical Identification of Car Transport Informational Provision. *J. Engineering and Applied Sciences*, 2017, v. 12, no. 2, pp. 511–515.
- [6] Kaluzhskiy Ya.A., Begma I.V., Kislyakov V.M., Filippov V.V. *Primenenie teorii massovogo obsluzhivaniya v proektirovani avtomobil'nykh dorog* [Application of queuing theory in the design of highways]. Moscow: Transport, 1969, 136 p.
- [7] Skrypnikov A.V., Kozlov V.G., Lomakin D.V., Mikova E.Yu. *Otsenka vliyaniya na skorost' dvizheniya postoyannykh parametrov plana i profilya pri razlichnykh sostoyaniyakh poverkhnosti dorogi* [Assessment of the impact on the speed of the constant parameters of the plan and profile in the various states of the road surface] *Lesnoy vestnik / Forestry Bulletin*, 2017, vol. 21, no. 6, pp. 43–49. DOI: 10.18698/2542-1468-2017-6-43-49
- [8] Khomyak Ya.V. *Proektirovanie setey avtomobil'nykh dorog* [Road network design]. Moscow: Transport, 1983, 207 p.
- [9] Chernyshova E.V. *Algoritm resheniya zadachi optimal'noy rassirovaniya lesovoznoy avtomobil'noy dorogi na neodnorodnoy mestnosti* [Algorithm for solving the problem of optimal tracing of a timber road on a heterogeneous terrain]. *Vestnik VSUIT*, 2017, t. 79, no. 2 (72), pp. 113–120.
- [10] Chernyshova E.V. *Metody formirovaniya tsifrovoy modeli mestnosti pri rassirovani lesovoznykh avtomobil'nykh dorog* [Methods of forming a digital terrain model for tracing timber highways]. *Sistemy. Metody. Tekhnologii* [Systems. Methods. Technologies], 2017, no. 3 (35), pp. 143–148.
- [11] Kozlov V.G., Skrypnikov A.V., Chernyshova E.V., Chirkov E.V., Postavnichiy S.A., Mogutnov R.V. *Teoreticheskie osnovy i metody matematicheskogo modelirovaniya lesovoznykh avtomobil'nykh dorog* [Theoretical foundations and methods of mathematical modeling of logging highways]. *Lesnoy Zhurnal* (Russian Forestry Journal), 2018, no. 6 (366), pp. 117–127.
- [12] Gulevskiy V.A., Skrypnikov A.V., Kozlov V.G., Lomakin D.V., Mikova E.Yu. *Ehksperimental'naya otsenka stsepykh kachestv i rovnosti pokrytiy pri razlichnykh sostoyaniyakh avtomobil'nykh dorog i pogodnykh usloviyakh* [Experimental evaluation of coupling properties and smoothness of coatings under various conditions of highways and weather conditions]. *Vestnik Voronezhskogo gosudarstvennogo agrarnogo universiteta* [Bulletin of Voronezh State Agrarian University], 2018, v. 11, no. 1 (56), pp. 112–118.
- [13] Zavrazhnov A.I., Belyaev A.N., Zelikov V.A., Tikhomirov P.V., Mikheev N.V. Designing mathematical models of geometric and technical parameters for modern road-building machines versus the main parameter of the system. *Atlantis Highlights in Material Sciences and Technology Proceedings of the International Symposium «Engineering and Earth Sciences: Applied and Fundamental Research» dedicated to the 85-th anniversary of H.I. Ibragimov (ISEES 2019)*, 2019. C. 823–827.
- [14] Berestnev O, Soliterman Y, Goman A Development of Scientific Bases of Forecasting and Reliability Increase of Mechanisms and Machines – One of the Key Problems of Engineering Science. *International Symposium on History of Machines and Mechanisms Proceedings*, 2000, pp. 325–332.

- [15] Ivanov V.N., Erokhov V.N. *Vliyaniye parametrov avtomobil'nykh dorog na rashkod topliva* [Influence of road parameters on fuel consumption]. *Avtomobil'nye dorogi* [Automobile roads], 2014, no. 8, pp. 10–13.
- [16] Birulya A.K. *Ekspluatatsiya avtomobil'nykh dorog* [Operation of highways]. Moscow: Transport, 1966, 326 p.
- [17] Kozlov V.G., Skrypnikov A.V., Mikova E.Yu., Mogutnov R.V., Zelikova Yu.A. *Kompleksnyye eksperimental'nye issledovaniya izmeneniya parametrov i kharakteristik dorozhnykh usloviy, transportnykh potokov i rezhimov dvizheniya pod vliyaniem klimata i pogody* [Complex experimental studies of changes in the parameters and characteristics of road conditions, traffic flows and modes of movement under the influence of climate and weather]. *Lesnoy Zhurnal* (Russian Forestry Journal), 2018, v. 8, no. 2 (30), pp. 156–168. DOI: 10.12737 / article_5b240611858af4.37544962
- [18] Kozlov V.G. *Metody, modeli i algoritmy proektirovaniya lesovoznykh avtomobil'nykh dorog s uchetom vliyaniya klimata i pogody na usloviya dvizheniya* [Methods, Models and Algorithms for Designing Timber Highways Taking into Account the Effect of Climate and Weather on Traffic Conditions]. Diss. ... Dr. Sci. (Tech.). Arkhangel'sk: NArFU, 2017, 406 p.
- [19] Kondrashova E.V., Skvortsova T.V. *Sovershenstvovanie organizatsii dorozhnogo dvizheniya v transportnykh sistemakh lesnogo kompleksa* [Improvement of the organization of road traffic in transport systems of the forestry complex]. *Sistemy upravleniya i informatsionnye tekhnologii* [Management systems and information technologies], 2008, no. 3.2 (33), pp. 272–275.
- [20] Sil'yanov V.V., Sitnikov Yu.M. *Raschet skorostey dvizheniya pri proektirovanii avtomobil'nykh dorog* [Calculation of movement speeds in the design of highways]. *Trudy MADI* [Proceedings of MADI], 1974, iss. 72, pp. 47–66.
- [21] Kozlov V.G., Skrypnikov A.V., Mikova E.Yu., Mogutnov R.V., Chirkov E.V. *Formirovaniye modeli proektirovaniya sistemy «dorozhnye usloviya — transportnye potoki» i puti ee realizatsii* [Formation of a design model for the «road conditions — traffic flows» system and the ways of its implementation]. *Lesoinzhenernoye delo* [Forest engineering], 2018, v. 8, no. 1 (29), pp. 100–111. DOI: 10.12737 / article_5ab0dfbe6ece23.91630316

Authors' information

Sablin Sergey Yur'evich — Candidate of the Department of Information security of the Voronezh state University of engineering technologies, skrypnikovvsafe@mail.ru

Skrypnikov Aleksey Vasil'evich — Dr. Sci. (Tech.), Dean of the Faculty of «Management and Informatics in technological systems» of the Voronezh state University of engineering technologies, skrypnikovvsafe@mail.ru

Kozlov Vyacheslav Gennadievich — Dr. Sci. (Tech.), Deputy Dean on scientific work of Agricultural engineering faculty of the Voronezh state agricultural University named after Emperor Peter I, vya-kozlov@yandex.ru

Prokopets Vladimir Sergeevich — Candidate of the Department of Information security of the Voronezh state University of engineering technologies, skrypnikovvsafe@mail.ru

Bryukhovetskiy Andrey Nikolaevich — Candidate of the Department of Information security of the Voronezh state University of engineering technologies, skrypnikovvsafe@mail.ru

Golubev Mikhail Ivanovich — Cand. Sci. (Tech.), Associate Professor of the BMSTU (Mytishchi branch), bykovskiy@mgul.ac.ru

Received 13.01.2021.

Accepted for publication 12.02.2021.

ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЕ ОБОСНОВАНИЕ СПОСОБА ПОВЫШЕНИЯ ОГНЕЗАЩИЩЕННОСТИ ДРЕВЕСНЫХ КОМПОЗИТОВ С ДОБАВКОЙ ВТОРИЧНОГО ПОЛИЭТИЛЕНТЕРЕФТАЛАТА

И.А. Кудряшова, Т.Н. Вахнина, А.А. Титунин

Костромской государственной университет (КГУ), 156005, Костромская область, г. Кострома, ул. Дзержинского, д. 17

kia@msekos.ru

Показана целесообразность вовлечения в производство композиционных материалов отходов в виде вторичного полиэтилентерефталата. Представлены результаты экспериментальных исследований по обоснованию технологических режимов получения древесно-полимерного композита, обладающего требуемой термо- и водостойкостью. Предложен способ снижения его горючести за счет введения антипирена в состав связующего. В ходе экспериментальных исследований по повышению огнезащитности древесных композитов с добавкой вторичного полиэтилентерефталата получены математические модели, отражающие взаимосвязь управляемых факторов (удельной продолжительности прессования, доли добавки антипирена) и эксплуатационных показателей композита (прочности, водо- и огнестойкости). Статистическая обработка результатов эксперимента подтвердила однородность дисперсий всех выходных величин и адекватность полученных математических моделей процесса производства древесного композита. Показано, что введение в состав композита 17 % алюмохромфосфата при удельной продолжительности прессования 0,53 мин/мм обеспечивает получение водостойкого композита с требуемой прочностью при изгибе и потере массы при огневом воздействии, соответствующей классу горючести Г1. Сделан вывод о том, что дальнейшее увеличение удельной продолжительности прессования нецелесообразно, поскольку происходит снижение прочности древесно-полимерного композита по причине деструктивных явлений, обусловленных длительным нагревом древесной составляющей, и выделением парогазовой смеси из алюмохромфосфата. Установлено снижение до минимума — 4,8 % разбухания композита по толщине за 2 ч при такой продолжительности прессования. Разработаны рекомендации в отношении технологических параметров процесса производства, обеспечивающие получение композита с добавкой полиэтилентерефталата с необходимыми физико-механическими показателями и сниженной потерей массы при горении.

Ключевые слова: древесная стружка, связующее, древесные композиты, полиэтилентерефталат, алюмохромфосфат, прочность, горючесть, повреждение по массе при горении

Ссылка для цитирования: Кудряшова И.А., Вахнина Т.Н., Титунин А.А. Экспериментальное обоснование способа повышения огнезащитности древесных композитов с добавкой вторичного полиэтилентерефталата // Лесной вестник / Forestry Bulletin, 2021. Т. 25. № 3. С. 118–125. DOI: 10.18698/2542-1468-2021-3-118-125

Наличие изделий из полиэтилентерефталата (ПЭТФ) потребовало формирования как в Российской Федерации, так и за рубежом различных производств по переработке использованных полимерных изделий. Простая утилизация полимерных отходов в захоронениях малоэффективна [1]. Их сжигание оказывает негативное влияние на экологию, поскольку при этом в атмосферу поступает большое количество вредных веществ [2]. В связи с этим в Европе полностью откажутся от одноразовой пластиковой упаковки уже с 2021 года, в России также планируется рассмотреть возможность введения полного запрета на ее использование с 2025 года.

Одним из возможных направлений утилизации ПЭТФ является получение древесно-полимерных композитов, как основы для создания строительных материалов с требуемым комплексом эксплуатационных свойств [3]. ПЭТФ обладает хорошей термостойкостью при температуре от $-40\text{ }^{\circ}\text{C}$ до $+200\text{ }^{\circ}\text{C}$ [4]. Полимер имеет небольшое водопоглощение, это обуславливает высокую стабильность свойств и размеров изделий из него. Несмотря на

имеющиеся результаты проводимых исследований в этой области, остается нерешенным ряд вопросов, связанных с технологией получения конкурентоспособных композиционных материалов.

Основным недостатком древесных плит, как и других лигноцеллюлозных материалов, является их горючесть, способность легко воспламеняться и распространять пламя с выделением большого количества тепла, дыма и токсичных газообразных продуктов [5–10], что повышает риск возникновения пожароопасной ситуации [11]. Состав композитов из растительного сырья значительно влияет на характеристики пожарной опасности [12], введение в композицию такого термопластичного полимера, как ПЭТФ, также увеличивает горючесть материала [13].

Для использования в строительстве древесно-полимерных композитов необходимо обеспечить их соответствие нормативным требованиям показателей горючести материалов [14, 15]. В первую очередь необходимо решить проблему высокой горючести составляющих композита — полиэтилентерефталата и древесины.

Потеря массы за определенный период горения является важнейшей характеристикой горючести материалов, входящей во многие стандарты в качестве классификационного критерия [9]. Для снижения потери массы при горении композитов с растительными наполнителями и горючими полимерными добавками необходимо проведение огнезащитных мероприятий [16–22]. Чаще всего в качестве замедлителей горения применяют неорганические полимеры. Группа неорганических антипиренов составляет примерно 50 % мирового производства замедлителей горения [23]. Основное действие неорганических антипиренов основано на усилении процессов коксообразования и дегидратации в конденсированной фазе, в результате чего уменьшается формирование горючих летучих продуктов в ходе термического разложения. К эффективным антипиренам относятся фосфорсодержащие замедлители горения [24, 25], поэтому в работе в качестве замедлителя горения был выбран алюмохромфосфат (АХФ).

В зависимости от состава композита для создания материала с заданным комплексом эксплуатационных свойств необходимо определить рациональное сочетание технологических факторов [26].

Цель работы

Целью исследования является разработка рекомендаций для изготовления древесно-полимерных композитов с добавкой вторичного полиэтилентерефталата, имеющих необходимый комплекс физико-механических показателей и пониженную горючесть.

Материалы и методы

В ходе исследований были изготовлены древесно-полимерные композиты по технологии древесно-стружечных плит. В составе композиции использованы специальная резаная стружка, измельченный вторичный полиэтилентерефталат, фенолоформальдегидное связующее СФЖ-3014 [27] и алюмохромфосфат в качестве замедлителя горения.

Исследования различных способов введения антипирена в композицию древесно-полимерного материала, выполненные авторами, показали, что более перспективным является введение антипирена в рабочий раствор связующего [14, 16].

Для определения рекомендуемых значений технологических факторов производства древесных композитов было проведено экспериментальное исследование по В-плану второго порядка [28].

В ходе исследований были получены экспериментальные данные по потере массы образцов древесного композита при горении. Для определения показателя горючести (потери массы при огне-

вом воздействии) согласно ГОСТ 30244–94 [29] испытания проводились на установке «керамический короб» по ГОСТ Р 53292–2009 [30].

В качестве постоянных факторов были заданы: удельное давление при прессовании — 2,6 МПа; плотность композита — 780 кг/м³; доля добавки АХФ в наружных слоях композита — 1,0 %.

В качестве выходных величин приняты: Y_1 — прочность при статическом изгибе $\sigma_{из}$, МПа; Y_2 — разбухание плит по толщине за 2 ч пребывания в воде P_{W2} , %; Y_3 — разбухание плит по толщине за 24 ч пребывания в воде P_{W24} , %; Y_4 — потеря массы плит при горении Δm , %.

Число дублированных опытов $n = 4$. Переменные факторы и диапазоны их варьирования представлены в табл. 1. Доля АХФ для постоянного и варьируемого факторов рассчитывалась в процентах от массы добавляемой смолы.

Т а б л и ц а 1

Диапазоны варьирования факторов
The ranges of factors variation

Наименование фактора	Обозначение фактора		Уровни варьирования			Интервал варьирования, Δ_i
	Натуральное	Кодированное	-1	0	+1	
Удельная продолжительность прессования, мин/мм прессования, мин/мм	τ	X_1	0,4	0,5	0,6	0,1
Доля добавки АХФ, %	Д	X_2	5	15	25	10

Результаты и обсуждение

План эксперимента и результаты статистической обработки полученных результатов, а именно: среднее значение выходной величины \bar{Y}_i , величина дисперсии S_i^2 и вычисленное по уравнению регрессии значение выходной величины \hat{Y}_i представлены в табл. 2. Регрессионные модели, отражающие взаимосвязь варьируемых факторов и выходных величин, приведены в табл. 3.

Статическая обработка экспериментальных данных с использованием критерия Кохрена G подтвердила однородность дисперсий в выборках выходных величин:

для прочности плит при статическом изгибе ($G_p = 0,26 < G_T = 0,44$);

для разбухания плит по толщине за 2 ч ($G_p = 0,37 < G_T = 0,44$);

для разбухания плит по толщине за 24 ч ($G_p = 0,23 < G_T = 0,44$);

для потери массы плит при горении ($G_p = 0,18 < G_T = 0,44$).

Т а б л и ц а 2

План и результаты статистической обработки экспериментальных данных

Plan and results of statistical processing of experimental data

Номер опыта	Факторы		Прочность при статическом изгибе $\sigma_{и}$, МПа			Разбухание по толщине за 2 ч P_{W2} , %			Разбухание по толщине за 24 ч P_{W24} , %			Потеря массы плит при горении Δm , %		
	X_1	X_2	\bar{Y}_1	S_1^2	\hat{Y}_1	\bar{Y}_2	S_2^2	\hat{Y}_2	\bar{Y}_3	S_3^2	\hat{Y}_3	\bar{Y}_4	S_4^2	\hat{Y}_4
1	+	+	10,7	0,05	11,81	4,2	2,04	4,89	3,5	0,61	3,03	13,8	70,8	12,47
2	-	+	12,5	0,22	12,12	3,9	1,14	3,87	3,2	0,66	2,91	13,1	30,72	12,39
3	+	-	15,9	0,61	14,42	4,5	3,57	4,39	6,7	0,52	4,96	11,7	22,05	11,4
4	-	-	15,8	1,35	15,7	3,5	0,58	3,22	6,5	0,51	4,92	16,8	56,31	15,91
5	+	0	18,9	0,86	18,6	3,4	1,04	3,10	6,2	1,14	5,03	16,9	66,68	15,98
6	-	0	19,3	1,23	18,92	4,3	0,35	3,97	6,6	0,29	4,99	16,9	73,93	15,64
7	0	+	18,2	0,4	17,47	5,1	0,05	4,86	6,5	0,63	6,09	15,8	38,18	14,93
8	0	-	10,9	0,46	11,06	4,7	0,82	3,95	6,45	0,51	4,94	16,4	69,39	15,87

Т а б л и ц а 3

Математические модели взаимосвязи варьируемых факторов и входных величин

Mathematical models of the relationship between variable factors and input quantities

Математическая модель	Значения критерия Фишера	
	расчетные F_p	табличные F_T
$Y_1 = 19,925 - 0,350X_1 - 0,200X_2 - 0,825X_1^2 - 5,375X_2^2 - 0,475X_1X_2$	1,79	8,69
$Y_2 = 4,725 + 0,067X_1 + 0,083X_2 + 0,475X_1^2 - 0,175X_2^2 - 0,175X_1X_2$	0,21	8,69
$Y_3 = 7,900 + 0,017X_1 + 1,075X_2 - 1,500X_1^2 + 1,425X_2^2 + 0,025X_1X_2$	5,93	8,69
$Y_4 = 19,150 - 0,733X_1 - 0,367X_2 - 2,250X_1^2 - 3,050X_2^2 + 1,450X_1X_2$	3,22	8,69

Проверки по критерию Фишера F статистической гипотезы об однородности дисперсий адекватности $S_{ад}^2$ и воспроизводимости S_y^2 для разработанных моделей показали, что дисперсии $S_{ад}^2$ и S_y^2 однородны ($F_p < F_T$), математические модели

адекватны и позволяют вычислить значения выходной величины (\hat{Y}_i) с той же точностью, что и среднее по результатам эксперимента (\bar{Y}_i). Результаты проверки адекватности моделей представлены в табл. 3.

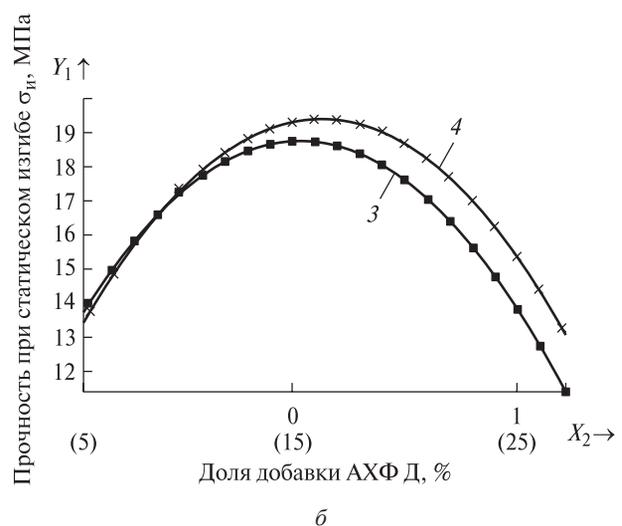
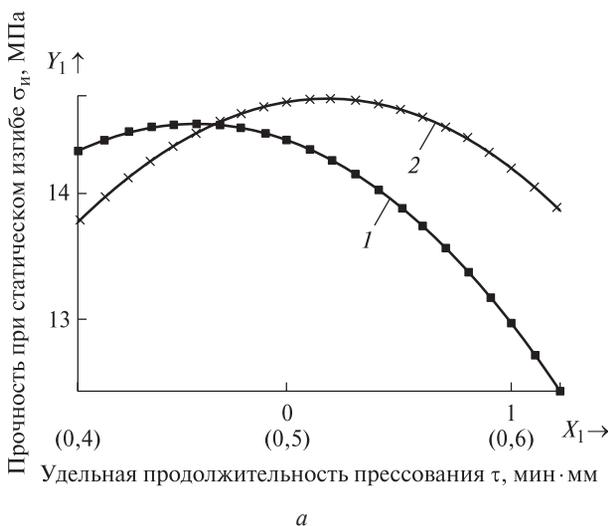


Рис. 1. Зависимость прочности плит при статическом изгибе $\sigma_{и}$: а — от удельной продолжительности прессования τ ; б — от доли добавки алюмохромфосфата Д; 1 — $X_2 = 1, X_3 = 1$; 2 — $X_2 = -1, X_3 = -1$; 3 — $X_1 = 1, X_3 = 1$; 4 — $X_1 = -1, X_3 = -1$
 Fig. 1. The dependence of the strength of the plates $\sigma_{и}$: а — on the specific duration of pressing τ ; б — from the proportion of the addition of aluminochromophosphate Д; 1 — $X_2 = 1, X_3 = 1$; 2 — $X_2 = -1, X_3 = -1$; 3 — $X_1 = 1, X_3 = 1$; 4 — $X_1 = -1, X_3 = -1$

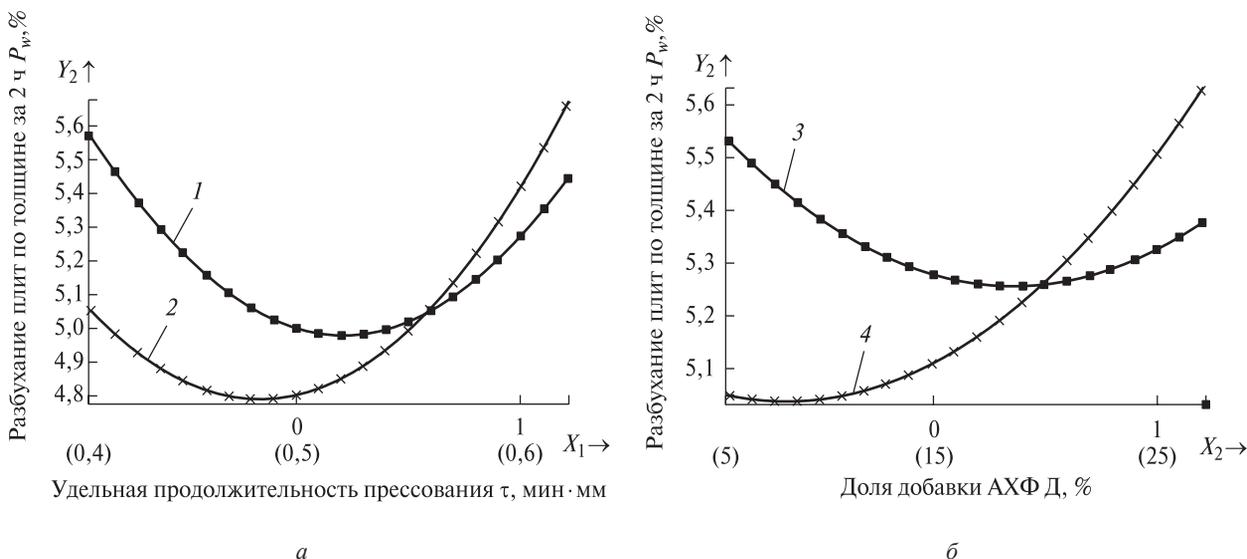


Рис. 2. Зависимость разбухания по толщине за 2 часа P_{w2} : *a* — от удельной продолжительности прессования t ; *b* — от доли добавки алюмохромфосфата Д: 1 — $X_2 = 1, X_3 = 1$; 2 — $X_2 = -1, X_3 = -1$; 3 — $X_1 = 1, X_3 = 1$; 4 — $X_1 = -1, X_3 = -1$
Fig. 2. Dependences of swelling in thickness over 2 hours P_{w2} : *a* — on the specific duration of pressing t ; *b* — from the proportion of the addition of aluminochromophosphate Д: 1 — $X_2 = 1, X_3 = 1$; 2 — $X_2 = -1, X_3 = -1$; 3 — $X_1 = 1, X_3 = 1$; 4 — $X_1 = -1, X_3 = -1$

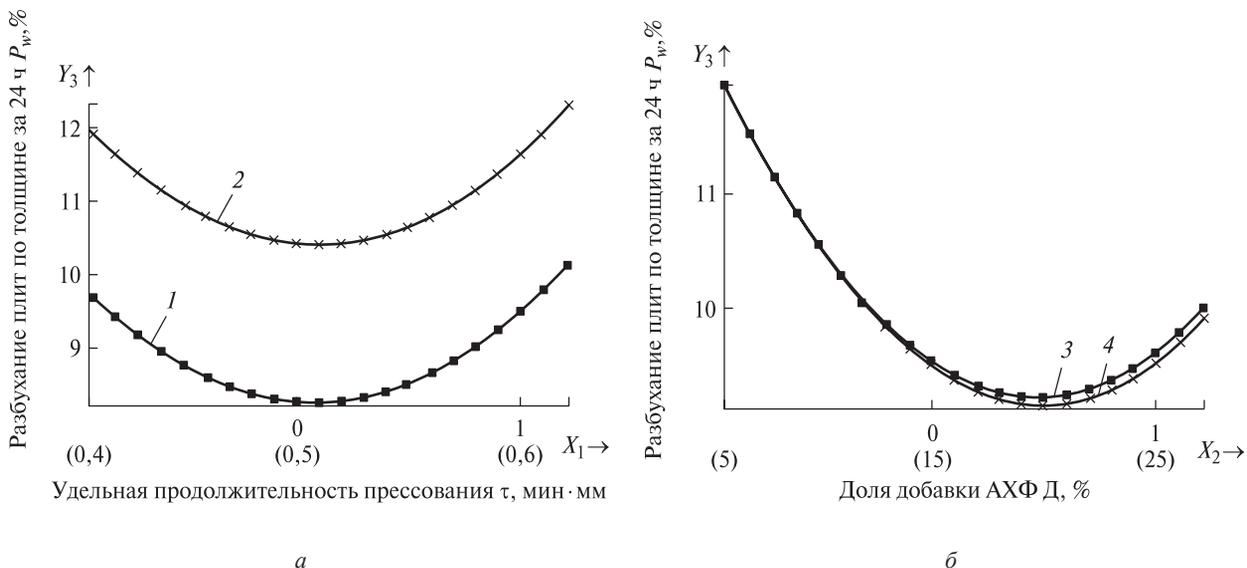


Рис. 3. Зависимости разбухания по толщине за 24 часа P_{w24} : *a* — от удельной продолжительности прессования t ; *b* — от доли добавки алюмохромфосфата Д: 1 — $X_2 = 1, X_3 = 1$; 2 — $X_2 = -1, X_3 = -1$; 3 — $X_1 = 1, X_3 = 1$; 4 — $X_1 = -1, X_3 = -1$
Fig. 3. Dependences of swelling in thickness over 24 hours P_{w24} : *a* — on the specific duration of pressing t ; *b* — from the proportion of the addition of aluminochromophosphate Д: 1 — $X_2 = 1, X_3 = 1$; 2 — $X_2 = -1, X_3 = -1$; 3 — $X_1 = 1, X_3 = 1$; 4 — $X_1 = -1, X_3 = -1$

Для анализа влияния варьируемых параметров технологического процесса на выходные величины были построены графические зависимости, некоторые из которых приведены на рис. 1–4.

Как видно из рис. 1, при любой доле добавки АХФ, с увеличением продолжительности прессования прочность при статическом изгибе сначала растет, это объясняется углублением степени поликонденсации связующего, а затем начинает снижаться.

Причиной снижения прочности при статическом изгибе при увеличении продолжительности

прессования служат деструктивные явления, обусловленные длительным нагревом древесной составляющей, а также то, что при длительном нагреве начинает выделяться парогазовая смесь из АХФ. Максимум прочности при статическом изгибе $\sigma_{и}$ обеспечивается долей добавки АХФ в количестве 17 % и удельной продолжительностью прессования τ — 0,53 мин/мм.

При малой удельной продолжительности прессования и минимальной доле добавки АХФ разбухание по толщине за 2 ч составляет около 5 %.

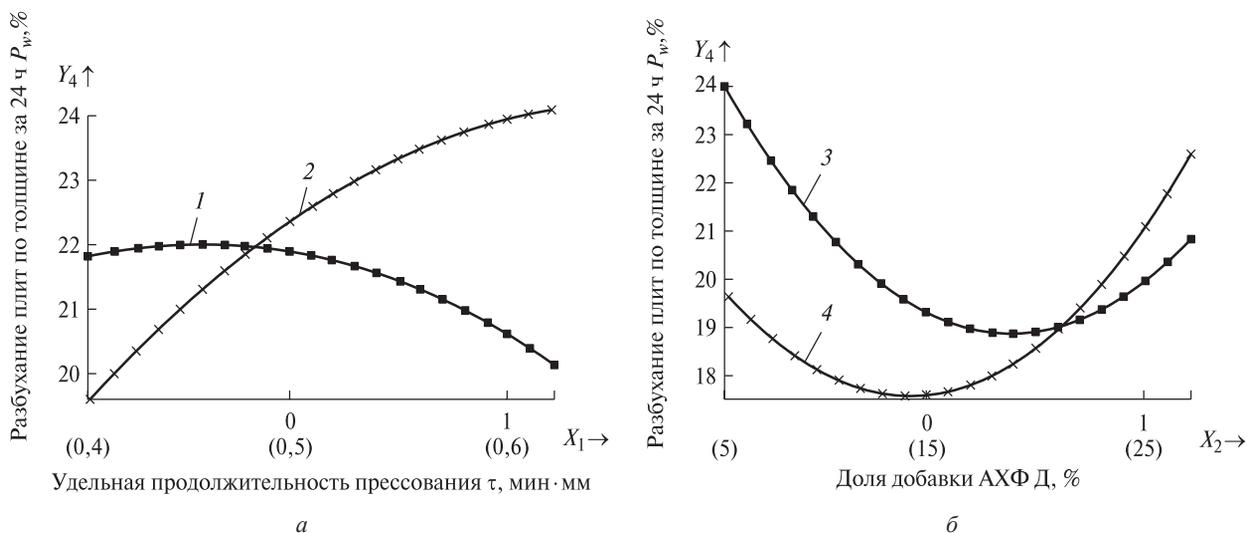


Рис. 4. Зависимости потери массы при горении Δm : *а* — от удельной продолжительности прессования τ ; *б* — от доли добавки алюмохромфосфата Д: 1 — $X_2 = 1, X_3 = 1$; 2 — $X_2 = -1, X_3 = -1$; 3 — $X_1 = 1, X_3 = 1$; 4 — $X_1 = -1, X_3 = -1$
Fig. 4. Dependences of the mass loss during combustion Δm : *а* — on the specific duration of pressing τ ; *б* — from the proportion of the addition of aluminochromophosphate Д: 1 — $X_2 = 1, X_3 = 1$; 2 — $X_2 = -1, X_3 = -1$; 3 — $X_1 = 1, X_3 = 1$; 4 — $X_1 = -1, X_3 = -1$

При увеличении удельной продолжительности прессования до середины диапазона варьирования разбухание по толщине снижается до минимума и составляет 4,8 %. Это хорошо согласуется с ростом прочности при статическом изгибе в данном интервале. При дальнейшем увеличении удельной продолжительности прессования наряду со снижением прочности при статическом изгибе увеличивается разбухание по толщине за 2 ч. Характер разбухания по толщине за 2 ч, соответствует разбуханию по толщине за 24 ч, однако разбухание за 24 ч больше на 3,5 %.

Выводы

Для получения древесно-полимерного композита с добавкой вторичного полиэтилентерефталата рекомендуемая удельная продолжительность прессования составляет 0,53 мин/мм. При такой продолжительности прессования разбухание композита по толщине за 2 ч снижается до минимума и составляет 4,8 %. При воздействии воды на композит в течение 24 ч разбухание увеличивается до 8,1 %.

Максимум прочности при статическом изгибе обеспечивает доля добавки замедлителя горения алюмохромфосфата в количестве 17 %, что одновременно позволяет достичь минимального значения потери массы при горении древесного композита. Увеличение доли добавки антипирена свыше 17 % приводит к росту значений показателя Δm — потеря массы при горении. Поэтому для дальнейших исследований рекомендуется вводить в состав древесного композита 17 % алюмохромфосфата для придания ему огнезащищенности, соответствующей по потере массы при огневом воздействии группе горючести Г1 [30].

Список литературы

- [1] Вахнина Т.Н., Тихомиров Л.А. Повышение огнестойкости древесных композитов // Полимерные материалы пониженной горючести. Вологда: Изд-во ВоГТУ, 2011. С. 96–98.
- [2] Азаров В.И., Буров А.В., Оболенский А.В. Химия древесины и синтетических полимеров. СПб.: Лань, 2010. 624 с.
- [3] Вахнина Т.Н. Формирование свойств древесных плитных материалов для использования в строительных конструкциях // Жилищное строительство, 2009. № 6. С. 10–12.
- [4] Кудряшова И.А., Вахнина Т.Н., Титунин А.А. Повышение огнезащищенности древесно-полимерных композитов с добавкой вторичного полиэтилентерефталата // Технологии и качество, 2018. № 3 (41). С. 23–25.
- [5] Серков Б.Б. Пожарная опасность полимерных материалов, снижение горючести и нормирование их пожаробезопасного применения в строительстве : дис. ... д-ра техн. наук : 05.26.03. Москва, 2001. 271 с.
- [6] Napuarachchi T.D., Ren G., Fan M. Fire retardancy of natural fibre reinforced sheet moulding compound // Applied Composite Materials, 2007, v. 14, pp. 251–264.
- [7] Kozłowski R., Władyka-Przybylak M. Flammability and fire resistance of composites reinforced by natural fibers // Polymers for Advanced Technologies, 2008, v. 19, pp. 446–453.
- [8] Matko S., Toldy A., Keszei S. Flame retardancy of biodegradable polymers and biocomposites // Polymer Degradation and Stability, 2005, v. 88, pp. 138–145.
- [9] Баратов А.Н., Андрианов П.А., Корольченко А.Я. Пожарная опасность строительных материалов. М.: Стройиздат, 1988. 380 с.
- [10] Асеева Р.М., Серков Б.Б., Сивенков А.Б. Горение древесины и ее пожароопасные свойства. М.: Изд-во Академии ГПС МЧС России, 2010. 262 с.
- [11] Quintiere J.G., Williams F.A. Comments on the national institute of standards and technology investigation of the 2001 World Trade Center fires // J. of Fire Sciences, 2014, no. 32, pp. 281–291.
- [12] Yao F, Wu Q, Lei Y. Thermal decomposition kinetics of natural fibers: Activation energy with dynamic thermo-

- gravimetric analysis // *Polymer Degradation and Stability*, 2008, v. 93(1), pp. 90–98.
- [13] Михайлин Ю.А. Тепло-, термо- и огнестойкость полимерных материалов. СПб.: Изд-во НОТ, 2011. 416 с.
- [14] Вахнина Т.Н., Сусоева И.В., Титунин А.А., Петров А.В. Исследование влияния фторида аммония на горючесть плитных композитов из растительных отходов // Актуальные вопросы совершенствования инженерных систем обеспечения пожарной безопасности объектов: сб. материалов V Всерос. науч.-практ. конф. Иваново, 19 апреля 2018 г. Иваново: Изд-во Ивановской пожарно-спасательной академии ГПС МЧС России, 2018. С. 71–75.
- [15] Lataille J.I. Fire protection engineering in building design. Elsevier Science. Oxford: Butterworth-Heinemann, 2003, 133 p.
- [16] Ibragimov A., Titunin A., Vachnina T., Susoeva I. The decline of combustibility of heat-insulating composite plates from plant wastes // *MATEC Web of Conferences*, 2018, p. 01019.
- [17] Puri R.G., Khanna A.S. Intumescent coatings: A review on recent progress // *J. of Coatings Technology and Research*, 2017, no. 14 (1), pp. 1–20.
- [18] Кодолов В.И. Горючесть и огнестойкость полимерных материалов. М.: Химия, 1976. 160 с.
- [19] Bourbigot S., Fontaine G. Flame retardancy of polylactide: an overview // *Polymer Chemistry*, 2010, v. 1, pp. 1413–1422.
- [20] Faruk O., Bledzki A.K., Fink H.-P. Biocomposites reinforced with natural fibers: 2000–2010 // *Progress in Polymer Science*, 2012, v. 37, pp. 1552–1596.
- [21] Jang J.Y., Jeong T.K., Oh H.J. Thermal stability and flammability of coconut fiber reinforced poly (lactic acid) composites // *Composites Part B Engineering*, 2012, v. 43, pp. 2434–2438.
- [22] Mngomezulu M.E., John M.J., Jacobs V. Review on flammability of biofibresand biocomposites // *Carbohydrate Polymers*, 2014, v. 111, pp. 149–182.
- [23] Ломакин С.М., Заиков Г.Е., Микитаев А.К., Кочнев А.М., Стоянов О.В., Шкодич В.Ф., Наумов С.В. Замедлители горения для полимеров // *Вестник Казанского технологического университета*, 2012. Т. 15. № 7. С. 71–86.
- [24] Ненахов С.А., Пименова В.П. Физико-химия вспенивающихся огнезащитных покрытий на основе полифосфата аммония. Литературный обзор // *Пожаровзрывобезопасность*, 2010. № 8. С. 11–58.
- [25] Берлин А.А. Горение полимеров и полимерные материалы пониженной горючести. М.: Химия, 1986. 102 с.
- [26] Глухих В.В., Мухин Н.М. Получение и применение изделий из древесно-полимерных композитов с термoplastичными полимерными матрицами. Екатеринбург: Изд-во УГЛТУ, 2014. 85 с.
- [27] ГОСТ 20907–2016 Смолы фенолоформальдегидные жидкие. Технические условия. М.: Стандартинформ, 2017. 19 с.
- [28] Вахнина Т.Н. Методы и средства научных исследований. В 2 ч. Ч.2: Расчетно-графические и исследовательские работы. Кострома: КГТУ, 2015. 75 с.
- [29] ГОСТ 30244–94 Материалы строительные. Методы испытаний на горючесть. М.: Стандартинформ, 2008. 19 с.
- [30] ГОСТ Р 53292–2009 Огнезащитные составы и вещества для древесины и материалов на ее основе. Общие требования. Методы испытаний. М.: Стандартинформ, 2016. 20 с.

Сведения об авторах

Кудряшова Ирина Алексеевна — аспирант, Костромской государственный университет, kia@msekos.ru

Вахнина Татьяна Николаевна — канд. техн. наук, доцент, Костромской государственный университет, t_vachnina@mail.ru

Титунин Андрей Александрович — д-р техн. наук, доцент, Костромской государственный университет, a_titunin@ksu.edu.ru

Поступила в редакцию 11.01.2021.

Принята к публикации 08.02.2021.

EXPERIMENTAL SUBSTANTIATION OF METHOD FOR INCREASING FIRE PROTECTION OF WOOD COMPOSITES WITH SECONDARY POLYETHYLENE TEREPHTHALATE

I.A. Kudryashova, T.N. Vakhnina, A.A. Titunin

Kostroma State University (KSU), 17, Dzerzhinsky st., 156005, Kostroma, Kostroma reg., Russia

kia@msekos.ru

The expediency of involvement of the waste in the production of composite materials in the form of secondary polyethylene terephthalate is shown. The results of the experimental researches for justification of technological regimes of production of wood-polymer composite possessing the required thermal and water resistance are presented. The way of its flammability reduction by means of introduction of fire retardant into the binder composition is offered. In the course of experimental studies on increasing fire protection of wood composites with the addition of secondary polyethylene terephthalate, mathematical models reflecting the relationship of controllable factors (specific pressing time, the share of flame retardant addition) and operational indicators of the composite (strength, water and fire resistance) were obtained. Statistical processing of the experimental results confirmed the homogeneity of all output values and the adequacy of the obtained mathematical models of the wood composite production process. It was shown that 17 % aluminochromophosphate introduced into the composite at a specific pressing time of 0,53 min/mm ensures a water-resistant composite with the required bending strength and weight loss during the fire action, corresponding to the flammability class G1. It is concluded that a further increase in the specific pressing time is inexpedient because the strength of the wood-polymer composite decreases due to destructive phenomena caused by prolonged heating of the wood component, and the release of a vapor-gas mixture from the aluminochromophosphate. The reduction to a minimum of — 4,8 % of the swelling of the composite in thickness for 2 hours at such a pressing duration was established. The recommendations for technological parameters of the production process, providing obtaining of composite with polyethylene terephthalate additive with the necessary physical and mechanical indicators and reduced loss of mass during combustion were developed.

Keywords: wood shavings, binder, wood composites, polyethylene terephthalate, aluminochromophosphate, strength, combustibility, damage by weight during combustion

Suggested citation: Kudryashova I.A., Vakhnina T.N., Titunin A.A. *Экспериментальное обоснование способа повышения огнезащитности древесных композитов с добавкой вторичного полиэтилентерефталата* [Experimental substantiation of method for increasing fire protection of wood composites with secondary polyethylene terephthalate]. *Lesnoy vestnik / Forestry Bulletin*, 2021, vol. 25, no. 3, pp. 118–125. DOI: 10.18698/2542-1468-2021-3-118-125

References

- [1] Vakhnina T.N., Tikhomirov L.A. *Povyshenie ognestoykosti drevesnykh kompozitov* [Increasing fire resistance of wood composites]. *Polimernye materialy ponizhennoy goryuchesti* [Polymer materials of reduced flammability]. Vologda: VoGTU, 2011, pp. 96–98.
- [2] Azarov V.I., Burov A.V., Obolenskiy A.V. *Khimiya drevesiny i sinteticheskikh polimerov* [Chemistry of wood and synthetic polymers]. Saint-Petersburg: Lan', 2010, 624 p.
- [3] Vakhnina T.N. *Formirovaniye svoystv drevesnykh plitnykh materialov dlya ispol'zovaniya v stroitel'nykh konstruktivnykh* [Formation of the properties of wood-based panel materials for use in building structures]. *Zhilishchnoe stroitel'stvo* [Housing construction], 2009, no. 6, pp. 10–12.
- [4] Kudryashova I.A., Vakhnina T.N., Titunin A.A. *Povyshenie ognestoykosti drevesno-polimernykh kompozitov s dobavkoy vtorichnogo polietilenterefalata* [Improving the fire protection of wood-polymer composites with the addition of secondary polyethylene terephthalate]. *Tekhnologii i kachestvo* [Technologies and Quality], 2018, no. 3 (41), pp. 23–25.
- [5] Serkov B.B. *Pozharnaya opasnost' polimernykh materialov, snizhenie goryuchesti i normirovaniye ikh pozharobezopasnogo primeneniya v stroitel'stve* [Fire hazard of polymer materials, reduction of combustibility and regulation of their fire-safe use in construction]. Dis. Dr. Sci. (Tech.). Moscow, 2001, 271 p.
- [6] Hapuarachchi T.D., Ren G., Fan M. Fire retardancy of natural fibre reinforced sheet moulding compound. *Applied Composite Materials*, 2007, v. 14, pp. 251–264.
- [7] Kozłowski R., Władyka-Przybylak M. Flammability and fire resistance of composites reinforced by natural fibers. *Polymers for Advanced Technologies*, 2008, v. 19, pp. 446–453.
- [8] Matko S., Toldy A., Keszei S. Flame retardancy of biodegradable polymers and biocomposites. *Polymer Degradation and Stability*, 2005, v. 88, pp. 138–145.
- [9] Baratov A.N., Andrianov R.A., Korol'chenko A.Ya. *Pozharnaya opasnost' stroitel'nykh materialov* [Fire hazard of building materials]. Moscow: Stroyizdat, 1988, 380 p.
- [10] Aseeva R.M., Serkov B.B., Sivenkov A.B. *Gorenie drevesiny i ee pozharoопасnye svoystva* [Combustion of wood and its fire hazard properties]. Moscow: Akademiya GPS MCHS Rossii [SFA of EMERCOM of Russia], 2010, 262 p.
- [11] Quintiere J.G., Williams F.A. Comments on the national institute of standards and technology investigation of the 2001 World Trade Center fires. *J. of Fire Sciences*, 2014, no. 32, pp. 281–291.
- [12] Yao F, Wu Q, Lei Y. Thermal decomposition kinetics of natural fibers: Activation energy with dynamic thermogravimetric analysis. *Polymer Degradation and Stability*, 2008, v. 93(1), pp. 90–98.

- [13] Mikhaylin Yu.A. *Teplo-, termo- i ognestoykost' polimernykh materialov* [Heat, thermal and fire resistance of polymer materials]. Saint-Petersburg: NOT, 2011, 416 p.
- [14] Vakhnina T.N., Susoeva I.V., Titunin A.A., Petrov A.V. *Issledovanie vliyaniya florida ammoniya na goryuchest' plitnykh kompozitov iz rastitel'nykh otkhodov* [Investigation of the influence of ammonium fluoride on the combustibility of plate composites from plant waste]. Aktual'nye voprosy sovershenstvovaniya inzhenernykh sistem obespecheniya pozharnoy bezopasnosti ob'ektov: sbornik materialov V Vserossiyskoy nauchno-prakticheskoy konferentsii. Ivanovo, 19 aprelya 2018 goda [Actual issues of improving engineering systems for ensuring fire safety of objects: collection of materials of the V All-Russian Scientific and Practical Conference]. Ivanovo: Ivanovskaya pozharno-spasatel'naya akademiya GPS MChS Rossii [Ivanovo Fire and Rescue Academy of the State Fire Service of the EMERCOM of Russia,], 2018, pp. 71–75.
- [15] Lataille J.I. Fire protection engineering in building design. Elsevier Science. Oxford: Butterworth-Heinemann, 2003, 133 p.
- [16] Ibragimov A., Titunin A., Vakhnina T., Susoeva I. The decline of combustibility of heat-insulating composite plates from plant wastes. MATEC Web of Conferences, 2018, p. 01019.
- [17] Puri R.G., Khanna A.S. Intumescent coatings: A review on recent progress. J. of Coatings Technology and Research, 2017, no. 14 (1), pp. 1–20.
- [18] Kodolov V.I. *Goryuchest' i ognestoykost' polimernykh materialov* [Flammability and fire resistance of polymer materials]. Moscow: Khimiya [Chemistry], 1976, 160 p.
- [19] Bourbigot S., Fontaine G. Flame retardancy of polylactide: an overview. Polymer Chemistry, 2010, v. 1, pp. 1413–1422.
- [20] Faruk O., Bledzki A.K., Fink H.-P. Biocomposites reinforced with natural fibers: 2000–2010. Progress in Polymer Science, 2012, v. 37, pp. 1552–1596.
- [21] Jang J.Y., Jeong T.K., Oh H.J. Thermal stability and flammability of coconut fiber reinforced poly (lactic acid) composites. Composites Part B Engineering, 2012, v. 43, pp. 2434–2438.
- [22] Mngomezulu M.E., John M.J., Jacobs V. Review on flammability of biofibres and biocomposites. Carbohydrate Polymers, 2014, v. 111, pp. 149–182.
- [23] Lomakin S.M., Zaikov G.E., Mikitaev A.K., Kochnev A.M., Stoyanov O.V., Shkodich V.F., Naumov S.V. *Zamedliteli goreniya dlya polimerov* [Gorenie retarders for polymers]. Vestnik Kazanskogo tekhnologicheskogo universiteta [Bulletin of the Kazan Technological University], 2012, v. 15, no. 7, pp. 71–86.
- [24] Nenakhov S.A., Pimenova V.P. *Fiziko-khimiya vspenivayushchikhsya ognezashchitnykh pokrytiy na osnove polifosfata ammoniya. Literaturnyy obzor* [Physico-chemistry of foaming flame retardant coatings based on ammonium polyphosphate]. Pozharovzryvobezopasnost' [Fire and Explosion Safety], 2010, no. 8, pp. 11–58.
- [25] Berlin A.A. *Gorenie polimerov i polimernye materialy ponizhennoy goryuchesti* [Combustion of polymers and low combustibility polymeric materials]. Moscow: Khimiya [Chemistry], 1986, 102 p.
- [26] Glukhikh V.V., Mukhin N.M. *Poluchenie i primeneniye izdeliy iz drevesno-polimernykh kompozitov s termoplastichnymi polimernymi matritsami* [Production and use of products from wood-polymer composites with thermoplastic polymer matrices]. Ekaterinburg: UGLTU [Ural State Forestry Technician Univ.], 2014, 85 p.
- [27] *GOST 20907–2016 Smoly fenoloformal'degidnye zhidkie. Tekhnicheskie usloviya* [State Standard 20907–2016. Liquid phenol-formaldehyde resins. Technical specifications]. Moscow: Standartinform, 2017, 19 p.
- [28] Vakhnina T.N. *Metody i sredstva nauchnykh issledovaniy. V 2 ch. Ch.2: Raschetno-graficheskie i issledovatel'skie raboty* [Methods and means of scientific research. In 2 h. h. 2: Calculation-graphic and research works]. Kostroma: KGTU, 2015, 75 p.
- [29] *GOST 30244–94 Materialy stroitel'nye. Metody ispytaniy na goryuchest'* [State Standard 30244–94. Construction materials. Methods of test for Flammability]. Moscow, Standartinform, 2008, 19 p.
- [30] *GOST R 53292–2009 Ogneshchitnye sostavy i veshchestva dlya drevesiny i materialov na ee osnove. Obshchie trebovaniya. Metody ispytaniy* [State Standard R 53292–2009. Flame retardants and substances for wood and wood-based materials. General requirements. Test methods]. Moscow: Standartinform, 2016, 20 p.

Authors' information

Kudryashova Irina Alekseevna — Pg. of the Kostroma State University, kia@msekos.ru

Vakhnina Tatyana Nikolaevna — Cand. Sci. (Tech.), Associate Professor of the Kostroma State University, t_vakhnina@mail.ru

Titunin Andrey Alexandrovich — Dr. Sci. (Tech.), Associate Professor of the Kostroma State University, a_titunin@ksu.edu.ru

Received 11.01.2021.

Accepted for publication 08.02.2021.

ДРЕВЕСИНА КАК ХИМИЧЕСКОЕ СЫРЬЕ. ИСТОРИЯ И СОВРЕМЕННОСТЬ III. ПИРОЛИЗ ДРЕВЕСИНЫ КАК МЕТОД ЕЕ ПЕРЕРАБОТКИ

Г.Н. Кононов¹, А.Н. Зарубина¹, А.Н. Веревкин¹, В.Д. Зайцев¹, Д.Б. Чекунин²

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

²Научно-исследовательский институт — филиал АО «Гознак», 115162, г. Москва, ул. Мытная, д. 19

kononov@mgul.ac.ru

Представлена история пирогенетической переработки древесины. Рассмотрены этапы развития этой отрасли лесохимии с древних времен до нашего времени. Подробно изложены особенности технологий ямного, кучного и кострового углежжения. Рассмотрены принципиальные схемы углевыжигательных печей периодического и непрерывного действия, а также современные ретортные технологии пиролиза древесины и отходов ее механической и химической переработки. Данная статья является третьей в цикле «Древесина как химическое сырье — история и современность», первая и вторая опубликованы в журнале «Лесной вестник / Forestry Bulletin». 2020, т. 24, № 1, № 5.

Ключевые слова: лесохимия, пиролиз древесины, древесный уголь

Ссылка для цитирования: Кононов Г.Н., Зарубина А.Н., Веревкин А.Н., Зайцев В.Д., Чекунин Д.Б. Древесина как химическое сырье. История и современность. III. Пиролиз древесины как метод ее переработки // Лесной вестник / Forestry Bulletin, 2021. Т. 25. № 3. С. 126–141. DOI: 10.18698/2542-1468-2021-3-126-141

Пиролиз древесины — это метод ее термохимической переработки, в результате которого происходит глубокая деструкция основных компонентов древесины и образуются ценные продукты. Из всех продуктов пиролиза наиболее востребован древесный уголь. В древности он использовался в качестве восстановителя при выплавке меди и ее сплавов, а впоследствии и железа. Помимо этого древесный уголь применяли для изготовления взрывчатых веществ, и в первую очередь дымного пороха. Что касается сорбционных свойств древесного угля, то его способность поглощать газы была открыта К. Шееле и Ф. Фонтана еще в 1773 г. В дальнейшем, на основании исследований по активации угля в конце XIX — начале XX вв. активный уголь начали использовать в промышленном масштабе.

К классическим методам получения древесного угля относится углежжение, т. е. выжигание угля в яме или в куче. По мере научно-технического развития кучное углежжение сменилось углежжением в печах. Периодически действующие печи были заменены туннельными ретортами непрерывного действия, а затем и вертикальными ретортами.

Современное оборудование для пирогенетической переработки древесины представлено установками типа «Поликор» и «Эколон», основанными на использовании большого количества реторт небольшого размера и парогазовой смеси пиролиза в качестве рециркулирующего топлива. В настоящее время древесный уголь крупномасштабно производится в странах, в которые его применяют в качестве восстановителя (Бразилия и Китай), а также в качестве топлива (ряд Африканских стран).

Основные перспективы производства древесного угля в развитых странах связаны с расширением и оптимизацией его использования в таких различных промышленных производствах, как получение высокочистого кремния, сероуглерода и сорбентов широкого спектра действия.

Кроме древесного угля к продуктам пирогенетической переработки древесины относятся древесные смолы, пек, скипидар, березовый деготь, уксусная кислота, древесный спирт (метанол) и другие продукты, востребованные в той или иной степени в разные периоды развития лесохимической промышленности.

Цель работы

Цель работы — рассмотрение технологий пирогенетической переработки древесины на фоне их исторического развития с характеристикой получаемых продуктов и их использованием на разных стадиях развития технологий.

Материалы и методы

1. Древесный уголь — основной продукт пиролиза

Пиролиз — самый древний из всех способов химической переработки древесины, который представляет собой деструкцию химических соединений под действием высоких температур без доступа кислорода (от греч. *pyr* — огонь и *lysis* — разложение или распад). В качестве синонимов пиролиза употребляются такие термины, как «сухая перегонка», «термолиз», «карбонизация», «углефикация». Предшествовали пиролизу кустарные промыслы — углежжение, смолокурение и дегтекурение. И если в первом случае сырьем служила в основном листовенная древесина,

а продуктом — древесный уголь, во втором случае как сырье использовалась просмоленная хвойная древесина, а продуктом была древесная смола, то в третьем, исконно русском промысле, использовалась березовая кора для получения берестового дегтя. Классический пиролиз совмещает эти три процесса. Со временем появились новые термолитические технологии — газификация и ожижение древесины в целях получения газообразного топлива, т. е. синтез-газа, и жидких продуктов для их дальнейшей химической переработки [1].

В процессе пиролиза в результате воздействия высоких температур (400...600 °С) происходит глубокая деструкция основных компонентов древесины, которая приводит к образованию твердого остатка — угля, жидких продуктов, называемых «жижкой» и отстойной смолой, и таких неконденсируемых газов, как метан, угарный газ, углекислый газ, водород и т. д. Основным продуктом пиролиза древесины является древесный уголь — продукт глубокой деструкции основных компонентов древесинного вещества, состоящий преимущественно из углерода [2]. «Жижка» представляет собой водный слой, состоящий из огромного количества различных соединений, однако промышленное значение из них имеют только уксусная кислота и метанол — «древесный спирт», образующиеся из углеводов древесины. Отстойная смола — это смесь соединений ароматической природы, из продуктов деструкции лигнина и экстрактивных веществ. Продукты переработки отстойной смолы используются в качестве ингибиторов окисления различных видов моторного топлива, антисептирующих составов, пластифицирующих агентов и т. д. [3].

Однако традиционно наиболее востребован основной продукт пирогенетической переработки — древесный уголь. Человечество познакомились с древесным углем и его свойствами достаточно давно. Последователь Аристотеля, древнегреческий философ Теофраст (370–285 гг. до н. э.) описывал способы изготовления угля в ямах [2]. На первых этапах освоения металлургического производства возникла потребность в новых источниках топлива, поскольку размеры металлических самородков были небольшими, и изготавливать из них изделия нужной формы было невозможно, то их необходимо было переплавлять. Первой химической реакцией, с которой познакомился человек, было горение. Наблюдая за горением древесины, древние металлурги разработали методы получения древесного угля. Использование древесного угля обусловило разработку высокотемпературной выплавки меди и ее сплавов, а впоследствии и железа [1].

Выплавку металлов в течение длительного времени могли осуществлять лишь кустарным способом,

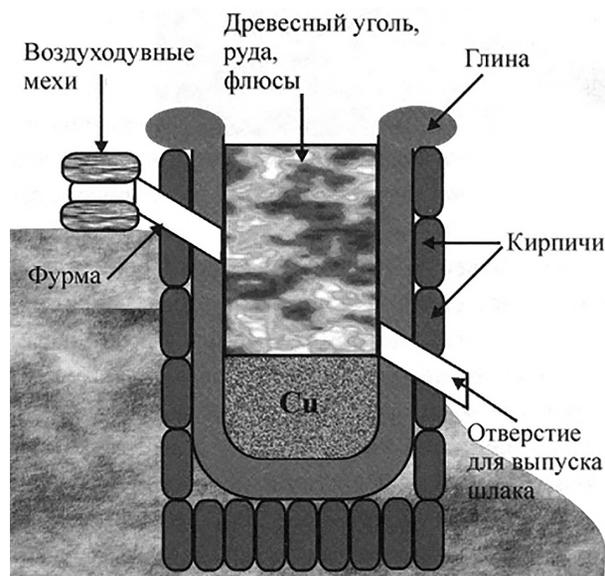


Рис. 1. Принципиальная схема печи, используемая для выплавки меди

Fig. 1. Schematic diagram of a furnace used for smelting copper

т. е. с использованием костров. Некоторые африканские племена добывали железо из руды следующим способом: в яму укладывали дрова, их поджигали, после чего сверху укладывали слой руды, а поверх него снова накладывали слой древесины. Образующийся в результате горения древесный уголь восстанавливал железо из руды. По окончании процесса образовавшееся железо (точнее, чугун) использовали для получения изделий. Попытки смоделировать подобное были предприняты и в наше время. Так, в 1938 г. англичанин Г.Г. Коглен провел эксперимент с выплавкой меди из малахита. Поместил в глиняный горшок кусочек минерала, обложил его древесным углем и, нагревая смесь, получил чистый металл [4].

Впоследствии древние мастера рыли плавильные ямы и на склонах высоких холмов и гор с неветряной стороны (отсюда и название первых плавильных печей — «горн») складывали печи из камней, обмазанных глиной (рис. 1) [4, 5]. Древесный уголь и по сей день используется в металлургическом производстве в качестве покровного флюса, защищающего расплавленный металл от окисления [2].

Технология применения древесного угля была известна древним японцам, которые переняли ее у китайцев (рис. 2). Используя опыт Китая и совершенствуя свое мастерство, японские мастера разработали собственные технологии: куро-дзуми («черный уголь») и сиро-дзуми («белый уголь»), получаемые пиролизом при сравнительно низкой температуре с быстрым ее повышением до 1000 °С и последующим кондиционированием и посыпанием минеральным мелкодисперсным материалом [6]. Помимо применения древесного



Рис. 2. Добыча угля в древнем Китае
Fig. 2. Coal mining in ancient China

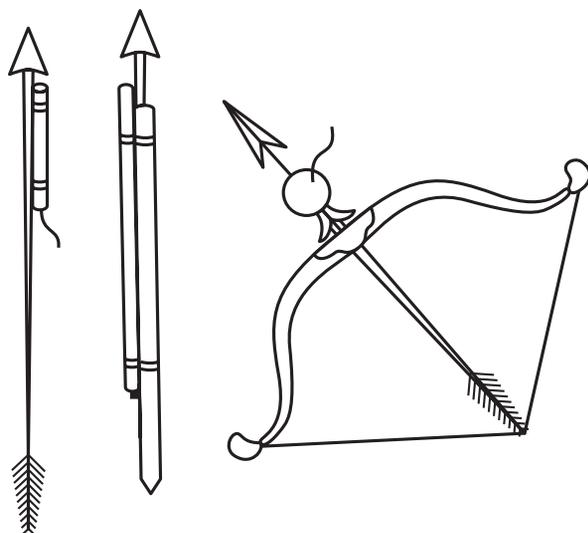


Рис. 3. Пороховые зажигательные стрелы
Fig 3. Powder fire arrows

угля как источника энергии и восстановителя в древние времена его применяли и в военном деле. Известно, что еще с 360 г. до н. э. в ходе военных действий употребляли зажигательные смеси, в состав которых входили древесный уголь, пакля, смола и нефть [7]. Так называемый дымный порох,

состоящий из древесного угля, аммиачной селитры и серы, по-видимому, был самой первой взрывчатой смесью, доступной человеку. Считается, что родина дымного пороха — Древний Китай [8].

Известно, что книга «Тайное Дао подлинного происхождения вещей» (приблизительно около 850 г. н. э.) содержит сведения о 35 эликсирах, один из которых изготавливали с применением меда и селитры, а также угля, и использовали в качестве ароматической смеси, сгорающей с образованием приятно пахнущего дыма. Еще одним способом использования дымного пороха является его применение в пиротехнике для изготовления фейерверков. Днем рождения фейерверка можно считать 1264 г., когда во дворце императора Лицзун на празднике, устроенном в честь его матери, подожгли трубочки (так называемые «земляные крысы»), содержащие «огненную смесь» и они стали летать по дворцу в разные стороны [9].

Древние китайские мастера применяли древесный уголь для производства военных приспособлений. Следует отметить, что китайские ученые были достаточно изобретательны в отношении химического оружия. Так, начиная с III в. н. э. в китайской армии стали применять стрелы с наконечником, снабженным зажигательной смесью, изготовленной на основе древесного угля, и запальным шнуром (их называли «хоцзянь»; рис. 3) [10]. В энциклопедии XI в. «У цзин цзуньяо» («Важнейшее из основ военной науки») в разделе «Огневое и химическое оружие» уделено большое внимание различным пороховым видам оружия, часть из которых использовалась в качестве зажигательных бомб, а часть — в качестве метательных снарядов. В указанных видах оружия доля селитры была меньше, чем в более поздних аналогах, что свидетельствует о их создании для поджигания, а не в качестве взрывчатых смесей. В произведении «Записки о защите крепостей» приведены сведения о существовании оружия, напоминающего современный огнемет. Приспособление (под названием «хоцян») изготавливали из заткнутого с одного конца полого бамбукового ствола, заправляли в него пороховую смесь, которую впоследствии поджигали и направляли на противника [11].

В отличие от других углеродистых веществ, которые можно использовать в составе дымного пороха, древесный уголь содержит больше углерода и меньше смолообразных продуктов, что делает его идеальным претендентом на роль горючего материала в порохе [9]. Затем дымный порох заменили бездымным порохом на основе нитроцеллюлозы. Тем не менее дымный порох и сейчас в применяется небольших объемах для производства некоторых пиротехнических изделий.

Следует отметить, что лечебные свойства угля были известны еще Гиппократу (V—IV вв. до н.э.), который предлагал использовать уголь для предотвращения проблем с пищеварением [13]. Свойства древесного угля поглощать растворенные вещества, пары и газы были известны еще в XV в. Уголь применялся для продления сроков хранения мяса, дичи, очистки воды, но это применение носило неосознанный характер.

Способность древесного угля поглощать газы впервые заметили немецкие химики К. Шееле и Ф. Фонтана в 1773 г. Они предложили устройство, позволяющее очищать воздух от дурно пахнущих веществ. Впоследствии изобретение оказалось невостребованным [14]. В 1785 г. году русский ученый Т.Е. Ловиц на основании экспериментов по очистке винной кислоты углем установил, что древесный уголь способен поглощать растворенные вещества из растворов [12]. В 1791 г. он описал способ очистки воды с помощью угля, высказал рекомендации по его применению для очистки растворов селитры. Открытие привело к созданию в 1792 г. на Петербургском винном заводе производства древесного угля, предназначенного для очистки винно-водочных изделий, а на флоте — для очистки воды и консервирования мяса [14]. В 1794 г. древесный уголь стали использовать на сахарно-рафинадном заводе в Англии, а в 1812 г. был выдан первый патент на очистку сахарных сиропов углем [15]. К 1808 г. относится и использование этого метода во Франции [14].

После экспериментов французского ученого Л. Фигье по исследованию свойств костяного угля древесный уголь безуспешно конкурировал с ним и на некоторое время был забыт. Дальнейшее развитие производства древесного угля обусловило улучшение его свойств. Так, опыты по активации древесных опилок карбонатом магния и торфа водяным паром не дали достаточно хорошего результата. Однако в 1900–1901 гг. с выдачей патентов ученому Л.М. Острейко сначала по активации растительного материала хлоридом кальция, а затем по активации диоксидом углерода и водяным паром появилась тенденция к изменению ситуации. В 1909 г. на химическом заводе в Ратиборе (Силезия) по патенту была выпущена партия порошкового активного угля под маркой «Эпонит» [15].

Практическое применение активированного угля связано с изобретением противогаза русским ученым Н.Д. Зелинским. Впервые во время Первой мировой войны был установлен факт применения против людей химического оружия. Тогда не были известны эффективные меры защиты от него. Первоначально применяли мокрые марлевые повязки, однако это не дало положительных результатов. В июне 1915 г. ученый Зелинский выступил на заседании Санитарно-технического

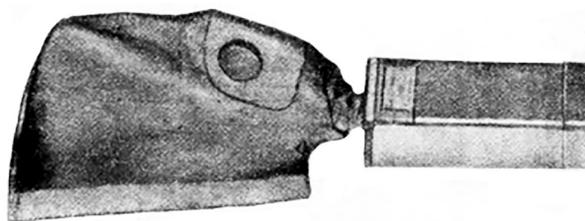


Рис. 4. Противогаз Н.Д. Зелинского
Fig. 4. The N.D. Zelinsky Gas mask

отдела Русского технического общества с докладом о возможности использования древесного угля в качестве противохимической защиты. Через два месяца, 12 августа, он сделал доклад о поглощательных способностях древесного угля и представил свои первые экспериментальные конструкции прототипа противогаза (рис. 4). Как писал Зелинский в статье «Уголь как противогаз», мысль о применении древесного угля в качестве сорбента появилась после прочтения статьи, в которой речь шла о применении солдатами земли в качестве противохимической защиты, что натолкнуло его на мысль об использовании адсорбции для извлечения токсичных газов из воздуха [16].

2. Кустарное углежжение, смоло- и дегтекурение

В России о производстве «уголья» (древесного угля) впервые упоминается в Новгородской таможенной грамоте 1571 г., касающейся сбора пошлин «на Торговой стороне в Государственной опричнине» [12]. Древесный уголь широко использовался в металлургической отрасли, особенно в производстве чугуна. Россия была одним из мировых лидеров по производству чугуна и даже экспортировала его в Англию. Помимо этого уголь шел на кузнечное производство для изготовления «черного пороха» и бытовых целей.

Классической древней технологией получения древесного угля является углежжение, которое, в свою очередь, подразделяется на ямное и кучное. При ямном способе углежжения яму закладывали сухим хворостом и небольшими поленьями, после чего поджигали. После сгорания первой партии закладывали поверх новую, и так повторяли, пока яма не будет полностью заполнена. После этого верхний слой закрывали дерном на несколько дней [3]. Кучное углежжение подразделяется на углежжение в «стоячей» и «лежачей» куче. При устройстве стоячей кучи сначала выбирали место (оно называется током), которое должно располагаться на ровном сухом месте, защищенном от действия сильного ветра. В центре тока выкладывали 3- или 4-гранную трубу (канал) из мелких сухих дров, вокруг которой выкладывали «ставу» дров в несколько ярусов. Ближе к трубе накладывали мелкие сухие дрова (для более полного разжигания кучи), далее

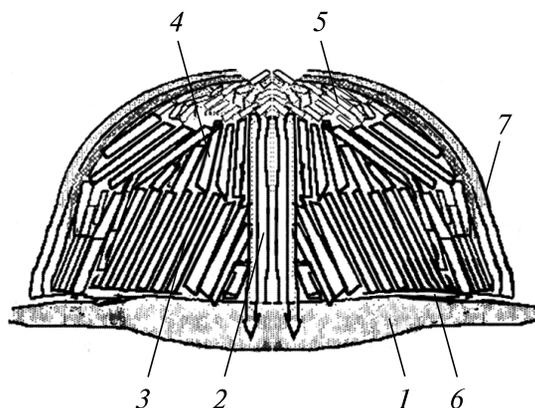
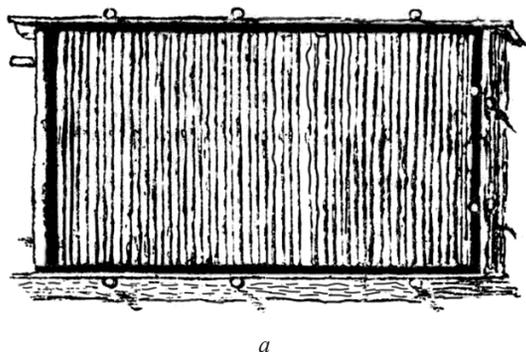
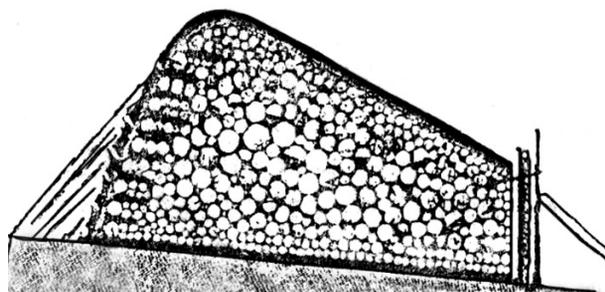


Рис. 5. Схема «стоячей» кучи в разрезе: 1 — ток; 2 — канал; 3 — нижний ярус; 4 — верхний ярус; 5 — чапец; 6 — настил; 7 — дерн
Fig. 5. Scheme of a «standing» heap in section: 1 — current; 2 — channel; 3 — lower tier; 4 — upper tier; 5 — cap; 6 — flooring; 7 — turf



a



b

Рис. 6. Схема «лежачей» кучи: а — вид сверху; б — вид сбоку
Fig. 6. Scheme of a «lying» heap: a — top view; b — side view

к периферии — более крупные. Рядом с трубой дрова укладывали вертикально. При движении от центра к периферии угол наклона дров увеличивался до определенного значения (не более 60°), чтобы дрова смогли удерживать насыпку. Верхняя покрывка состояла из двух слоев: внутреннего (покрывки) — из ветвей, листвы, мха и внешнего (осыпки) — из песка с примесью глины или дерна. С краев кучи оставляли пороги, т. е. отверстия для притока свежего воздуха. Поверх третьего ряда выкладывали «чапец» и разжигание кучи начиналось с канала [17, 18] (рис. 5).

В лежачих кучах дрова укладывали горизонтально. Ток в таких кучах располагался под наклоном, вдоль тока укладывали нетолстые лежки, на которые накладывали переугливаемые бревна, а с боковых сторон вместо осыпки устанавливали барьеры в виде жердей и досок. В нижнем конце тока у каждого из конца лежек вбивали по колу, препятствующему раскатыванию бревен [17] (рис. 6).

Существовали также способы углежжения в кострах (лежачих или вертикальных). На площадку укладывали бревна (рис. 7), на которые дрова клали поперек. Зажигательный канал устраивали параллельно дровам. Костер обносили деревянным забором, а пространство между кучей и забором укладывали землей [12] (рис. 8).

Несмотря на примитивность технологии и низкое качество получаемого угля, в некоторых странах (Бразилии, странах Африки и Юго-Восточной Азии) до сих пор сохраняется традиционный метод пиролиза древесины — кучное углежжение [19]. Отрицательными сторонами технологии углежжения являются низкий выход угля и зависимость от погодных условий. Впоследствии углежжение сменилось пиролизом в стационарных печах [20].

Аналогичные способы использовались в возникшей в России для смоло- и дегтекурения еще в XI в. Так, при ямном способе получения смолы, в земле на возвышенном месте выкапывали коническую яму (майдан), ее обмазывали глиной и обкладывали изнутри еловой или березовой корой. На небольшом расстоянии от дна ямы укладывали железную решетку, под которой устанавливали стоячую трубу, ведущую к приемнику. Яму заполняли смолем или берестой, поджигали и закрывали дерном с небольшими отверстиями для доступа воздуха (рис. 9). Процесс длился около 7 дней.

В качестве сырья для получения смолы использовали специально заготовленные смолье-подсочки — просмоленную комлевую часть ствола дерева, простоявшего с частично снятой корой в течение 5–6 лет, остальную часть ствола оставляли в лесу. Этот варварский метод заготовки сырья был запрещен при Екатерине II (1775) и подтвержден указом по лесному управлению (1798). Тогда в качестве сырья стали использовать пневый осмол (10–20-летние пни с корнями), рудняк или колодник (сухостойные деревья), волоховый осмол (сухие верхушки деревьев) и стволовой осмол (просмоленную часть ствола после специальной подсочки). При этом древесный уголь был побочным продуктом такого «производства».

При получении дегтя сырьем выступала береста или березовая древесина с корой, в последнем

случае получали и березовый уголь. Позднее при перегонке бересты добавляли смолу и получали суррогат — половинник или половинчатый деготь.

При костровом способе смолокурения в целях использования летучих продуктов кучу дров — курень в форме усеченного конуса закрывали плетеными из хвороста щитами, обмазанными изнутри глиной, между щитами и дровами делали засыпку из мелкого древесного угля. Пары по трубам поступали в три последовательно соединенные бочки, где и конденсировались. Из верхней части выходили более летучие вещества (вода и скипидар), а смола скапливалась на дне, где для нее был устроен особый приямок (рис. 10).

В начале XVIII в. в смоло- и дегтекурении стали использовать сначала глиняные, а затем чугунные котлы — корчаги, имеющие отверстие в нижней части. Для получения дегтя корчагу ставили на бочку для приема дегтя, наполняли берестой, поджигали и закрывали сверху такой же корчагой.

В случае смолокурения половину корчаги закапывали в землю, подсоединяли трубы для стока смолы к нижнему отверстию, верх обкладывали черепицей и обмазывали глиной и вокруг корчаг разводили огонь. Корчаги ставили в ряд, одну за другой (рис. 11).

Корчажная смола была лучше ямной и костровой. Для получения кроме смолы, угля и скипидара перед закладкой измельченного смолья в корчагу вставляли сетку из толстой проволоки, загружали смолье, накрывали крышкой, снабженной газоотводной трубой в верхней части, из которой парогазовая смесь поступала в конденсатор, разделяясь на водный и скипидаровый слой. Уголь после окончания процесса извлекали из корчаги в сетке и гасили водой.

В конце XVIII века из полученной корчажной (жидкой) смолы отгоняли скипидар с получением пека (густой смолы). Так, из 38 пудов смолы получали 24...26 пудов пека и 4...6 пудов скипидара (1 пуд = 16,38 кг) [12].

Наряду с описанными продуктами из смолистой древесины и березовой коры путем сжигания при недостатке воздуха получали дровяную сажу — сырье для изготовления типографских красок, живописной туши, чернения кожи и т. д.

Начиная с первой четверти XIX в. для углежжения с одновременным получением шихты начали применять печи Шварца.

3. Пиролиз в камерных печах

Печь Шварца предложенная в 1825 г., представляла собой конструкцию из кирпичных стен, перекрытых сводом (рис. 12) [21]. На углах печи и у продольных стенок вкапывали столбы, которые сверху связывали поперечными балками. Сырье внутри печи обогревали топочными газами,

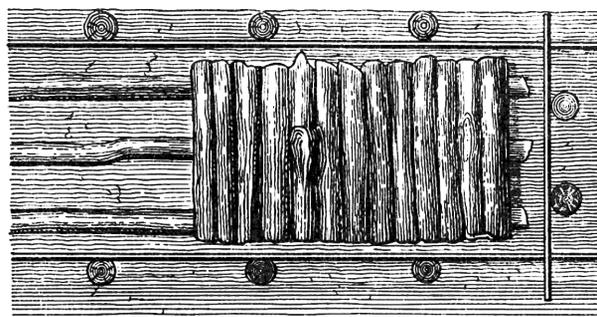


Рис. 7. Схема основания «лежащего» костра для углежжения
Fig. 7. Scheme of the «lying» fire base for charcoal burning

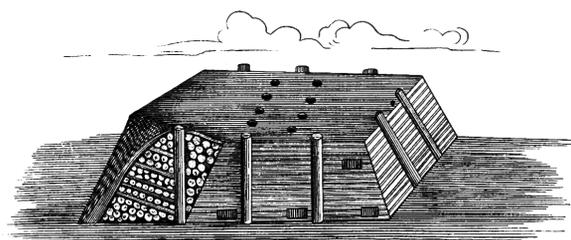


Рис. 8. Внешний вид «лежащего» костра для углежжения
Fig. 8. Appearance of a «lying» fire for charcoal burning

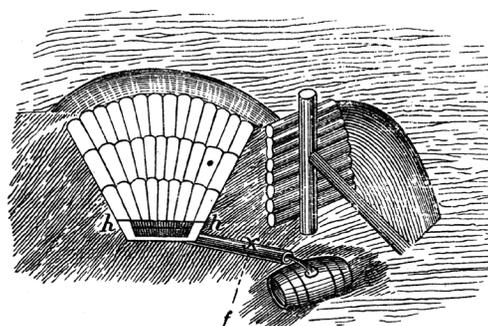


Рис. 9. Схема ямного способа получения древесной смолы или берестового дегтя
Fig. 9. Scheme of pit method of obtaining wood tar or birch tar

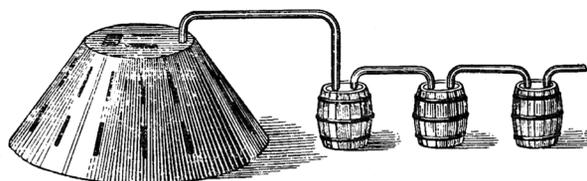


Рис. 10. Схема кострового способа смолокурения с получением скипидара
Fig. 10. Scheme of campfire tar-smoking method with obtaining turpentine

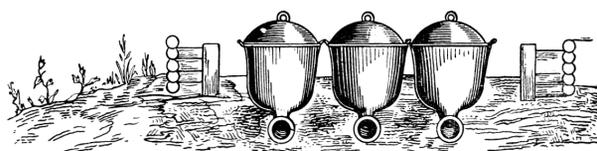


Рис. 11. Схема батареи корчаг для смолокурения
Fig. 11. Scheme korchag battery for tar smoking

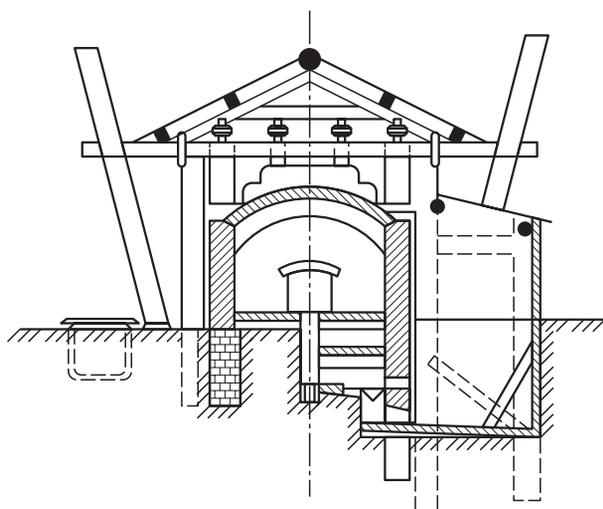


Рис. 12. Схема печи Шварца в разрезе
Fig. 12. Scheme of the Schwarz furnace

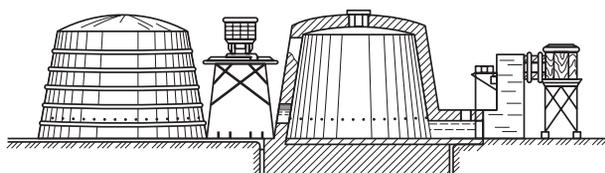


Рис. 13. Схема ульеобразной кильной печи
Fig. 13. Scheme of a beehive furnace («kilns»)

а саму топку располагали под печью. Топочные газы входили через отверстие в поде. Содержание углерода в угле, полученном переугливанием древесины в печи Шварца, составляло в среднем от 66 до 80 %. Позднее В.П. Суханов модернизировал печь таким образом, чтобы на выходе парогазовая смесь, образующаяся в результате пирогенетического разложения древесины, смешивалась со струей свежего воздуха и поджигалась, что позволяло повысить температуру внутри, однако летучие продукты при этом сгорали, а не подвергались переработке [20].

Помимо печей Шварца в промышленности середины XIX в. использовались также ульеобразные кильные печи, которые представляли собой аналоги костров, но с кирпичной кладкой, стянутой железными обручами (рис. 13). Температуру процесса поддерживали за счет горения внутри кильной печи. Для поддержания горения и притока воздуха в нижней части кильной печи имелось отверстие, соответствующее подвалам в кучах. Отличие от кучи состояло в том, что кильные печи представляли собой постоянно действующие сооружения [20].

Первоначально стены углевыжигательных печей были сложены из кирпича, однако кирпич обладает низкой теплопроводностью, что затрудняет передачу тепла через стенку в случае кондуктивного нагрева. Кроме того, в кирпич-

ных стенах могут возникать трещины, а так же кирпичные камеры относительно недолговечны. Дальнейшее развитие технологии привело к применению клепаного железа вместо кирпичной кладки и использованию аппаратов с контактным обогревом [3].

Рассмотренные способы пирогенетической переработки древесины позволяли получать как древесный уголь, так и жидкие продукты (смолу, деготь, скипидар).

Смолу использовали в судостроении, строительстве, в производстве канатов, для защиты железа от коррозии, в качестве смазочного материала при изготовлении толя, деготь — для приготовления мыла, мазей, в качестве фармацевтического сырья, скипидар — в качестве растворителя и т. д. В отличие от древесного угля, используемого в основном на внутреннем рынке, эти продукты активно экспортировались в количестве от 50 до 70 % общего объема годового производства.

Так, производство древесного угля в России в конце XVIII в. составляло около 300 000 т в год, а уже в XIX в. только на Урале его производили в количестве более 1 800 000 т в год. Весь производимый древесный уголь использовался для производства чугуна, стали и меди.

Древесная смола уже в XI в. была предметом международной торговли в Киевской Руси. В конце XIV в. русская смола называвшаяся важской (от р. Вага — левого притока р. Северная Двина), имела огромное значение на зарубежных рынках, а начиная с XVIII в., Россия поднялась на первое место в мире по производству и экспорту древесной смолы. Так, в начале XVIII в. экспортировалось 3 500 т смолы в год, в середине XVIII в. — 5 200 т, а к 1800 г. Россия экспортировала уже более 16 000 т смолы и около 15 000 т пека. Производство этих продуктов тяготело к северным губерниям России. К середине XIX в. насчитывалось около 12 000 дворов кустарных смолокуров и дегтярников, производивших около 20 000 т этих продуктов, а к концу XIX в. в России производили около 66 000 т дегтя (чистого и половинчатого), 50 000 т смолы, 7 500 т пека и 56 млн м³ светильного газа в год.

К началу XIX в. относятся первые попытки использования «кислой жидкости» (надсмольной воды — жижки). Впервые ее начали использовать в Санкт-Петербурге для уничтожения зловония в так называемых грязных местах за счет превращения летучих дурно пахнущих низших аминов в их ацетаты, активным компонентом при этом служила древесная (уксусная) кислота, содержащаяся в жижке.

Опытная установка сухой перегонки древесины с утилизацией всех продуктов, в том числе

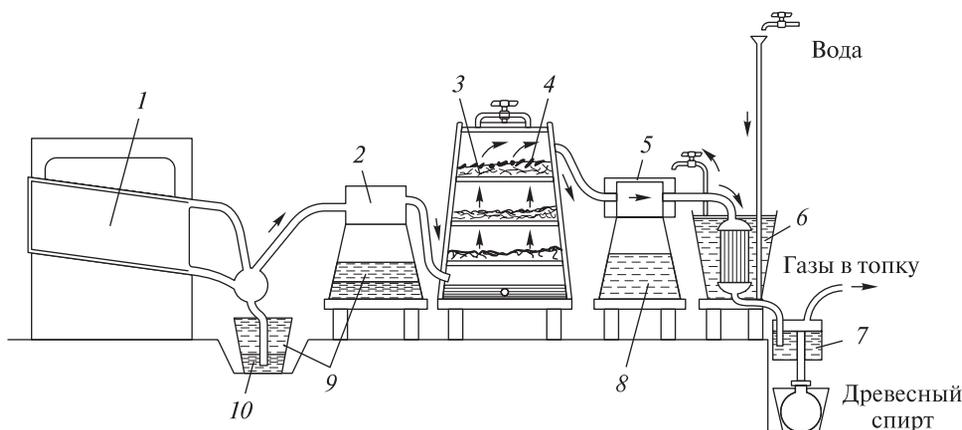


Рис. 14. Схема установки Вельской лесной школы для получения уксусной кислоты и древесного спирта: 1 — казан; 2 — холодильник для дегтя; 3 — солома; 4 — уголь; 5 — дефлегматор; 6 — холодильник для спирта; 7 — гидравлический запор; 8 — желтая древесная кислота; 9 — дегтярная вода; 10 — деготь

Fig. 14. Scheme of installation of the Velskaya forest school for the production of acetic acids and «wood alcohol»: 1 — cauldron; 2 — refrigerator for tar; 3 — straw; 4 — coal; 5 — deflegmator; 6 — refrigerator for alcohol; 7 — hydraulic lock; 8 — yellow wood acid; 9 — tar water; 10 — tar

и уксусной кислоты, была построена И.В. Овциным в 1824 г. в Санкт-Петербурге. В то время уксусную кислоту уже широко использовали в красильном и в ситценабивном производстве, но в основном она была иностранного происхождения или изготовленная из винного уксуса. Но уже в 1830 г. производство уксусной кислоты из древесины стало составлять 820 т. Ее использовали для получения солей алюминия, железа, меди, взамен железного купороса и ярь-медянки, свинца (свинцового сахара или сахара-сатурна) для протравного крашения тканей, при подготовки железных листов для лужения в кожевенном производстве, для сохранения мяса и рыбы вместо копчения, а в последствии для получения ацетатных растворителей. Владелец химического завода в Санкт-Петербурге Н.А. Жданов изготовил на ее основе дезинфекционную жидкость, с успехом применявшуюся в госпиталях Севастополя во время Крымской войны 1853–1856 гг. Знаменитый русский хирург Н.И. Пирогов писал: «Жидкость эта в самое короткое время превращает зловредный воздух в здоровый» [20].

Уксусную кислоту получали из жижки, обрабатывая ее мелом с получением древесного порошка (ацетата кальция), с последующей обработкой сульфатом натрия, прокаливанием для удаления смолистых веществ, обработкой 50 % серной кислотой с последующей перегонкой. Производство ее развивалось достаточно быстро, его объем к концу XIX в. составлял более 4 600 т уксусной кислоты и около 3 300 т древесного порошка.

Древесный (метиловый) спирт — мефил в незначительном количестве стали получать из надсмольной воды только в 60-е годы XIX в. Он

использовался для изготовления лаков, политуры, камфана (смеси со скипидаром 3:1), для осветительных ламп с некопящим ярким пламенем, не требующих стекол.

В конце XIX в. Вельской лесной школой была разработана установка для получения уксусной кислоты и древесного спирта (рис. 14), на которой из 30 кубических сажений березовых дров, при получении 2250 пудов угля, добывали 350 пудов древесного порошка, 550 пудов дегтя, и 25 пудов древесного спирта.

К концу XIX в. общее количество производимого древесного спирта не превышало, по-видимому, 1000 т, и только к 30-м годам XX в. его производство стало крупномасштабным.

4. Технологии промышленного пиролиза

Общая механизация технологий в начале XX в. привела к замене стационарных печей на вагонеточные реторты непрерывного действия [22]. В 1914–1915 гг. была спроектирована непрерывно действующая печь системы Аминова (рис. 15). Реторта представляла собой канал с кирпичной кладкой, состоящим из трех отсеков:

- 1) камеры приема (нижней изоляционной камеры);
- 2) верхней изоляционной камеры;
- 3) отсек для пиролиза.

В длину такая реторта была 55 м. Печь, к сожалению, не оправдала возложенных на нее надежд в отношении производительности и выхода целевого продукта. В условиях военного времени М.В. Аминову пришлось оставить свое место работы и, не запустив печь на полную эксплуатационную мощность, уехать на родину, а проведенные мероприятия по отладке работы печи все равно не дали положительного результата [17].

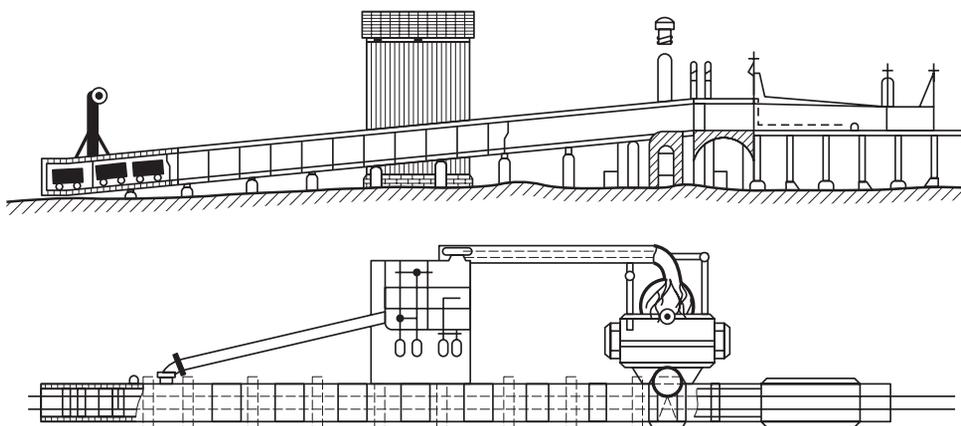


Рис. 15. Схема углевыжигательной печи Аминова
Fig. 15. Scheme of the Aminov charcoal kiln

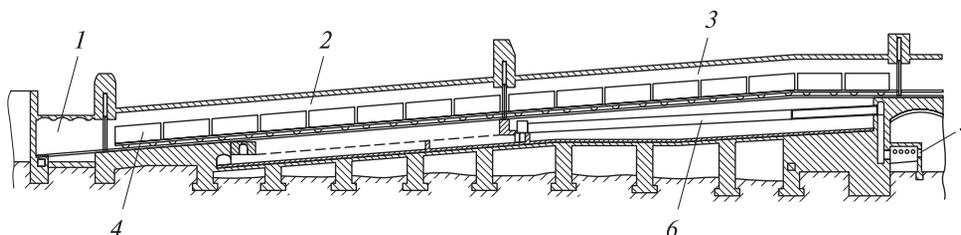


Рис. 16. Схема печи Аминова — Клячинского: 1 — нижняя изоляционная камера; 2 — камера сушки; 3 — камера пиролиза; 4 — вагончики с дровами; 5 — топка; 6 — калорифер
Fig. 16. Scheme of the Aminov — Klyachinsky furnace: 1 — lower isolation chamber; 2 — drying chamber; 3 — pyrolysis chamber; 4 — trailers with firewood; 5 — firebox; 6 — heater

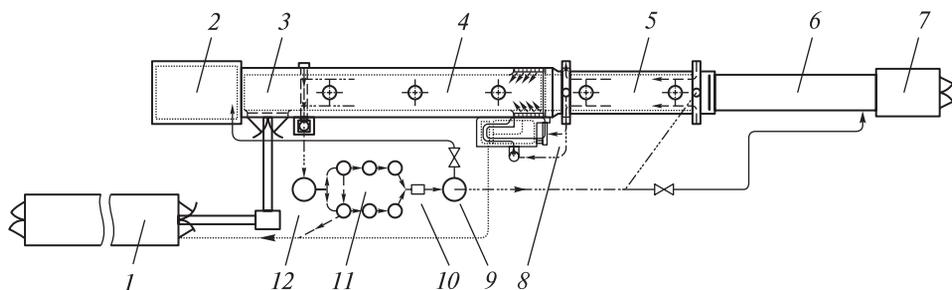


Рис. 17. Схема углевыжигательной печи Козлова: 1 — сушилка; 2 — помещение толкателя; 3, 7 — тамбуры; 4 — камера пиролиза; 5 — камера искусственного охлаждения; 6 — камера естественного охлаждения; 8 — калориферы; 9 — скруббер; 10 — вентилятор; 11 — конденсаторы; 12 — пылеулавливатель
Fig. 17. Scheme of Kozlov's charcoal kiln: 1 — dryer; 2 — pusher room; 3, 7 — tambours; 4 — pyrolysis chamber; 5 — artificial cooling chamber; 6 — free cooling chamber; 8 — heaters; 9 — scrubber; 10 — fan; 11 — condensers; 12 — dust collector

Задачу модернизации печи Аминова поручили Н.К. Клячинскому, который разделил камеру пиролиза на две части — камеру сушки и камеру жжения, а способ нагрева изменил на конвективный, установив калориферы, через которые проходила парогазовая смесь, образующаяся в результате разложения древесины. Затем она, проходя через вентилятор, подавалась в холодильник, где конденсировалась и в дальнейшем шла на переработку (рис. 16) [17].

Еще одним примером печи непрерывного действия является углевыжигательная печь, спроектированная В.Н. Козловым. Печь состоит из трех камер:

- 1) сушики;
- 2) пиролиза;
- 3) охлаждения.

Последняя, в свою очередь, делится на железную камеру естественного и кирпичную камеру искусственного охлаждения. В начале камеры пиролиза и в конце камеры охлаждения установ-

лены изоляционные камеры и тамбуры, служащие для ввода вагонеток с древесиной в камеру пиролиза и выдачи вагонеток из камеры охлаждения. Пиролиз проходит под действием циркулирующих газов разложения древесины, прошедших через конденсационную камеру. Парогазовые продукты разложения проходят через пылеулавливатель, где осаждаются мелкодисперсные частицы древесного угля. Отсюда парогазовая смесь проходит конденсационную систему, после чего вентилятором направляется либо в калорифер, а затем и в камеру пиролиза или сушки, либо в камеру охлаждения (рис. 17).

Печь системы Козлова имела следующие преимущества:

- камера сушки была отделена в независимую камеру, в результате чего газообразные продукты в меньшей степени обогащались парами воды, жидкие продукты пиролиза обогащались уксусной кислотой, метиловым спиртом и другими ценными продуктами, что облегчало их дальнейшую переработку;

- нагревание древесины осуществлялось за счет циркулирующей смеси парогазовых продуктов разложения древесины;

- теплота, выделявшаяся в камере искусственного охлаждения, использовалась для нагрева проходящей через нее парогазовой смеси, прежде чем она поступит в калорифер;

- во всех частях аппарата поддерживалось избыточное давление, что исключало попадание кислорода из воздуха.

Среди существовавших типов реторт интересна также реторта Стаффорда, отличительной особенностью которой было поддержание температуры процесса за счет реакций экзотермического разложения основных компонентов, проходящих в интервале температур от 270 °С и выше. Реторта представляла собой стальной цилиндр, хорошо изолированный от потери тепла. Переугливаемый материал сначала высушивали, подавали в реторту, а затем подогревали до температуры 300...400 °С, после чего обогрев прекращали. Температуру в центральной зоне поддерживали на уровне 515 °С. Уголь, получаемый в результате пиролиза, постепенно отбирали из нижней части реторты, а сверху дискретно подавали новые порции древесины. Для контроля процесса были уставлены несколько пирометров, замеряющих температуру внутри печи (рис. 18) [17]. Печь необходимо было периодически останавливать для процесса очистки. Ретортой Стаффорда был оснащен один из заводов Г. Форда, где ежегодно перерабатывалось до 400 т различных древесных отходов.

5. Современные методы пиролиза

Последующее развитие технологии пиролиза привело к появлению в 1980-х гг. непрерывно

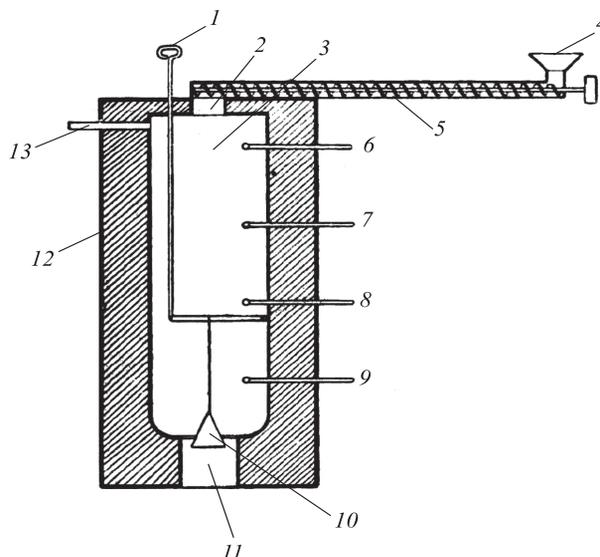


Рис. 18. Реторта Стаффорда: 1 — труба для подачи газа теплоносителя; 2 — отверстие для загрузки материала; 3 — зона пиролиза древесины; 4 — загрузочная воронка; 5 — шнековый питатель для подачи; 6–9 — пирометры; 10 — клапан для закрытия отверстия для выгрузки; 11 — отверстие для выгрузки угля; 12 — стенки реторты; 13 — труба для отвода газообразных продуктов пиролиза

Рис. 18. Scheme representation of a Stafford retort: 1 — pipe for supplying coolant gas; 2 — hole for loading material; 3 — wood pyrolysis zone; 4 — loading funnel; 5 — screw feeder for feeding; 6–9 — pyrometers; 10 — valve for closing the discharge hole; 11 — hole for unloading coal; 12 — retort walls; 13 — pipe for removing gaseous pyrolysis products

действующей вертикальной реторты [19], которая представляла собой большой цилиндр (диаметром от 2,7 до 3,8 м и высотой до 27 м), в нем циркуляция теплоносителя происходила непрерывно, как и процесс пиролиза. Переугливаемую древесину дискретно небольшими порциями загружали сверху, а получаемый уголь небольшими партиями отбирали со дна реторты. Верхний затвор автоматически открывался и закрывался, в зависимости от расположения ковша скипового механизма. Для обеспечения равномерного движения древесины в реторте был установлен стальной конус, обращенный основанием вниз. Он задерживал спуск центральной части столба древесины, уменьшая давление шихты на выгрузочный скребковый конвейер. Реторта имела четыре штуцера:

- 1) для выхода газообразных продуктов разложения;
- 2) ввода теплоносителя;
- 3) выхода газов;
- 4) ввода газов, охлаждающих уголь (рис. 19).

Последние исследования по модернизации оборудования для производства древесного угля связаны с разработкой кассетных установок повышенной производительности.

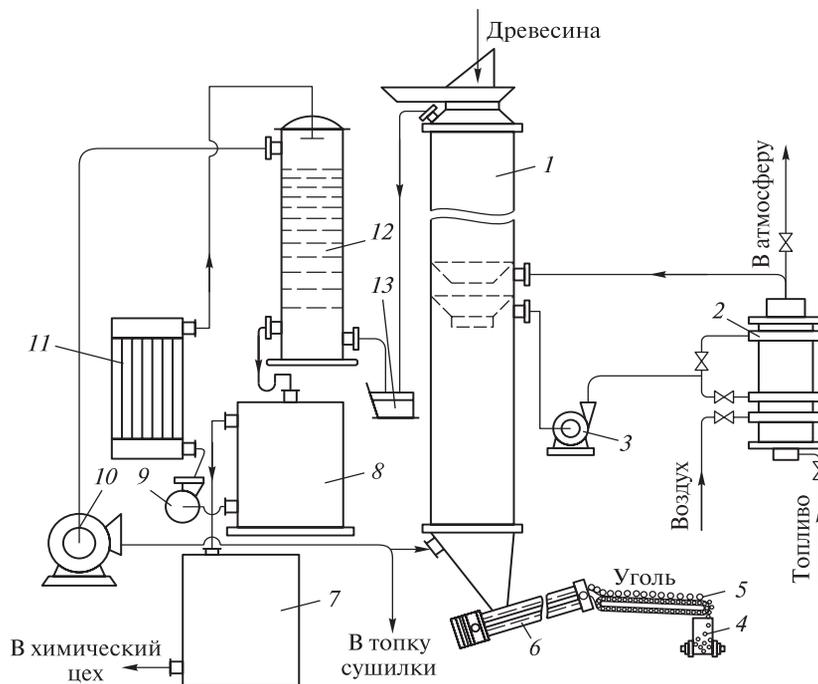


Рис. 19. Схема непрерывно действующей вертикальной реторты [1]: 1 — вертикальная реторта; 2 — топка; 3 — турбогазодувка второго контура; 4 — контейнер для угля; 5 — конвейер-стабилизатор; 6 — скребковый конвейер; 7 — сборник жидких продуктов пиролиза; 8 — сборник оборотной жидки; 9 — насос; 10 — турбогазодувка; 11 — холодильник; 12 — скруббер; 13 — гидрозатвор

Fig. 19. Scheme of a continuous vertical retort: 1 — vertical retort; 2 — furnace; 3 — turbo-gas blowing of the second circuit; 4 — container for coal; 5 — stabilizer conveyor; 6 — scraper conveyor; 7 — collection of liquid pyrolysis products; 8 — collection of circulating liquid; 9 — pump; 10 — turbo gas blower; 11 — refrigerator; 12 — scrubber; 13 — water seal

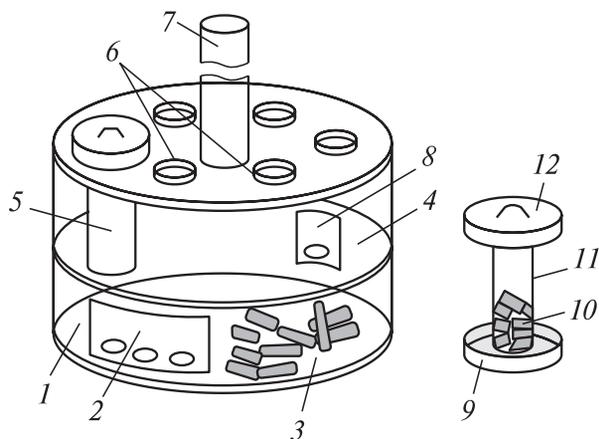


Рис. 20. Схема углевыжигательной печи Лесотехнической академии им. С.М. Кирова: 1 — топочное пространство; 2 — топочное отверстие; 3 — дрова в топке; 4 — пиролизная камера; 5 — реторта; 6 — ячейки; 7 — дымовая труба; 8 — дутьевой лючок; 9 — песчаный затвор; 10 — реторта с углем; 11 — колосник реторты; 12 — крышка реторты с затвором

Fig. 20. Scheme of charcoal kiln LTA im. S.M. Kirov: 1 — furnace space; 2 — furnace opening; 3 — firewood in the furnace; 4 — pyrolysis chamber; 5 — retort; 6 — cells; 7 — chimney; 8 — blowhole; 9 — sand gate; 10 — cake with coal; 11 — retort grate; 12 — retort lid with shutter

Первой из таких установок стала разработанная специалистами Лесотехнической академии (ЛТА) им. С.М. Кирова печь, в которой топка работает непрерывно, а небольшие реторты помещаются в пространство, нагреваемое перегретым теплоносителем, периодически вынимаются оттуда и загружаются новые (рис. 20) [24].

Дальнейшее развитие этого направления привело к разработке серии пиролизных аппаратов «Поликор», «Эколон» и др., имеющих повышенную производительность (до 1000 т/год). «Эколон» (рис. 21) представляет собой установку с достаточно большим количеством небольших реторт (до 36). Его можно использовать для производства угля, как и из древесины, так и из отходов лесозаготовок и деревообрабатывающих производств. Реторты представляют собой стальные цилиндры высотой 3,3 м и диаметром 1,02 м с наглухо приваренным дном и крышкой, откидывающейся на петлях при загрузке сырья и выгрузке угля. В верхних и нижних частях реторт приварены петли для зацепления строп подъемного механизма, расположенного на козловом кране. В нижней крышке сделаны отверстия для выхода газов, которые поступают в топку через

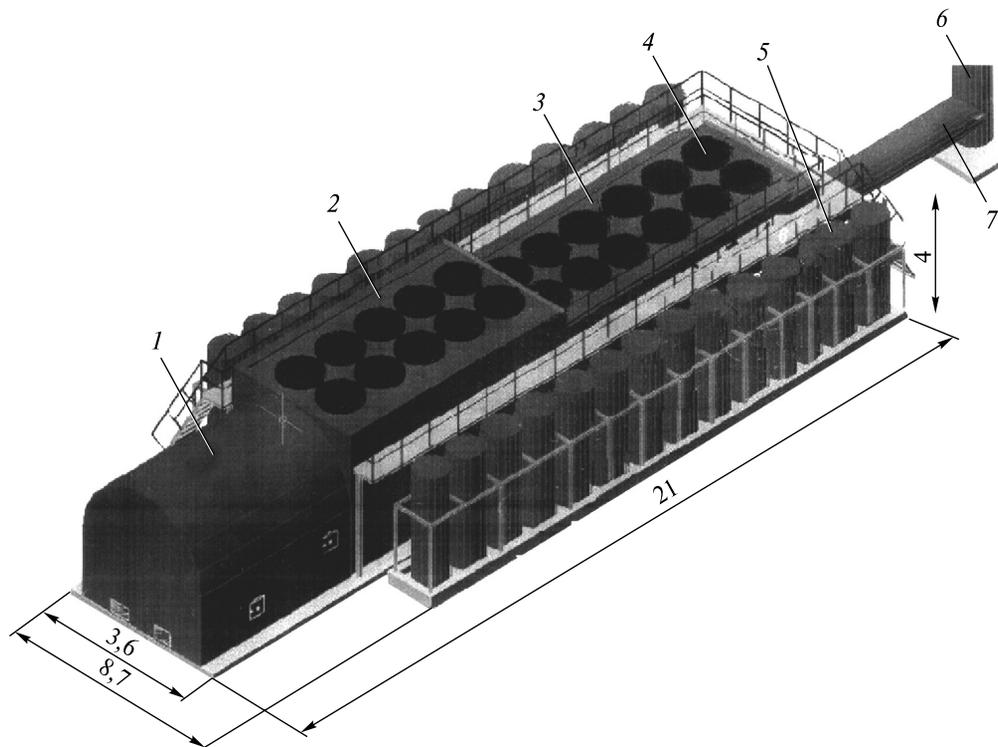


Рис. 21. Схема установки «Эколон 5,2»: 1 — топка; 2 — пиролизная камера; 3 — сушильная камера; 4 — зона пиролиза; 5 — реторты; 6 — лестницы и площадки; 7 — боров; 8 — дымовая труба
Fig. 21. Scheme of «Ekolon 5.2» installation: 1 — furnace; 2 — pyrolysis chamber; 3 — drying chamber; 4 — pyrolysis zone; 5 — retorts; 6 — ladders and platforms; 7 — hog; 8 — chimney

специальные каналы и сжигаются в ней. Сама печь разделена на две зоны:

- 1) сушки;
- 2) пиролиза.

Установка является непрерывно действующей, экологически чистой, а при утилизации избыточной тепловой энергии может дополнительно выполнять функции квартальной котельной [25].

По современным технологиям пирогенетической переработки древесины ни жидкие, ни газообразные продукты не востребованы вследствие хорошо развитой нефтепереработки и используются в качестве технологического топлива, как правило, в избыточном количестве. Приведем высказывание Д.И. Менделеева «Нефть — не топливо, топить можно и ассигнациями». Но нефть и уголь — не возобновляемые ресурсы, а древесина — возобновляема и экологична, и опыт ее 1000-летнего использования в нашей стране в качестве лесохимического сырья свидетельствует о том, что такое положение дел является расточительным и недальновидным, а комплексное использование всех продуктов пиролиза признается более рациональным.

6. Древесный уголь — материал будущего

В настоящее время ведущими странами мира производится более 25 млн т/год древесного угля. Лидерами производства древесного угля

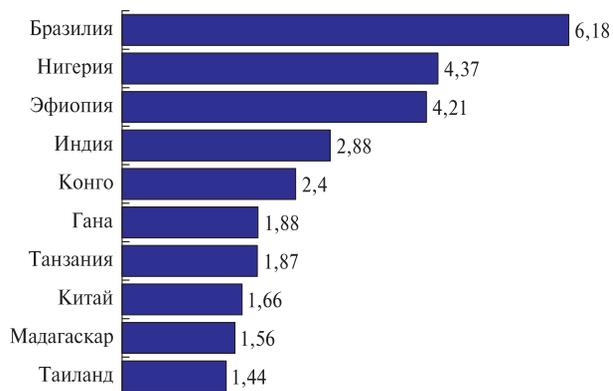


Рис. 22. Рейтинг ведущих стран по выработке древесного угля по состоянию на 2015 г., млн т/год [25]
Fig. 22. Rating of the leading countries for the production of charcoal as of 2015, million tons/year [25]

можно назвать те страны, которые используют уголь для удовлетворения своих промышленных потребностей, например Бразилию, в которой уголь используется в качестве восстановителя в металлургии, или Китай, где древесный уголь используют в качестве восстановителя в производстве кристаллического кремния. Кроме того, это страны, для которых древесный уголь является традиционным топливом (страны Африканского континента) (рис. 22) [26].

Российские предприятия производят древесного угля не многим более 100 тыс. т/год [19]. В настоящее время в качестве сырья используется специально заготовленная кондиционная древесина, что существенно сказывается на стоимости главного продукта пирогагенитической переработки древесины, поскольку расходы на сырье в пиролизном производстве составляют основную статью затрат [18]. Высокая стоимость предопределяет недостаточную конкурентную способность продукции по сравнению с ископаемым углем. Для снижения себестоимости угля интерес представляют отходы лесозаготовительных и деревоперерабатывающих производств, однако использование мелкодисперсных отходов ограничено тем, что уголь из такого сырья получается мелкий и низкой прочности [22]. Этот уголь можно эффективно перерабатывать в топливные брикеты.

Еще одним привлекательным сырьем для пиролиза может быть некондиционная древесина. Традиционно древесина, подвергнутая действию дереворазрушающих грибов, рассматривается как обременительный отход. Тем не менее, такую древесину можно использовать в качестве терморезистивного компонента при пиролизе еще одного обременительного отхода — гидролизного лигнина. Работы в этом направлении в настоящее время ведутся на кафедре «Химии и химической технологии в лесном комплексе» Мытищинского филиала МГТУ им. Н.Э. Баумана под руководством профессора Г.Н. Кононова [27].

Основные тенденции производства и использования древесного угля связаны с расширением и оптимизацией использования древесного угля в различных промышленных производствах, например в производстве кремния и сероуглерода. Уменьшение себестоимости древесного угля позволит увеличить сферу применения древесного угля в химической промышленности, в качестве носителя катализаторов, сорбционных систем и восстановителя. Отдельный интерес из продуктов переработки древесного угля представляет активированный уголь, который используется в качестве сорбента для очистки водных систем. С учетом ужесточения экологического законодательства, можно ожидать, что активированный уголь станет наиболее распространенным сорбентом для улавливания токсичных загрязнений, очистки серосодержащих природных газов, процессов демеркуризации и т. д., а сырьевые источники для его производства являются возобновляемыми, следовательно, потенциально неисчерпаемыми.

Выводы

Анализ исторического развития пирогагенитических технологий переработки древесины позволил сделать следующие выводы.

1. На ранних стадиях развития технологии наиболее востребованным продуктом был древесный уголь, используемый в качестве восстановителя в кустарной металлургии и как компонент пирогагенитических композиций.

2. На индустриальном этапе развития технологий началось комплексное использование жидких продуктов пиролиза, а впоследствии и продуктов паро-газовых смесей.

3. В настоящее время пиролиз приобретает вид энергохимического процесса, единовременным продуктом которого является древесный уголь — высоковольтное сырье в различных технологиях и незаслуженно забытые другие ценные продукты пиролиза.

Список литературы

- [1] Выродов В.А., Кислицын А.Н., Глухарева М.И. Технология лесохимических производств. М.: Лесная промышленность, 1987. 352 с.
- [2] Бронзов О.В., Уткин Г.К., Кислицын А.Н. Древесный уголь. Получение, основные свойства, области применения древесного угля. М.: Лесная промышленность, 1979. 137 с.
- [3] Кононов Г.Н. Древесная смола // Большая Российская энциклопедия. Т. 9. М.: БОЭ, 2007. С. 329–330.
- [4] Шейпак А.А. История науки и техники. Материалы и технологии. В 2 ч. Ч. II. М.: МГИУ, 2010. 343 с.
- [5] Миттова И.Я., Самойлов А.М. История химии с древнейших времен до конца XX века. Долгопрудный: Интеллект, 2009. 416 с.
- [6] Толстоногов Э.Ю. Древесный уголь (технология производства, оборудование, экономика). Хабаровск: Хабаровское книжное издательство, 2003. 64 с.
- [7] Буллер М.Ф. Промышленные взрывчатые вещества. Сумы: Издательство СумГУ, 2009. 226 с.
- [8] Третьяков Г.М., Сиротинский В.Ф., Шехтер Б.И. Курс артиллерии. Том II. Боеприпасы, пороха и взрывчатые вещества. М.: Государственное издательство оборонной промышленности, 1952. 484 с.
- [9] Келли Дж. Порох. От алхимии до артиллерии: история вещества, которое изменило мир. М.: КоЛибри, 2005. 340 с.
- [10] История Китая с древнейших времен до начала XXI века. В 10 т. Т. 3. Троецарствие, Цзинь, Южные и Северные династии, Суй, Тан (220–07) / под ред. С.Л. Тихвинского. М.: Наука, 2013. 991 с.
- [11] История Китая с древнейших времен до начала XXI века. В 10 т. Т. 4. Период Пяти династий, империя Сун, государство Ляо, Цзинь, Си Ся (907–1279) / под ред. С.Л. Тихвинского. М.: Наука, 2013. 942 с.
- [12] Лукьянов П.М. История химических промыслов и химической промышленности России до конца XIX века. Том III. М.: Изд-во АН СССР, 1951. 618 с.
- [13] Marsh H., Rodriguez-Reinoso F. Activated Carbon. Amsterdam: Elsevier Science & Technology Books, 2006. 536 p.
- [14] Юркевич А.А., Ивахнюк Г.К., Федоров Н.Ф. Технологические основы производства химических компонентов систем жизнеобеспечения. СПб.: Лань, 2015. 368 с.
- [15] Кинле Х., Бадер Э. Активные угли, их промышленное применение. Л.: Химия, 1984. 216 с.
- [16] Фигуровский Н.А. Очерк возникновения и развития угольного противогаса Н.Д. Зелинского. М.: Изд-во АН СССР, 1952. 205 с.

- [17] Васечкин В.С., Мишин А.Д. Химическая переработка древесины. Свердловск; М.: Гослестехиздат, 1933. 264 с.
- [18] Юрьев Ю.Л. Технология лесохимических производств. Пиролиз древесины. Екатеринбург: УГЛА, 1997. 99 с.
- [19] Вильданов Ф.Ш., Агабеков В.Е., Латыпова Ф.Н., Чанышев Р.Р., Просочкина Т.Р., Красько С.А., Булатова Ю.А. Лесохимия — современное состояние и перспективы развития. Ч. 2. Пиролиз древесины // Башкирский химический журнал. 2013. Т. 20. № 3. С. 123–128
- [20] Ногин К.И. Сухая перегонка дерева. Л.: Гослестехиздат, 1936. 498 с.
- [21] Славянский А.К., Шарков В.И., Ливеровский А.А., Буевской А.В., Медников Ф.А., Лямин В.А., Солодкий Ф.Т., Цацка Э.М., Дмитриева О.А., Никандров Б.Ф. Химическая технология древесины. М.: Гослестехиздат, 1962. 576 с.
- [22] Юрьев Ю.Л. Тенденции развития технологии пиролиза древесины // Леса России и хозяйство в них, 2016. № 3 (58). С. 58–63
- [23] Гордон Л.В., Скворцов С.О., Лисов В.И. Технология и оборудование лесохимических производств. М.: Лесная пром-сть, 1988. 360 с.
- [24] Левин А.Б., Семенов Ю.П., Малинин В.Г., Хроменко А.В. Энергетическое использование древесной биомассы. М.: ИНФРА-М, 2016. 199 с.
- [25] Ягодин В.И., Юдкевич Ю.Д. Новый энерготехнологический комплекс «ПОЛИКОР» для производства древесного угля и тепловой энергии из лесосечных отходов. Древесные отходы — потенциальный заменитель традиционных видов топлива. СПб.: Изд-во Санкт-Петербургской ЛТА, 2002. С. 31
- [26] Куда девать лиственную древесину? Ч. 3. Производство древесного угля // ЛесПромИнформ, № 3 (125), 2017. С. 116–124
- [27] Кононов Г.Н., Зарубина А.Н., Зайцев В.Д. Влияние технологических факторов на процесс пиролиза модифицированного гидролизного лигнина // Леса России: политика, промышленность, наука, образование: Материалы 5-й научно-технической конференции-вебинара / под. ред. В.М. Гедьо. Санкт-Петербург, 16–18 июня 2020 г. СПб.: Изд-во Санкт-Петербургского ЛТУ, 2020. С. 142–145.

Сведения об авторах

Кононов Георгий Николаевич — канд. техн. наук, доцент МГТУ им. Н.Э. Баумана (Мытищинский филиал), чл.-кор. РАЕН, ученый секретарь секции «Химии и химической технологии древесины» РХО им. Д.И. Менделеева, kononov@mgul.ac.ru

Зарубина Анжелла Николаевна — канд. техн. наук, доцент, зав. кафедрой «Химия и химические технологии в лесном комплексе» МГТУ им. Н.Э. Баумана (Мытищинский филиал), zarubina@mgul.ac.ru

Веревкин Алексей Николаевич — канд. хим. наук, доцент МГТУ им. Н.Э. Баумана (Мытищинский филиал), verevkin@mgul.ac.ru

Зайцев Владислав Дмитриевич — аспирант МГТУ им. Н.Э. Баумана (Мытищинский филиал), kelertak@bk.ru

Чекунин Дмитрий Борисович — канд. техн. наук, ст. науч. сотр. научно-исследовательского института филиал АО «Гознак», kelertak@bk.ru

Поступила в редакцию 01.10.2020.

Принята к публикации 22.12.2020.

WOOD AS A CHEMICAL RAW MATERIAL. HISTORY AND MODERNITY

III. WOOD PYROLYSIS AS PROCESSING METHOD

G.N. Kononov¹, A.N. Zarubina¹, A.N. Verevkin¹, V.D. Zaytsev¹, D.B. Chekunin²

¹BMSTU (Mytishchi branch), 1, 1st Institut'skaya st., 141005, Mytishchi, Moscow reg., Russia

²Research institute – Branch of Goznak, 19, Mytnaya st., 115162, Moscow, Russia

kononov@mgul.ac.ru

The article is devoted to the history of pyrogenetic wood processing. The stages of development of this branch of wood chemistry from ancient times to our time are considered. The features of the technologies of pit, heap and fire coal burning are described in detail. Considered are the schematic diagrams of batch and continuous charcoal kilns, as well as modern retort technologies for pyrolysis of wood and waste of its mechanical and chemical processing. This article is the third in the series «Wood as a chemical raw material — history and modernity», the first and second were published in the journal «Forestry Bulletin», volumes 24, № 1 and № 5.

Keywords: wood pyrolysis, wood chemistry, charcoal

Suggested citation: Kononov G.N., Zarubina A.N., Verevkin A.N., Zaytsev V.D., Chekunin D.B. *Drevesina kak khimicheskoe syr'e. Istoriya i sovremennost'. III. Piroliz drevesiny kak metod ee pererabotki* [Wood as a chemical raw material. History and modernity. III. Wood pyrolysis as processing method]. *Lesnoy vestnik / Forestry Bulletin*, 2021, vol. 25, no. 3, pp. 126–141. DOI: 10.18698/2542-1468-2021-3-126-141

References

- [1] Vyrodov V.A., Kislitsyn A.N., Glukhareva M.I. *Tekhnologiya lesokhimicheskikh proizvodstv*. [Wood chemical technology]. Moscow: Forest industry, 1987, 352 p.
- [2] Bronzov O.V., Utkin G.K., Kislitsyn A.N. *Drevesnyy ugol'. Poluchenie, osnovnye svoystva, oblasti primeneniya drevesnogo uglya* [Wood charcoal. Production, basic properties, charcoal applications]. Moscow: Forest industry, 1979, 137 p.
- [3] Kononov G.N. *Drevesnaya smola* [Wood resin]. Great Russian Encyclopedia [Bol'shaya Rossiyskaya entsiklopediya]. T. 9. Moscow: BOE, 2007, pp. 329–330.
- [4] Sheypak A.A. *Istoriya nauki i tekhniki. Materialy i tekhnologii* [History of science and technology. Materials and technology]. Moscow: MSIU, 2010, 343 p.
- [5] Mittova I.Ya., Samoylov A.M. *Istoriya khimii s drevneyshikh vremen do kontsa XX veka* [History of chemistry from ancient times to the end of the 20th century]. Dolgoprudny: Intelligence, 2009, 416 p.
- [6] Tolstonogov E.Yu. *Drevesnyy ugol' (tekhnologiya proizvodstva, oborudovanie, ekonomika)* [Charcoal (production technology, equipment, economy)]. Khabarovsk: Khabarovsk book publishing house, 2003, 64 p.
- [7] Buller M.F. *Promyshlennyye vzryvchatye veshchestva* [Industrial explosives]. Sumy: Publishing House of SSU, 2009, 226 p.
- [8] Tret'yakov G.M., Sirotnitskiy V.F., Shekhter B.I. *Kurs artillerii. Tom II. Boepripasy, porokha i vzryvchatye veshchestva* [Artillery Course. Volume II. Ammunition, gunpowder and explosives]. Moscow: State publishing house of defense industry, 1952, 484 p.
- [9] Kelli J. *Porokh. Ot alkhimii do artillerii: istoriya veshchestva, kotoroe izmenilo mir* [Gunpowder. From alchemy to artillery: The story of the substance that changed the world]. Moscow: Colibri, 2005, 340 p.
- [10] *Istoriya Kitaya s drevneyshikh vremen do nachala XXI veka. V 10 t. T. 3. Troetsarstvie, Tsin', Yuzhnye i Severnye dinastii, Suy, Tan (220–07)* [The history of China from ancient times to the beginning of the XXI century. In 10 v. V. 3. Three Kingdoms, Jin, Southern and Northern dynasties, Sui, Tang]. Ed. S.L. Tikhvinskiy. Moscow: Science, 2013, 991 p.
- [11] *Istoriya Kitaya s drevneyshikh vremen do nachala XXI veka. V 10 t. T. 4. Period Pyati dinastiy, imperiya Sun, gosudarstvo Lyao, Tsin', Si Sya (907–1279)* [The history of China from ancient times to the beginning of the XXI century. In 10 v. V. 4. Five Dynasties Period, Song Empire, Liao State, Jin, Xi Xia] / by ed. S.L. Tikhvinskiy. Moscow: Science, 2013, 942 p.
- [12] Luk'yanov P.M. *Istoriya khimicheskikh promyslov i khimicheskoy promyshlennosti Rossii do kontsa XIX veka* [History of chemical crafts and the chemical industry of Russia until the end of the XIX century]. V. III. Moscow: Publishing House of the USSR Academy of Sciences, 1951, 618 p.
- [13] Marsh H., Rodriguez-Reinoso F. *Activated Carbon*. Amsterdam: Elsevier Science & Technology Books, 2006, 536 p.
- [14] Yurkevich A.A., Ivakhnyuk G.K., Fedorov N.F. *Tekhnologicheskie osnovy proizvodstva khimicheskikh komponentov sistem zhizneobespecheniya* [Technological basis for the production of chemical components of life support systems]. St. Petersburg: Lan, 2015, 368 p.
- [15] Kinle H., Bader E. *Aktivnyye ugli ikh promyshlennoe primeneniye* [Active carbons and their industrial application]. Leningrad: Chemistry, 1984, 216 p.
- [16] Figurovskiy N.A. *Ocherk vozniknoveniya i razvitiya ugol'nogo protivogaza N.D. Zelinskogo* [Essay on the origin and development of a coal gas mask N.D. Zelinsky]. Moscow: Publishing House of the USSR Academy of Sciences, 1952, 205 p.
- [17] Vasechkin V.S., Mishin A.D. *Khimicheskaya pererabotka drevesiny* [Chemical wood processing]. Sverdlovsk–Moscow: Goslestekhzdat, 1933, 264 p.
- [18] Yur'ev Yu.L. *Tekhnologiya lesokhimicheskikh proizvodstv. Piroliz drevesiny* [Wood chemical technology. Part 1. Wood pyrolysis]. Yekaterinburg: USFU, 1997, 99 p.
- [19] Vil'danov F.Sh., Agabekov V.E., Latypova F.N., Chanyshev R.R., Prosochkina T.R., Kras'ko S.A., Bulatova Yu.A. *Lesokhimiya — sovremennoye sostoyaniye i perspektivy razvitiya. Ch. 2. Piroliz drevesiny* [Wood chemistry — the current state and development prospects. Part 2. Wood pyrolysis]. *Bashkirskiy khimicheskii zhurnal* [Bashkir Chemical Journal], 2013, v. 20, no. 3, pp. 123–128.

- [20] Nogin K.I. *Sukhaya peregonka dereva* [Dry distillation of wood]. Leningrad: Goslestezhizat, 1936, 498 p.
- [21] Slavyanskiy A.K., Sharkov V.I., Liverovskiy A.A., Buevskoy A.V., Mednikov F.A., Lyamin V.A., Solodkiy F.T., Tsatska E.M., Dmitrieva O.A., Nikandrov B.F. *Khimicheskaya tekhnologiya drevesiny* [Chemical technology of wood]. Moscow: Goslembumizdat, 1962, 576 p.
- [22] Yur'ev Yu.L. *Tendentsii razvitiya tekhnologii piroliza drevesiny* [Trends in the development of wood pyrolysis technology]. *Lesa Rossii i khozyaystvo v nikh* [Russian forests and household in them], 2016, no. 3 (58), pp. 58–63.
- [23] Gordon L.V., Skvortsov S.O., Lisov V.I. *Tekhnologiya i oborudovanie lesokhimicheskikh proizvodstv* [Technology and equipment of wood chemical production]. Moscow: Forest industry, 1988, 360 p.
- [24] Levin A.B., Semenov Yu.P., Malinin V.G., Khromenko A.V. *Energeticheskoe ispol'zovanie drevesnoy biomassy* [Energy use of woody biomass]. Moscow: Infra-M, 2016, 199 p.
- [25] Yagodin V.I., Yudkevich Yu.D. *Novyy energotekhnologicheskii kompleks «Polikor» dlya proizvodstva drevesnogo uglya i teplovy energii iz lesosechnykh otkhodov. Drevesnye otkhody — potentsial'nyy zamenitel' traditsionnykh vidov topliva* [New energy-technological complex «Polikor» for the production of charcoal and thermal energy from logging waste. Wood waste is a potential substitute for traditional fuels]. St. Petersburg: SPBLTA, 2002, p. 31.
- [26] *Kuda devat' listvennyuyu drevesinu? Ch. 3. Proizvodstvo drevesnogo uglya* [Where to put hardwood? Part 3. Charcoal production]. *LesPromInform*, 2017, no. 3 (125), pp. 116–124.
- [27] Kononov G.N., Zarubina A.N., Zaytsev V.D. *Vliyanie tekhnologicheskikh faktorov na protsess piroliza modifitsirovannogo gidroliznogo lignina* [Influence of technological factors on the process of pyrolysis of modified hydrolysis lignin]. *Lesa Rossii: politika, promyshlennost', nauka, obrazovanie: materialy pyatoy nauchno-tekhnicheskoy konferentsii-vebinara* [Forests of Russia: politics, industry, science, education. Materials of the fifth scientific and technical conference-webinar]. Ed. V.M. Ged'o. St. Petersburg, June 16–18, 2020 St. Petersburg: SPbGLTU, 2020, pp. 142–145.

Authors' information

Kononov Georgiy Nikolaevich — Cand. Sci. (Tech.), Associate Professor of the BMSTU (Mytishchi branch), Corresponding Member of the Russian Academy of Natural Sciences, the Scientific Secretary of section «Chemistry and engineering chemistry of wood» RHO of D. I. Mendeleev, kononov@mgul.ac.ru

Zarubina Anzhella Nikolaevna — Cand. Sci. (Tech.), Associate Professor, Head of Department of «Chemistry and Chemical Technologies in the Forestry Complex» of the BMSTU (Mytishchi branch), zarubina@mgul.ac.ru

Verevkin Aleksey Nikolaevich — Cand. Sci. (Chem.), Associate Professor of the BMSTU (Mytishchi branch), verevkin@mgul.ac.ru

Zaytsev Vladislav Dmitrievich — Postgraduate Student of the BMSTU (Mytishchi branch), kelertak@bk.ru

Chekunin Dmitry Borisovich — Cand. Sci. (Tech.), Senior Researcher of the Scientific Research Institute — branch of JSC «Goznak», kelertak@bk.ru

Received 01.10.2020.

Accepted for publication 22.12.2020.

ПРОБЛЕМА КОРРОЗИИ ТЕХНОЛОГИЧЕСКОГО ОБОРУДОВАНИЯ НА ПРЕДПРИЯТИЯХ ПО ХИМИЧЕСКОЙ ПЕРЕРАБОТКЕ ДРЕВЕСИНЫ (ОБЗОР)

Г.Л. Олиференко¹, А.Н. Иванкин¹, А.В. Устюгов², А.Н. Зарубина¹

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

²МИРЭА – Российский технологический университет (РТУ МИРЭА), 119454, г. Москва, Проспект Вернадского, д. 78

oliferenko2@inbox.ru

Рассмотрены коррозионные процессы технологического оборудования на предприятиях целлюлозно-бумажной, гидролизной и лесохимической промышленности. Охарактеризовано влияние основных химических веществ, задействованных в технологическом процессе или образующихся при химической переработке древесины. Показана значимость использования легированных, коррозионностойких марок стали — 10X17H13M2T, 10X17H13M3T, 08X17H15M3T в процессах химической трансформации. Представлена информация о способах защиты конструкционных материалов от коррозии на предприятиях за последние годы. Отмечена перспективность промышленного использования метода анодной защиты, заключающегося в создании на поверхности защищаемой конструкции пассивирующей пленки путем анодной поляризации от внешнего источника постоянного тока. Аргументирована важность применения ингибиторов в составе технологических сред как одного из наиболее эффективных способов борьбы с коррозией металлов в агрессивных средах. Показана перспективность применения достижений зеленой химии, в частности, отходов переработки, как самой древесины, так и ингибиторов коррозии на основе растительных экстрактов, в качестве антикоррозионных средств, наряду с известными ингибиторами кислотной коррозии: КИ-1, ПБ-5, ПКУ-3, ХОСП-10, уротропина, КПИ-3, И-1-В и БА-6.

Ключевые слова: коррозия, химическая переработка древесины, защита от коррозии, ингибиторы коррозии

Ссылка для цитирования: Олиференко Г.Л., Иванкин А.Н., Устюгов А.В., Зарубина А.Н. Проблема коррозии технологического оборудования на предприятиях по химической переработке древесины (обзор) // Лесной вестник / Forestry Bulletin, 2021. Т. 25. № 3. С. 142–151. DOI: 10.18698/2542-1468-2021-3-142-151

Коррозия металлов и сплавов наносит большой экономический и экологический ущерб народному хозяйству и приводит ежегодно к миллиардным убыткам. Основная проблема, причиняемая коррозией, заключается не только в потере металла как такового, но и в высокой стоимости металлических изделий, технологического оборудования и конструкций, разрушаемых коррозией, а также в косвенных потерях от выхода из строя агрегатов и устройств [1, 2]. Вследствие соприкосновения с сильноагрессивными технологическими средами коррозии подвержено практически все технологическое оборудование предприятий топливно-энергетического комплекса, химической, нефтехимической, целлюлозно-бумажной, гидролизной и лесохимической промышленности, т.е. там, где используются устройства и агрегаты, изготовленные из металлов [3–5].

Цель работы

Цель работы — анализ основных химических веществ и технологических параметров, влияющих на коррозионную стойкость оборудования, используемого при химической переработке древесины.

Химическую переработку древесины осуществляют на предприятиях целлюлозно-бумажной, гидролизной и лесохимической промышленности. Посредством делигнификации древесины произ-

водят целлюлозу, из которой в дальнейшем получают производные целлюлозы — химические волокна и бумагу [6, 7]. Посредством гидролиза древесины получают глюкозу и ксилозу, которые затем перерабатывают в этанол, ксилит, кормовые белковые дрожжи, диоксид углерода — фурфурол и его производные, органические кислоты и другие ценные продукты [6–8].

Термохимические процессы — пиролиз и газификация позволяют производить древесный уголь, вещества-восстановители, деготь, топливный газ [8]. Технологии экстракции используются для получения дубильных композиций, эфирных масел, биологически активных и пищевых веществ [9].

При химической переработке древесины в качестве целевых продуктов получают большое количество разнообразных химических веществ, при этом образуются сопутствующие им коррозионно-активные компоненты (CO_2 , H_2S , SO_2 , H_2O , растворы электролитов и др.) [6, 7, 10].

Технологическое оборудование предприятий химической переработки древесины, в том числе варочные котлы и подогреватели варочного щелока для производства целлюлозы, реакторы для гидролиза древесины, реторты для пиролиза древесины, трубы и детали печной арматуры пиролизных установок, резервуары, теплообменники, испарители и др., при длительной эксплуатации подвергается коррозии под воздействием

той или иной агрессивной среды: парогазов, содержащих CH_3SH , CH_3SCH_3 , H_2S , SO_2 , CO_2 , CO , H_2 , CH_4 и другие углеводороды, щелока (NaOH , Na_2S , Na_2SO_4 , Na_2CO_3 , Na_2SO_3 , $\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3$, Na_2SiO_3), растворов кислот (H_2SO_4 , HCl). Коррозионный процесс развивается, несмотря на то, что для изготовления данного оборудования используют нержавеющие стали [4, 5].

Коррозия технологического оборудования предприятий химической переработки древесины

Коррозия в целлюлозно-бумажной промышленности. В настоящее время в мире наиболее распространен сульфатный метод производства целлюлозы [5–7]. Основная стадия этого процесса, сульфатная варка, заключается в обработке древесной щепы водным раствором, содержащим NaOH и Na_2S (белый щелок), при нагревании до $165\text{...}175\text{ }^\circ\text{C}$ под давлением $0,25\text{...}0,8\text{ МПа}$ в течение $1\text{...}3\text{ ч}$. При этом в нерастворенной форме остается целлюлоза, а другие содержащиеся в древесине вещества, например лигнин, переходят в раствор. Целлюлозу, производимую сульфатным методом, называют сульфатной целлюлозой. Основными компонентами варочного раствора перед началом варки (белого щелока) являются NaOH и Na_2S ; в состав раствора в значительно меньших количествах входят также другие соли натрия, способствующие коррозии: Na_2CO_3 , Na_2SO_4 , Na_2SO_3 , $\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3$, Na_2S_x , NaAlO_2 , Na_2SiO_3 .

В процессе варки состав варочного раствора существенно изменяется, концентрация активной щелочи снижается практически в 10 раз, в растворе появляются многочисленные органические соединения. Среди основных органических компонентов — лигнин, фенолы, продукты разрушения поли- и моносахаридов, натриевые соли органических кислот, таких как гликолевая, молочная, β -D-глюкоизосахаринавая, α -гидроксимасляная, муравьиная, уксусная, пропионовая, масляная, валериановая и др., серосодержащие органические соединения. Вместе с тем кислотность среды почти не изменяется, поскольку поддерживается за счет частичного и полного гидролиза солей натрия.

При сульфатной варке помимо собственно целлюлозы образуется множество отходов и побочных продуктов, из которых получают кормовые дрожжи, сульфатный лигнин, сульфатное мыло, фитостерин, талловое масло, канифоль, сернистые соединения, метанол, скипидар.

Важной операцией при получении целлюлозы является сдвук — периодический процесс принудительного выведения парогазовой смеси из

варочного котла для снижения давления, выделения ценных побочных органических продуктов, удаления газообразных отходов и утилизации тепла. При этом из котла удаляются посторонние газы и образующиеся летучие продукты: скипидар, метиловый спирт и опасные для металлической аппаратуры пары и газы, преимущественно H_2S (сероводород) и CH_3SH (метилмеркаптан), а также небольшие количества CH_3SCH_3 (диметилсульфида) и CH_3SSCH_3 (диметилдисульфида).

Для сульфатной варки целлюлозы из древесины используют моно- и биметаллические котлы «Камюр» (Швеция), «Хитачи Зосен» (Япония), котлы завода «Уралмаш» (корпус из углеродистой котельной стали марки 20К, защитный лакирующий слой из аустенитной коррозионностойкой стали марки 10X18H10T или марок 10X17H13M2(3)T, 08X17H15M3T) [5].

Многолетний опыт эксплуатации варочных котлов показал, что использование коррозионностойкой стали указанных марок в целом вполне приемлемо. Однако в процессе длительной эксплуатации котлов лакирующий слой подвергается локальным видам коррозионных поражений, третью часть которых составляет точечно-язвенная (питтинговая) коррозия. Еще одна треть — коррозия в виде потемнения поверхности, менее одной трети приходится на коррозию в виде конденсатных полос и ручьев (конденсатная коррозия). Другие виды локальных поражений варочных котлов (коррозионное растрескивание, межкристаллическая коррозия и ножевая коррозия сварного шва) составляют меньше 10 % [5, 11].

Основные причины коррозии — воздействие щелока, парогазов и ингибированной HCl , применяемой для промывки котлов (коррозия сварных швов и околошовных зон). Кроме того, нарушение устойчивого пассивного состояния обусловлено различными факторами технологии варки целлюлозы (температурой, давлением и составом варочных растворов), выявление которых затруднено при изменениях параметров и состава варочных растворов. Относительно простой состав варочных растворов в начале варки значительно усложняется к ее концу. Атмосфера производственных помещений варочных отделов и отбеливающих производств целлюлозно-бумажных предприятий (ЦБП) загрязнена агрессивными газами: SO_2 , Cl_2 и др. Конденсация влаги на стальных конструкциях и температура усиливают их коррозионное воздействие [12, 13].

Классическим способом получения целлюлозы остается сульфитная варка, запатентованная в США еще в 1866 г. [7, 14].

Производство сульфитной целлюлозы отличается наибольшей коррозионной активностью.

В сульфитных варках применяется H_2SO_3 в смеси с одним из оснований: $NaOH$, $NH_3 \cdot H_2O$, $Mg(OH)_2$, $Ca(OH)_2$ или с комбинацией оснований, например $NaOH + Ca(OH)_2$ или $NH_3 \cdot H_2O + Ca(OH)_2$. В зависимости от соотношения количества основания и SO_2 получают варочные растворы: кислые ($pH = 1,0 \dots 3,0$) — кисло-сульфитные варки, слабокислые ($pH = 3,5 \dots 5,0$) — бисульфитные варки, нейтральные ($pH = 6,0 \dots 7,0$) — нейтрально-сульфитные варки, щелочные ($pH = 8,0 \dots 10,0$) — моноссульфитные варки [15].

Следовательно, основными компонентами варочных растворов являются сернистая кислота, гидросульфит- и моноссульфит-ионы. Этими растворами обрабатывается древесина в виде щепы при температуре от 130 до 180 °С в варочных котлах периодического действия вместимостью от 160 до 320 м³.

В результате реакции делигнификации лигнин переходит в раствор, а другая часть, в виде волокнистого продукта (целлюлоза, полуцеллюлоза), подвергается дальнейшей обработке, в частности отбеливанию. Варочный раствор к концу варки обедняется сульфидирующими агентами, так как они расходуются в ходе реакции, но существенно обогащается веществами древесины. К концу варки технологические растворы, которые в ЦБП принято называть щелоками, содержат твердофазную целлюлозную массу, растворенный лигнин в виде лигносульфоната и богатую гамму органических веществ — сахаров, спиртов, альдегидов и кетонов, кислот ($HCOOH$, CH_3COOH и т. д.) и др. [15]. Указанные варочные растворы, особенно при кислосульфитных варках, являются особенно агрессивными, поэтому внутренний плакирующий слой варочных котлов и регенерационных цистерн выполнен из аустенитной хромоникельмолибденистой стали марки 10X17H13M2(3)Т. Эта сталь в варочных растворах и щелоках пассивна, что обуславливает в основном локальный характер коррозионных поражений [15].

Исследованию коррозии плакирующего слоя варочных котлов в ЦБП при сульфитной варке целлюлозы посвящены работы [15, 16]. Для борьбы с коррозией плакирующего слоя стали в варочных котлах актуально выявление коррозионноопасных варок, а в рамках одного вида варки — наиболее агрессивной ее технологической стадии. Поддержание стабильного состояния пассивности поверхности варочных котлов технологическими приемами при периодических варках целлюлозы — наиболее экономично и более обоснованно, нежели использование традиционных способов борьбы с коррозией (электрохимической и ингибиторной защиты). Одним из основных локальных коррозионных поражений плакирующего слоя варочных котлов является

питтинговая коррозия, которую вызывают в основном хлорид-ионы.

Кислый сульфитный способ варки целлюлозы — самый агрессивный, с точки зрения коррозии металлов [16]. Установлен основной агрессивный компонент в технологических средах целлюлозно-бумажной промышленности, влияющий на питтинговую коррозию конструкционных металлов — это SO_2 [15, 16]. Особенность его поведения объясняется способностью в зависимости от условий быть либо окислителем и восстанавливаться до серы или H_2S либо восстановителем и окисляться до сульфатов или H_2SO_4 .

Коррозия в гидролизном производстве. Как известно, полисахариды, составляющие около 70 % массы растений, способны подвергаться гидролитическому расщеплению до моносахаридов [6, 10, 17]. Катализаторами этого процесса обычно служат сильные минеральные кислоты. Наибольшее распространение получил метод перколяционного гидролиза [10]. Гидролиз проводится в присутствии разбавленной H_2SO_4 с концентрацией 0,2...1 % при температуре 180...190 °С и давлении 1...1,5 МПа. Продукты гидролизного производства — моносахариды, этанол, кормовые белковые дрожжи, фурфурол, CO_2 , ксилит.

Гидролиз растительного сырья осуществляется в стационарных гидролизных аппаратах, работающих под давлением. В промышленности применяют гидролизные аппараты вместимостью от 18 до 160 м³, изготавливаемые из кислотоупорной стали. Гидролизер представляет собой вертикальный цилиндрический стальной сосуд сварной конструкции со сферической верхней и конической нижней частями. Сферическая часть заканчивается загрузочной горловиной, закрываемой крышкой. Нижний конус оснащен выхлопным устройством для удаления лигнина после окончания процесса гидролиза сырья. В верхней части аппарата имеются штуцера для подачи варочной кислоты, сдувки паров воздуха и газов и для присоединения контрольно-измерительных приборов. В данном случае коррозионная активность технологической среды обусловлена присутствием кислотного катализатора — H_2SO_4 и образующимися продуктами гидролиза, в частности CO_2 [17].

Коррозия при пиролизе древесины. Нагревание древесины без доступа кислорода приводит к ее термическому разложению — *пиролизу*, с образованием газообразных, жидких и твердых продуктов. Пиролиз в основном заканчивается при температуре 500 °С с образованием твердого остатка в виде древесного угля. Однако уголь, полученный при этой температуре, при дальнейшем нагревании до 800 °С дает еще значительное количество неконденсирующихся газов. Продукты

пиролиза древесины чрезвычайно разнообразны. Среди них выделено более 200 индивидуальных соединений, образующихся в результате термодеструкции отдельных компонентов древесины, а также продуктов их взаимной конденсации. В процессе пиролиза древесина разлагается на древесный уголь и различные летучие продукты [6, 7]. При охлаждении эти продукты можно разделить на водный слой (содержит CH_3OH и CH_3COOH) и древесную смолу, в состав которой входят спирты, фенолы и органические кислоты и др. После отгонки летучих продуктов остается древесносмоляной пек, который используется как топливо и заменитель битумного лака. Неконденсируемые газы содержат CO , CO_2 , CH_4 , небольшое количество других углеводородов и водород.

Известно, что в оборудовании, где протекают подобные процессы и образуются такие агрессивные побочные продукты, имеет место коррозия металлических частей. В частности, коррозии подвергаются трубы печей, детали печной арматуры пиролизных установок, сами реторты пиролиза [6, 18]. Происходит газовая коррозия, протекающая по химическому механизму в газовой среде при минимальном содержании влаги или при высоких значениях температуры.

Коррозия деталей деревообрабатывающего оборудования. Установлен коррозионно-механический вид изнашивания поверхностей деталей стружечных станков, в частности, в зоне трения ножевого вала (или ножевого барабана) и древесины [19]. Показано, что наиболее существенно на характер и интенсивность изнашивания влияют H_2O , карбоновые кислоты и полифенольные соединения.

Технико-экономические показатели изготовления многих древесных композиционных материалов, прежде всего расход древесного сырья и связующих, энергозатраты на переработку, а также качество производимой продукции, формируются уже на стадии производства основной составляющей композита — древесной стружки. Здесь широко используют стружечные станки различных типов, потеря работоспособности которых связана в основном с износом рабочих поверхностей деталей узлов трения — ножевого вала, стружечного барабана, ножедержателей и т. д.

На основании результатов анализа основных физико-химических процессов для рассматриваемых узлов трения преобладающим *признано* *коррозионно-механическое изнашивание*, иначе называемое *трибокоррозией*. Это поверхностное разрушение конструкционных и инструментальных материалов при совместном воздействии механических нагрузок и химических реакций с внешней средой. Механизм изнашивания рассматриваемых поверхностей можно представить

как совокупность коррозионных процессов окисления (химического и электрохимического) и разупрочнения, разрыхления и разрушения поверхностей трения с параллельно протекающей газификацией поверхностных слоев.

При высоких значениях давления и температуры в зоне фрикционного взаимодействия древесина может разлагаться. В начале этого процесса при температуре $100...150\text{ }^\circ\text{C}$ испаряется свободная влага, затем при температуре $275...300\text{ }^\circ\text{C}$ разлагаются гемицеллюлозы, а далее — при температуре около $400\text{ }^\circ\text{C}$ происходит распад древесного волокна, что сопровождается выделением кислот, спиртов и смол. Поэтому помимо оксидов на контактирующих поверхностях присутствуют адсорбированные слои химических соединений, образовавшихся при трибодеструкции древесины, в совокупности с полярными молекулами полимерных органических (свободных радикалов) и экстрактивных веществ.

Как известно, наиболее ощутимо на характер и интенсивность изнашивания влияют H_2O , карбоновые кислоты и полифенольные соединения, выделяющиеся при контакте стали с древесиной. Вода в нужном количестве — основополагающий фактор для коррозионной реакции металла с древесиной. Образовавшиеся при трибодеструкции древесины карбоновые кислоты (HCOOH , CH_3COOH , $\text{C}_2\text{H}_5\text{COOH}$ и некоторые другие) активно взаимодействуют с защитной оксидной пленкой на поверхности детали, растворяя ее, что способствует процессам коррозии [19].

Способы защиты металлов от коррозии

Методы противокоррозионной защиты подразделяются на три основные группы:

- 1) изменение свойств металла или сплава, подвергающегося коррозии;
- 2) отделение металла от коррозионной среды (защитные покрытия);
- 3) изменение свойств коррозионной среды [2, 3, 5].

Изменение свойств металла или сплава, подвергающегося коррозии. Значительное повышение коррозионной стойкости достигается при легировании металла или сплава специальными добавками, вызывающими торможение катодного или анодного процессов электрохимической коррозии [5, 20, 21]. В качестве катодных легирующих добавок в количестве до 1 % используются Cu , Ni , W , Pd , Pt и др. Торможение анодных процессов окисления связано с уменьшением площади анодных участков или с пассивированием сплава, в частности, при легировании сталей добавками Cr , Ti , Mo или Si . Для изготовления оборудования, используемого на предприятиях

химической переработки древесины, часто используют коррозионноустойчивую сталь, содержащую кроме Fe добавки Cr и Ni [21].

В технологическом оборудовании предприятий химической переработки древесины используются следующие типы стали. *Котельная сталь марки 20К* — сталь конструкционная углеродистая качественная, применяется в целлюлозно-бумажной промышленности, в частности, при изготовлении котлов для сульфатной варки целлюлозы, предназначена для изготовления днищ, цельнокованых и сварных барабанов, полумуфт, корпусов аппаратов и других деталей для нужд котлостроения [20].

Котельная сталь применяется в очень жестких условиях, на нее одновременно действуют высокое давление воды и пара, высокая температура дымовых газов, воды и пара, агрессивность воды и дымовых газов, следствием чего является образование коррозии. Одновременно действуют и механические нагрузки на элементы котлоагрегата, вызывая изгиб, растяжение, сжатие, поэтому сталь в данном случае должна иметь следующие основные свойства: прочность; твердость; хорошую свариваемость; пластичность; стойкость против коррозии и устойчивость к окалинообразованию.

Сталь конструкционная криогенная нержавеющая марок 10X18H10T, 12X18H10T. Хромоникелетитановая аустенитная сталь марок 10X18H10T или 12X18H10T обладает высокой коррозионной стойкостью в жидких средах при высоких значениях температуры давления, устойчива против межкристаллитной коррозии после сварочного нагрева. Используется в процессах сульфатной варки целлюлозы в качестве защитного плакирующего слоя корпусов варочных котлов, в реакторах и оборудовании гидролизной промышленности, для изготовления труб пиролизных установок, деталей печной арматуры и реторт [21].

Марки 10X17H13M2T, 10X17H13M3T, 08X17H15M3T — сталь легированная, коррозионноустойчивая. Это коррозионно-, кислото- и жаростойкая сталь, применяется в сварных конструкциях, работающих в условиях воздействия H_3PO_4 , H_2SO_4 , CH_3COOH и других средах повышенной агрессивности, предназначена для длительных сроков службы при температуре 600 °С; сталь аустенитного класса [26]. За счет присутствия Mo сталь имеет повышенную устойчивость к питтинговой коррозии в средах, содержащих ионы хлора. Наряду с этим Mo понижает стойкость стали к межкристаллитной коррозии (МКК) в окислительных средах, что активно используется в целлюлозно-бумажной и гидролизной промышленности.

Для термического разложения древесины без доступа воздуха (пиролиза) используют оборудование из *жаропрочной стали* [21]. Пиролиз осуществляют при температуре 500 °С, полученный уголь при дальнейшем нагревании до 800 °С образует значительное количество газообразных продуктов. Жаропрочная аустенитная сталь устойчива к воздействию высоких температур, что важно при развитии МКК. Этот материал можно нагревать до 1100 °С. При производстве данной модификации железосодержащей стали используются дополнительные добавки из Nb, В, V, Mo и W. Эти химические элементы повышают жаропрочность материала.

Отделение металла от коррозионной среды. Как указано выше, в биметаллических варочных котлах для сульфатной варки целлюлозы корпус котла, выполненный из котельной стали марки 20К, покрывают *защитным плакирующим слоем* из аустенитной нержавеющей стали марки 10X18H10T или марок 10X17H13M2(3)T, 08X17H15M3T [5]. Плакирование — это нанесение на поверхность металлического изделия другого металла или коррозионноустойчивой стали термомеханическим способом, например посредством сильного сжатия.

До уровня промышленного применения доведена *анодная защита* стальных емкостей для хранения и перевозки кислот и щелочей, а также защита автоклавов из углеродистой стали при щелочной варке целлюлозы [5]. Сущность анодной защиты состоит в создании на поверхности защищаемой конструкции пассивирующей пленки путем анодной поляризации от внешнего источника постоянного тока. Наличие галогенидных ионов в коррозионной среде не позволяет применять анодную защиту сплавов на основе железа вследствие опасности развития питтинговой коррозии.

Изменение свойств коррозионной среды. Эта группа методов способствует уменьшению концентрации коррозионных компонентов в той или иной среде (O_2 , H^+ , SO_2 , NO_2 и других окислителей), удалению из нее стимуляторов, активирующих коррозию, прежде всего F^- , Cl^- , Br^- , HS^- , S^{2-} , SO_3^{2-} и другие ионы или позволяет ввести в среду добавки веществ замедляющих коррозию (ингибиторов), в количестве до 1 %.

Применение ингибиторов — один из самых эффективных способов борьбы с коррозией металлов в различных агрессивных средах.

Ингибиторами коррозии называют химические соединения, которые, находясь в коррозионной среде в достаточной концентрации, уменьшают скорость коррозии без значительного изменения концентрации того или иного коррозионного реагента. Ингибиторами коррозии могут быть как соединения, так и композиции

химических соединений [22, 23, 33]. Защитное действие ингибиторов обусловлено уменьшением площади активной поверхности металла вследствие адсорбции ингибитора или образования с ионами металла труднорастворимых соединений, образующих на поверхности пленку, которая существенно тоньше наносимых защитных покрытий. Ингибиторы коррозии также могут изменять энергию активации электродных реакций, лимитирующих сложный коррозионный процесс.

По химической природе ингибиторы подразделяются на *неорганические* и *органические* [22, 23]. К неорганическим ингибиторам коррозии относятся фосфаты, дихроматы, молибдаты, хроматы, нитриты, полифосфаты, силикаты.

Имеются данные об использовании неорганических ингибиторов коррозии в виде фосфатов в процессах гидролиза древесины в разбавленных растворах H_2SO_4 при нагревании. Показана возможность снижения коррозионной активности технологической среды путем введения в кислотный катализатор на основе H_2SO_4 ингибиторов коррозии — $(NH_4)_2HPO_4$ (гидрофосфата аммония) и $Ca(H_2PO_4)_2$ (дигидрофосфата кальция) [17].

Органические ингибиторы коррозии, как правило, представляют собой вещества смешанного действия: они замедляют и катодную, и анодную реакции коррозионного процесса. Чаще всего в состав органических ингибиторов входят атомы N, O, S, неподеленная пара электронов которых создает условия для адсорбции ингибитора на активных участках поверхности металла и их пассивирования. Примерами органических ингибиторов являются диэтиламин, уротропин, пиридин, имидазолины, органические кислоты и их соли, формальдегид, тирокрезол, меркаптаны (тиолы), фенолы и др. [5, 33].

При эксплуатации оборудования в условиях воздействия кислых агрессивных сред также применяется ингибиторная защита [5, 15, 22, 24].

В качестве ингибиторов кислотной коррозии используются органические ингибиторы, поскольку они способны образовывать защитные пленки на поверхности металлов. К эффективным органическим ингибиторам относятся вещества, содержащие в своем составе атомы N, S и O в виде гидроксильного радикала.

Известные ингибиторы кислотной коррозии (КИ-1, ПБ-5, ПКУ-3, ХОСП-10, уротропин, КПИ-3, И-1-В, БА-6 и др.) применяются для защиты коррозионностойких марок стали при очистке HCl от органоминеральных отложений варочных котлов и подогревателей варочного щелока на предприятиях целлюлозно-бумажной промышленности [5, 15, 16].

В последние два десятилетия ведутся исследования по поиску и получению так называемых «зеленых» ингибиторов: более дешевых, доступных

и снижающих риск воздействия на окружающую среду [5, 25, 26]. Источниками таких веществ могут быть нетоксичные и возобновляемые растительные отходы. Создание ингибиторов на основе природных соединений является важным решением не только в области защиты металлов, но и в проблеме утилизации многотоннажных отходов сельского хозяйства. Установлено, что в качестве ингибиторов коррозии можно использовать натуральные продукты, растения и их экстракты [10, 25, 26].

С экономической и экологической точек зрения экстракты растений являются отличной альтернативой синтетическим ингибиторам благодаря их доступности и биоразлагаемости. Экстракты растений можно получить простым способом, они не требуют дополнительной очистки. Экстракты обычно получают с использованием доступных дешевых растворителей, например воды, этанола этилацетата или ацетона. Эти экстракты содержат множество натуральных продуктов, таких как эфирные масла, танины, пигменты, стероиды, терпены, флавоны и флавоноиды. В общем, в этих соединениях присутствуют сопряженные ароматические структуры, длинные алифатические цепи, гетероатомы — N, S и O со свободными электронными парами, которые доступны для образования связей с поверхностью металла. В большинстве случаев они действуют синергетически для проявления эффективности в отношении коррозионной защиты.

Из природных ингибиторов коррозии следует выделить *танины* — органические соединения, содержащие фенольные группировки, которые ингибируют коррозию металла за счет образования с катионом Fe^{3+} прочного комплексного соединения подобно оксидной пленке [26].

В промышленных масштабах танины получают при утилизации отходов деревообрабатывающих предприятий из коры дуба, ивы, лиственницы, а также некоторых травянистых растений (тарана, таволги или лабазника, ревеня, травы зверобоя), поэтому были изучены ингибирующие свойства различных растительных экстрактов. В результате предложены ингибиторы кислотной коррозии на основе экстрактов из отходов деревообрабатывающих предприятий: экстракта коры осины (ЭКО), экстракта коры дуба (ЭКД), экстракта коры сосны (ЭКС), экстракта коры ели (ЭКЕ), экстракта коры лиственницы (ЭКЛ), активными компонентами которых являются танины [5, 26, 27]. Установлено высокое защитное действие ингибиторов ЭКО, ЭКЕ с синергетической добавкой уротропина на аустенитные котельные марки стали при 50 °C в 5%-м растворе HCl на предприятиях ЦБП. Перспективными объектами для антикоррозионной защиты являются ЭКО, ЭКД, ЭКС, ЭКЕ, ЭКЛ [5].

Применение отходов переработки древесины в качестве антикоррозионных средств

Как известно, большая часть инноваций в области развития техники и технологии направлена на энерго- и ресурсосбережение, а также на защиту окружающей среды от вредных воздействий. С этой точки зрения актуально использование в антикоррозионной технике материалов на основе побочных продуктов и отходов различных производств, в том числе отходов переработки древесины.

Разработаны ингибирующие смазки на основе смеси таллового пека (отхода переработки древесины) с талловым маслом для защиты от коррозии при сезонной консервации крупногабаритной техники: комбайнов, тракторов, снегоуборочных машин и т. д. [28, 29]. Достоинством лакокрасочных материалов на основе таллового пека и таллового масла является возможность нанесения их на ржавую поверхность без предварительной подготовки [29].

Особыми средствами защиты от коррозии являются *преобразователи ржавчины* [27, 30]. Преобразователь ржавчины — это химический раствор или грунтовка, который наносят на поверхность железа или железного сплава для превращения оксидов железа (ржавчины) в защитный химический барьер [31]. Преобразователи ржавчины — это средства, позволяющие подготовить поверхность изделий из черного металла под окрашивание, и даже склеивание, без предварительного тщательного удаления продуктов коррозии. Особый интерес представляет применение лигнина в качестве основного компонента преобразователей ржавчины.

Гидролизный лигнин, сульфатный лигнин и лигносульфонаты — крупнотоннажные и дешевые отходы гидролизных заводов по переработке древесины и предприятий ЦБП. Известно использование гидролизного лигнина для получения преобразователей ржавчины [30–32]. Гидролизный лигнин является эффективным поверхностно-активным веществом (ПАВ). Он способен образовывать хелатные соединения с катионами Fe^{3+} за счет своих функциональных групп, что приводит к модифицированию ржавчины в стабильные водонепроницаемые продукты, прочно связанные с поверхностью металла. В качестве составных частей антикоррозионных покрытий предложено использовать также технические лигносульфонаты, талловый пек, талловое масло и другие вещества, выполняющие роль модификаторов ржавчины [15].

Бумага, пропитанная антикоррозионными веществами также может выступать в качестве защиты металлических изделий от коррозии [33].

Выводы

Анализ проблемы коррозии технологического оборудования, используемого на предприятиях химической переработки древесины, показал, что за последние десятилетия достигнуты значительные успехи в создании эффективных способов защиты агрегатов и устройств от различных видов коррозии.

Список литературы

- [1] Кац Н.Г., Стариков В.П., Парфенова С.Н. Химическое сопротивление материалов и защита оборудования нефтегазопереработки. М.: Машиностроение, 2011. 436 с.
- [2] Пахомов В.С. Коррозия и защита теплообменного оборудования химических производств. Пенза: Изд-во Пензенского ГТУ, 2013. 364 с.
- [3] Жарский И.М., Иванова Н.П., Куис Д.В., Свиуднович Н.А. Коррозия и защита металлических конструкций и оборудования. Минск: Высш. шк., 2012. 303 с.
- [4] Замалетдинов И.И. Коррозия и защита металлов. Коррозия порошковых материалов. Пермь Изд-во Пензенского ГТУ, 2007. 188 с.
- [5] Коррозия и защита металлов и оборудования: методические указания / сост. Е.В.Школьников, И.Я. Киселев. СПб.: Изд-во Санкт-Петербургского ГЛТУ, 2014. 40 с.
- [6] Тарасов С.М., Кононов Г.Н. Комплексная химическая переработка древесины. М.: Изд-во МГУЛ, 2016. 122 с.
- [7] Комплексная химическая переработка древесины / сост. А.В. Буров, Р.Г. Алиев, Э.П. Терентьева. СПб.: Изд-во Санкт-Петербургского ГТУРП, 2008. 61 с.
- [8] Кузнецов Б.Н., Кузнецова С.А., Тарабанько В.Е. Новые методы получения химических продуктов из биомассы деревьев сибирских пород // Российский химический журнал, 2004. Т. 48. № 3. С. 4–20.
- [9] Зарубина А.Н., Иванкин А.Н., Веревкин А.Н., Сердюкова Ю.В. Комплексная химическая переработка древесины. М.: Изд-во МГУЛ, 2016. 37 с.
- [10] Корольков И.И. Перколяционный гидролиз растительного сырья. М.: Лесная пром-сть, 1990. 272 с.
- [11] Ананьева Г.Ф., Школьников Е.В., Ингибирующие добавки и коррозия котельной стали 20К // Бумажная промышленность, 1986. № 12. С. 26–27.
- [12] Школьников Е.В., Ананьева Г.Ф., Смирнов В.Д. Как снизить коррозию варочных котлов // Бумажная промышленность, 1988. № 12. С. 32–34.
- [13] Школьников Е.В., Ананьева Г.Ф. Ингибирование коррозии варочного и теплообменного оборудования при очистке соляной кислотой // Целлюлоза. Бумага. Картон, 1999. № 7–8. С. 38–40.
- [14] Бобров А.И., Мутовина М.Г. Производство бисульфитной целлюлозы. М.: Лесная пром-сть, 1979. 192 с.
- [15] Замалетдинов И.И. Локальная коррозия и защита нержавеющей сталей в варочных средах целлюлозно-бумажной промышленности: автореф. дис. ... д-ра хим. наук: 05.17.03. Пермь, 2001. 40 с.
- [16] Ермашева В.М. Коррозия нержавеющей сталей в варочных средах целлюлозно-бумажной промышленности и технологические способы защиты от нее: дис. ... канд. хим. наук. Пермь, 1996. 126 с.
- [17] Русских А.С. Разработка энергосберегающей технологии деполимеризации полисахаридов древесины: автореф. дис. ... канд. хим. наук: 03.00.23. Москва, 1999. 21 с.
- [18] Апраксина Л.М., Сигаев В.Я. Коррозия металлов и методы оценки их химической стойкости. СПб.: Изд-во Санкт-Петербургского ГТУРП, 2008. 45 с.

- [19] Памфилов Е.А., Лукашов С.В., Прозоров Я.С. Механохимическое разрушение деталей деревообрабатывающего оборудования // *Фізико-хімічна механіка матеріалів (Physicochemical Mechanics of Materials)*, 2014. № 1. С. 134–141.
- [20] Antonov M., Veinthal R., Huttunen-Saarivirta E., Hussainova I., Vallikivi A. Effect of oxidation on erosive wear behaviour of boiler steels // *Tribology International*, 2013, vol. 68, no. 12, pp. 35–44.
- [21] Singhal T.S., Jain J.K. GMAW cladding on metals to impart anti-corrosiveness: Machine, processes and materials // *Materials Today*, 2020, vol. 26, no. 2, pp. 2432–2441.
- [22] Козлова Л.С., Сибилева С.В., Чесноков Д.В., Кутырев А.Е. Ингибиторы коррозии (обзор) // *Авиационные материалы и технологии*, 2015. № 2. С. 67–75.
- [23] Хайдарова Р.Г. Ингибиторы коррозии для защиты нефтепромышленного оборудования // *Современные проблемы науки и образования*, 2014. № 6. С. 1–8.
- [24] Шарипова Л.Р., Олиференко Г.Л., Вагапов Р.К., Иванкин А.Н. Исследование коррозионных процессов объектов транспортировки природного сырья и оборудования химической переработки древесины // *Всеросс. студ. конф. «Студенческая научная весна», посвященная 190-летию МГТУ им. Н.Э. Баумана»: сб. тез. докл. / МГТУ им. Н.Э. Баумана, СНТО им. Н.Е. Жуковского. М.: Издательский дом «Научная библиотека», 2020. С. 463–465.*
- [25] Шипигузов И.А., Колесова О.В., Вахрушев В.В., Казанцев А.Л., Пойлов В.З., Лановецкий С.В., Черезова Л.А. Современные ингибиторы коррозии // *Вестник ПНИПУ*, 2016. № 1. С. 114–127.
- [26] Еркаева М.А. Разработка ингибирующих составов для защиты металлических изделий от коррозии. Тольятти: Изд-во Тольяттинского ГУ, 2018. 54 с.
- [27] Кузьмина И.Е. Разработка рецептуры преобразователя ржавчины на основе экстракта коры лиственницы. Якутск: Изд-во Северо-Восточного федерального университета им. М.К. Аммосова, 2019. 64 с.
- [28] Апраксина Е.А., Апраксина Л.М., Михайлова И.С. Перспективы использования таллового пека для антикоррозионных покрытий. Тезисы доклада // *Повышение эффективности тепловых хозяйств предприятий: III Междунар. научн.-практ. конф.*, 3–5 марта 2010, Санкт-Петербург. СПб.: Изд-во Санкт-Петербургского ГТУРП, 2010. С. 203–207.
- [29] Апраксина Е.А., Михайлов И.С. Применение отходов ЦБП для защиты от коррозии при консервации машин и механизмов // *Инновационная наука в глобализирующемся мире*. Уфа: Ника, 2015. С. 132–135.
- [30] Абзалова Д.А. Разработка и исследование защитных свойств преобразователей ржавчины на основе промышленных отходов: автореф. дис. ... канд. хим. наук: 02.06.16. Ташкент, 1991. 15 с.
- [31] Балыбин Д.В., Костякова А.А., Попова Е.Д., Кудрявцева Н.М. Использование модификаторов ржавчины как метода преобразования продуктов коррозии на поверхности металлических изделий // *Вестник ТГУ*, 2014. Вып. 3(19). С. 1–5.
- [32] Житарь Б.Е., Самойлов В.В. Применение лигнинового преобразователя ржавчины для защиты металлов от коррозии // *Сб. науч. тр. ДОНИЖТ*, 2019. № 52. С. 57–60.
- [33] Голубев М.И., Глебов И.В., Быков В.В. Влияние вакуумной пропитки отходами производства растительных масел на прочность антикоррозионной бумаги // *Вестник МГУЛ – Лесной вестник*, 2015. № 6. С. 100–102.

Сведения об авторах

Олиференко Галина Львовна — канд. хим. наук, доцент кафедры химии и химических технологий в лесном комплексе, МГТУ им. Н.Э. Баумана (Мытищинский филиал), oliferenko2@inbox.ru

Иванкин Андрей Николаевич — д-р хим. наук, профессор кафедры химии и химических технологий в лесном комплексе, МГТУ им. Н.Э. Баумана (Мытищинский филиал), aivankin@mgul.ac.ru

Устюгов Александр Викторович — канд. хим. наук, ст. преподаватель кафедры общей химической технологии, МИРЭА – Российский технологический университет (РТУ МИРЭА), ustyugov.alexandr@mail.ru

Зарубина Анжелла Николаевна — канд. техн. наук, зав. кафедрой химии и химических технологий в лесном комплексе, МГТУ им. Н.Э. Баумана (Мытищинский филиал), zarubina@mgul.ac.ru

Поступила в редакцию 13.01.2021.

Принята к публикации 04.02.2021.

ISSUE OF TECHNOLOGICAL EQUIPMENT CORROSION AT CHEMICAL WOOD PROCESSING ENTERPRISES (REVIEW)

G.L. Oliferenko¹, A.N. Ivankin¹, A.V. Ustyugov², A.N. Zarubina¹

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

²MIREA – Russian Technological University (RTU MIREA), 78, Vernadsky pr., 119454, Moscow, Russia

oliferenko2@inbox.ru

The review is devoted to the problem of corrosion in the chemical processing of wood. Corrosion processes of technological equipment at enterprises of the pulp and paper, hydrolysis and wood chemical industries are considered. The influence of the main chemical substances involved in the technological process or formed during the chemical processing of wood is discussed. The importance of using alloyed, corrosion-resistant steels of grades 10Kh17N13M2T, 10Kh17N13M3T, 08Kh17N15M3T in the processes of chemical transformation is shown. The information on methods of protection of structural materials from corrosion at enterprises in recent years is presented. The prospects of industrial use of the method of anodic protection, which consists in creating a passivating film on the surface of the protected structure by anodic polarization from an external source of direct current, is noted. The importance of using inhibitors in the composition of technological media is discussed, as one of the most effective ways to combat metal corrosion in aggressive media. It is noted that in addition to the well-known inhibitors of acid corrosion KI-1, PB-5, PKU-3, KhOSP-10, urotropin, KPI-3, I-1-V, BA-6, the use of green chemistry advances is promising, in particular, the use of anticorrosive agents for waste processing of both wood itself and corrosion inhibitors based on plant extracts.

Keywords: corrosion, wood chemical processing, corrosion protection, corrosion inhibitors

Suggested citation: Oliferenko G.L., Ivankin A.N., Ustyugov A.V., Zarubina A.N. *Problema korrozii tekhnologicheskogo oborudovaniya na predpriyatiyakh po khimicheskoy pererabotke drevesiny (obzor)* [Issue of technological equipment corrosion at chemical wood processing enterprises (review)]. *Lesnoy vestnik / Forestry Bulletin*, 2021, vol. 25, no. 3, pp. 142–151. DOI: 10.18698/2542-1468-2021-3-142-151

References

- [1] Kats N.G., Starikov V.P., Parfenova S.N. *Khimicheskoe soprotivlenie materialov i zashchita oborudovaniya neftegazopererabotki* [Chemical resistance of materials and protection of oil and gas processing equipment]. Moscow: Mashinostroenie, 2011, 436 p.
- [2] Pakhomov V.S. *Korroziya i zashchita teploobmennogo oborudovaniya khimicheskikh proizvodstv* [Corrosion and protection of heat exchange equipment of chemical production]. Penza State Technological University, 2013, 364 p.
- [3] Zharskiy I.M., Ivanova N.P., Kuis D.V., Svidunovich N.A. *Korroziya i zashchita metallicheskikh konstruksiy i oborudovaniya* [Corrosion and protection of metal structures and equipment]. Minsk: Vychshaya shkola, 2012, 303 p.
- [4] Zamaletdinov I.I. *Korroziya i zashchita metallov. Korroziya poroshkovykh materialov* [Corrosion and protection of metals. Corrosion of powder materials]. Perm: Perm Publishing house State Technological University, 2007, 188 p.
- [5] *Korroziya i zashchita metallov i oborudovaniya: metodicheskie ukazaniya* [Corrosion and protection of metals and equipment]. Compilers E.V. Shkolnikov, I.Ya. Kiselev. St. Petersburg: SPbGLTU, 2014, 40 p.
- [6] Tarasov S.M., Kononov G.N. *Kompleksnaya khimicheskaya pererabotka drevesiny* [Complex chemical processing of wood]. Moscow: MSFU, 2016, 122 p.
- [7] *Kompleksnaya khimicheskaya pererabotka drevesiny* [Complex chemical processing of wood]. Compilers A.V. Burov, R.G. Aliev, E.P. Terent'ev. St. Petersburg: SPb GTURP, 2008, 61 p.
- [8] Kuznetsov B.N., Kuznetsova S.A., Taraban'ko V.E. *Novye metody polucheniya khimicheskikh produktov iz biomassy derev'ev sibirskikh porod* [New methods of obtaining chemical products from the biomass of Siberian trees]. *Rossiyskiy khimicheskii zhurnal* [Ros. Chem. J. (J. Ros. Chem. Society named after D.I. Mendeleev)], 2004, v. 48, no. 3, pp. 4–20.
- [9] Zarubina A.N., Ivankin A.N., Verevkin A.N., Serdyukova Yu.V. *Kompleksnaya khimicheskaya pererabotka drevesiny* [Complex chemical processing of wood]. Moscow: MSFU, 2016, 37 p.
- [10] Korol'kov I.I. *Perkolyatsionnyy gidroliz rastitel'nogo syr'ya* [Percolation hydrolysis of plant materials]. Moscow: Forest Industry, 1990, 272 p.
- [11] Anan'eva G.F., Shkol'nikov E.V. *Ingibiruyushchie dobavki i korroziya kotel'noy stali 20K* [Inhibiting additives and corrosion of boiler steel 20K]. *Bumazhnaya promyshlennost'* [Paper Industry], 1986, no. 12, pp. 26–27.
- [12] Shkol'nikov E.V., Anan'eva G.F., Smirnov V.D. *Kak snizit' korroziyu varochnykh kotlov* [How to reduce the corrosion of digesters]. *Bumazhnaya promyshlennost'* [Paper Industry], 1988, no. 12, pp. 32–34.
- [13] Shkol'nikov E.V., Anan'eva G.F. *Ingibirovanie korrozii varochnogo i teploobmennogo oborudovaniya pri oчитке soyanoy kisloty* [Inhibition of corrosion of cooking and heat exchange equipment during cleaning with hydrochloric acid]. *Tsellyuloza. Bumaga. Karton* [Cellulose. Paper. Cardboard], 1999, no. 7–8, pp. 38–40.
- [14] Bobrov A.I., Mutovina M.G. *Proizvodstvo bisulfitnoy tsellyulozy* [Production of bisulfite cellulose]. Moscow: Lesnaya Promyshlennost', 1979, 192 p.
- [15] Zamaletdinov I.I. *Lokal'naya korroziya i zashchita nerzhavayushchikh staley v varochnykh sredakh tsellyulozno-bumazhnoy promyshlennosti* [Local corrosion and protection of stainless steels in cooking media of the pulp and paper industry]. Dis. Dr. Sci. [Chem.] 05.17.03. Perm University, Perm, 2001, 40 p.
- [16] Ermasheva V.M. *Korroziya nerzhavayushchikh staley v varochnykh sredakh tsellyulozno-bumazhnoy promyshlennosti i tekhnologicheskie sposoby zashchity ot nee* [Corrosion of stainless steels in cooking media of the pulp and paper industry and technological methods of protection against it]. Dis. Dr. Sci. [Chem.], Perm University, Perm, 1996, 126 p.

- [17] Russkikh A.S. *Razrabotka energosberegayushchey tekhnologii depolimerizatsii polisakharidov drevesiny* [Development of energy-saving technology for depolymerization of wood polysaccharides]. Dis. Dr. Sci. [Chem.] 03.00.23, Moscow, 1999, 21 p.
- [18] Apraksina L.M., Sigaev V.Ya. *Korroziya metallov i metody otsenki ikh khimicheskoy stoykosti* [Corrosion of metals and methods for assessing their chemical resistance]. St. Petersburg: SpbGTURP, 2008, 45 p.
- [19] Pamfilov E.A., Lukashov S.V., Prozorov Ya.S. *Mekhanokhimicheskoe razrushenie detaley derevoobrabatyvayushchego oborudovaniya* [Mechanochemical destruction of parts of woodworking equipment] *Fiziko-khimichna mekhanika materialiv* [Physicochemical Mechanics of Materials], 2014, no. 1, pp. 134–141.
- [20] Antonov M., Veinthal R., Huttunen-Saarivirta E., Hussainova I., Vallikivi A. Effect of oxidation on erosive wear behaviour of boiler steels // *Tribology International*, 2013, vol. 68, no. 12, pp. 35–44.
- [21] Singhal T.S., Jain J.K. GMAW cladding on metals to impart anti-corrosiveness: Machine, processes and materials // *Materials Today*, 2020, vol. 26, no. 2, pp. 2432–2441.
- [22] Kozlova L.S., Sibileva S.V., Chesnokov D.V., Kutyrev A.E. *Ingibitory korrozii (obzor)* [Corrosion inhibitors (review)]. *Aviatsionnye materialy i tekhnologii* [Aviation Materials and Technologies], 2015, no. 2, pp. 67–75.
- [23] Khaydarova R.G. *Ingibitory korrozii dlya zashchity neftepromyslovogo oborudovaniya* [Corrosion inhibitors for the protection of oilfield equipment]. *Sovremennyye problemy nauki i obrazovaniya* [Modern Problems of Science and Education], 2014, no. 6, pp. 1–8.
- [24] Sharipova L.R., Oliferenko G.L., Vagapov R.K., Ivankin A.N. *Issledovanie korroziyonnykh protsessov ob'ektov transportirovki prirodnogo syr'ya i oborudovaniya khimicheskoy pererabotki drevesiny* [Investigation of corrosion processes in objects of transportation of natural raw materials and equipment for chemical processing of wood]. *Vserossiyskaya studencheskaya konferentsiya «Studencheskaya nauchnaya vesna», posvyashchennaya 190-letiyu MGTU im. N.E. Baumana»: sb. tezisev dokladov. MGTU im. N.E. Baumana, SNTU im. N.E. Zhukovskogo* [All-Russian student conference «Student scientific spring», dedicated to the 190th anniversary of the Moscow State Technical University N.E. Bauman: Sat. abstracts. MSTU named after N.E. Bauman, SNTU them. N.E. Zhukovsky]. Moscow: Izdatel'skiy dom «Nauchnaya biblioteka» [Scientific Library Publishing House LLC], 2020, pp. 463–465.
- [25] Shipiguzov I.A., Kolesova O. V., Vakhrushev V.V., Kazantsev A. L., Poylov V.Z., Lanovetskiy S.V., Cherezova L.A. *Sovremennyye ingibitory korrozii* [Modern corrosion inhibitors]. *Bulletin PNRPU*, 2016, no. 1, pp. 114–127.
- [26] Erkaeva M.A. *Razrabotka ingibiruyushchikh sostavov dlya zashchity metallicheskikh izdeliy ot korrozii* [Development of inhibiting compositions to protect metal products from corrosion]. *Togliatti: Togliatti State University*, 2018, 54 p.
- [27] Kuz'mina I.E. *Razrabotka retseptury preobrazovatelya rzhavchiny na osnove ekstrakta kory listvennitsy* [Development of a formulation of a rust converter based on an extract of larch bark]. *Yakutsk: North-Eastern Federal University named after M.K. Ammosov. Institute of Natural Sciences*, 2019, 64 p.
- [28] Apraksina E.A., Apraksina L.M., Mikhaylova I.S. *Perspektivy ispol'zovaniya tallovogo peka dlya antikorroziyonnykh pokrytiy. Tezisy doklada* [Prospects for the use of tallow pitch for anti-corrosion coatings. Theses of the report]. *Povyshenie effektivnosti teplovykh khozyaystv predpriyatiy: III Mezhdunarodnaya nauchno-prakticheskaya konferentsiya* [Increasing the efficiency of thermal facilities of enterprises: 3rd international scientific and practical conference]. St. Petersburg, 2010, pp. 203–207.
- [29] Apraksina E.A., Mikhaylov I.S. *Primenenie otkhodov TsBP dlya zashchity ot korrozii pri konservatsii mashin i mekhanizmov* [The use of pulp and paper waste for corrosion protection during conservation of machines and mechanisms]. *Innovatsionnaya nauka v globaliziruyushchemsya mire* [Innovative science in a globalizing world]. Ufa: Publishing house of LLC «Nika», 2015, pp. 132–135.
- [30] Abzalova D.A. *Razrabotka i issledovanie zashchitnykh svoystv preobrazovateley rzhavchiny na osnove promyshlennykh otkhodov* [Development and research of protective properties of rust converters based on industrial waste]. *Dis. Dr. Sci. [Chem.] 02.06.16. Tashkent*, 1991, 15 p.
- [31] Balybin D.V., Kostyakova A.A., Popova E.D., Kudryavtseva N.M. *Ispol'zovanie modifikatorov rzhavchiny kak metoda preobrazovaniya produktov korrozii na poverkhnosti metallicheskikh izdeliy* [The use of rust modifiers as a method of transforming corrosion products on the surface of metal products]. *Vestnik TSU*, 2014, iss. 3 (19), pp. 1–5.
- [32] Zhitar' B.E., Samoylov V.V. *Primenenie ligninovogo preobrazovatelya rzhavchiny dlya zashchity metallov ot korrozii* [The use of a lignin rust converter to protect metals from corrosion]. *Scientific Proceedings DONIGT*, 2019, no. 52, pp. 57–60.
- [33] Golubev M.I., Glebov I.V., Bykov V.V. *Vliyaniye vakuumnoy propitki otkhodami proizvodstva rastitel'nykh masel na prochnost' antikorroziyonnoy bumagi* [Influence of vacuum impregnation with vegetable oil production waste on the strength of anti-corrosion paper]. *Moscow state forest university bulletin – Lesnoy vestnik*, 2015, no. 6, pp. 100–102.

Authors' information

Oliferenko Galina L'vovna — Cand. Sci. (Chemistry), Associate Professor of the Department of Chemistry, BMSTU (Mytishchi branch), oliferenko2@inbox.ru

Ivankin Andrey Nikolaevich — Dr. Sci. (Chemistry), Professor of the Department of Chemistry, BMSTU (Mytishchi branch), aivankin@mgul.ac.ru

Ustyugov Aleksander Viktorovich — Cand. Sci. (Chemistry), Senior Lecturer of the Department of General Chemical Technology, MIREA – Russian Technological University (RTU MIREA), ustyugov.alexandr@mail.ru

Zarubina Angella Nikolaevna — Cand. Sci. (Tech.), Head of the Department of Chemistry, BMSTU (Mytishchi branch), zarubina@mgul.ac.ru

Received 2021.

Accepted for publication 2021.



ЗА ВЕСЕННИЙ СЕЗОН 18 РЕГИОНОВ СТРАНЫ ПОЛНОСТЬЮ ВЫПОЛНИЛИ ГОДОВЫЕ ПЛАНЫ ПО ВЫСАДКЕ ЛЕСА

Весенний лесокультурный сезон в России подходит к своему завершению. За это время в 18 регионах страны лесники полностью выполнили годовые планы по искусственному — то есть ручному — восстановлению леса. Работы проводятся в рамках федерального проекта «Сохранение лесов» национального проекта «Экология».

Среди регионов, где высажен весь запланированный на 2021 год лес, — Белгородская, Костромская, Курская, Липецкая, Орловская, Тамбовская, Тверская, Ярославская, Астраханская, Ростовская, Ульяновская области, Ставропольский край, республики Алтай, Ингушетия, Кабардино-Балкария, Карачаево-Черкессия, Северная Осетия — Алания, Удмуртия.

Работы по искусственному лесовосстановлению в настоящее время проводятся уже в 75 регионах. Лесокультурный сезон, то есть период высадки лесных растений, во всех субъектах РФ начинается в разное время и зависит от климатических условий. Лесники высаживают деревья весной и осенью, когда условия для приживаемости саженцев наиболее благоприятны. Этой весной в России высажено 106,5 тыс. га леса, или 44,3 % от годового планового показателя. Основной же массив работ традиционно приходится на осенний сезон.

В разрезе федеральных округов наибольший процент завершенных работ приходится на Центральный ФО, где годовой план по искусственному лесовосстановлению выполнен на 95,6 %. Северо-Кавказский ФО провел работы по высадке леса на 93,6%, Южный — на 83,3 %, Приволжский — 75,7 %. Начался лесовосстановительный сезон в регионах Сибири, Урала и Дальнего Востока.

Восстановление леса проводится не только искусственным способом. Лесники выполняют работы по содействию естественному лесовосстановлению, а также комбинированному лесовосстановлению, при котором лес высаживается там, где естественным способом он в силу различных причин вырасти не может. Общий объем лесовосстановительных работ, согласно плану федпроекта «Сохранение лесов» на 2021 год, составляет 1,2 млрд га. Из них в настоящее время выполнено 157 тыс. га. Это на 1,3 тыс. га больше, чем за аналогичный период прошлого года.

Чтобы лесные культуры прижились, им необходим агротехнический уход, когда сеянцы и саженцы пропалывают, рыхлят под ними почву. Эти работы в регионах уже начались, они проведены на площади более 70 тыс. га. Максимальные показатели приходятся на Центральный федеральный округ (31 тыс. га) и Приволжье (14,5 тыс. га). Всего же до конца года агротехнический уход планируется провести на 652 тыс. га посадок.

Напомним, с 2019 года в России в рамках нацпроекта «Экология» действует федеральный проект «Сохранение лесов». В соответствии с его задачами площадь ежегодного лесовосстановления в нашей стране к 2024 году должна достичь 1,5 млн га. В начале действия федпроекта этот показатель составлял 1 млн га.