

ЛЕСНОЙ ВЕСТНИК / FORESTRY BULLETIN

Научно-информационный журнал

№ 1 ' 2022 Том 26

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

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

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, член-корреспондент РАН, 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

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

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

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

Стрекалов Александр Федорович, канд. техн. наук, 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

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

Дата выхода в свет 25.01.2022.

Тираж 600 экз.

Заказ №

Объем 18,5 п. л.

Цена свободная

LESNOY VESTNIK / FORESTRY BULLETIN

Scientific Information Journal
No. 1 ' 2022 Vol. 26

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, Corresponding Member of the RAS, 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 25.01.2022.
Circulation 600 copies
Order №
Volume 18,5 p. p.
Price free

СОДЕРЖАНИЕ

БИОЛОГИЧЕСКИЕ И ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЕ АСПЕКТЫ ЛЕСНОГО ХОЗЯЙСТВА

Беднова О.В. Охридский минер <i>Cameraria ohridella</i> Deschka&Dimic: особенности инвазионных очагов и перспективы биологического контроля численности	5
Есичев А.О., Бессчетнова Н.Н., Бессчетнов В.П., Бабич А.Н., Кентбаев Е.Ж., Кентбаева Б.А. Содержание и баланс запасных веществ в побегах лиственницы сибирской в условиях реинтродукции в Нижегородскую область	17
Пристова Т.А. Задержание атмосферных осадков пологом древостоя березово-елового молодняка в условиях средней тайги Республики Коми	28
Острошенко В.Ю., Острошенко Л.Ю. Влияние предпосевной обработки семян (дражирования) на грунтовую всхожесть и дальнейший рост сеянцев сосны обыкновенной (<i>Pinus silvestris</i> L.)	35
Якимов М.В., Абсалямов Р.Р., Якимов Д.В. Влияние погодных условий на медосбор в период цветения липы мелколистной в Удмуртской Республике	41
Щеголева Л.В., Гудач Д.В., Кабонен А.В. Алгоритм моделирования и визуализации роста дерева	50

ЛАНДШАФТНАЯ АРХИТЕКТУРА

Кругляк В.В., Гурьева Е.И., Карташова Н.П., Царегородцев А.В. Инновационный Воронежский Международный фестиваль садов и цветов «Город-сад»	58
Леонова В.А., Чатинян В.Е., Ефремян Н.Т. Особенности ландшафтного проектирования объектов г. Еревана	69

ДЕРЕВООБРАБОТКА И ХИМИЧЕСКАЯ ПЕРЕРАБОТКА ДРЕВЕСИНЫ

Бабаханова Х.А., Садриддинов А.А., Галимова Э.К., Исмаилов И.И. Исследование микрогеометрии поверхности бумаги из целлюлозы, полученной из коры веток тутового дерева	84
Запруднов В.И. Влияние структуры древесно-цементного материала на прочностные и деформационные свойства	91
Кононов Г.Н., Веревкин А.Н., Сердюкова Ю.В., Миронов Д.А. Древесина как химическое сырье. История и современность. IV. Делигнификация древесины как путь получения целлюлозы. Часть I	97

ЛЕСОИНЖЕНЕРНОЕ ДЕЛО

Мохирев А.П., Герасимова М.М., Рукомойников К.П., Сергеева Т.В. Программное средство для нахождения оптимальной последовательности технологических операций производственного процесса лесозаготовительного предприятия	114
Макаренко А.В. Проектирование схем трелевочных волоков на лесосеке с неразрабатываемым участком	126

МАТЕМАТИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ

Батырев Ю.П., Поярков Н.Г., Чумаченко С.И., Беляев М.Ю., Сармин Э.Э., Есаков А.М., Черемисин М.В. Особенности проведения космического эксперимента «Дубрава» с борта Российского сегмента МКС	135
Полещук О.М. Кластерный анализ экспертной информации на основе Z-чисел	143

CONTENTS

BIOLOGICAL AND TECHNOLOGICAL ASPECTS OF FORESTRY

Bednova O.V. Ohrid miner <i>Cameraria ohridella</i> Deschka & Dimic: features of invasive foci and perspectives of biological control	5
Yesichev A.O., Besschetnova N.N., Besschetnov V.P., Babich N.A., Kentbayev E.Zh., Kentbayeva B.A. Content and balance of storage compounds in Siberian larch shoots under its reintroduction in Nizhny Novgorod region	17
Pristova T.A. Precipitation retention by birch-spruce young forest canopy in middle taiga of Komi Republic	28
Ostroshenko V.Yu., Ostroshenko L.Yu. Pre-sowing seed treatment (pelleting) influence on field germination and further growth of Scots pine (<i>Pinus silvestris</i> L.) seedlings	35
Yakimov M.V., Absalyamov R.R., Yakimov D.V. Influence of weather conditions on honey yield during flowering period of small-leaved linden in Udmurt Republic	41
Shchegoleva L.V., Gudach D.V., Kabonen A.V. Algorithm for tree growth modeling and visualization	50

LANDSCAPE ARCHITECTURE

Kruglyak V.V., Guryeva E.I., Kartashova N.P., Tsaregorodtsev A.V. Innovative Voronezh «Garden City» International Festival of Gardens and Flowers	58
Leonova V.A., Chatinyan V.E., Efremyan N.T. Features of landscape design of urban objects in Yerevan	69

WOODWORKING AND CHEMICAL WOOD PROCESSING

Babakhanova Kh.A., Sadriddinov A.A., Galimova Z.K., Ismailov I.I. Microgeometry of cellulose paper top made of mulberry tree bark branches	84
Zaprudnov V.I. Influence of wood-concrete material structure on strength and deformation properties	91
Kononov G.N., Verevkin A.N., Serdyukova Ju.V., Mironov D.A. Wood as chemical raw material. History and modernity. IV. Wood delignification to produce cellulose. Part I	97

FOREST ENGINEERING

Mokhiev A.P., Gerasimova M.M., Rukomojnikov K.P., Sergeeva T.V. Software tool to find optimal sequence of production process technological operations for logging enterprise	114
Makarenko A.V. Design of skidding trails at untapped cutting area	126

MATH MODELING

Batyrev Yu.P., Poyarkov N.G., Chumachenko S.I., Belyaev M.Yu., Sarmin E.E., Esakov A.M., Cheremisin M.V. Features of conducting «Dubrava» space experiment on board Russian segment of ISS	135
Poleshchuk O.M. Cluster analysis of expert information based on Z-numbers	143

ОХРИДСКИЙ МИНЕР *CAMERARIA OHRIDELLA* DESCHKA & DIMIC: ОСОБЕННОСТИ ИНВАЗИОННЫХ ОЧАГОВ И ПЕРСПЕКТИВЫ БИОЛОГИЧЕСКОГО КОНТРОЛЯ

О.В. Беднова

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

oliabednova@ Rambler.ru

Проанализированы экологические механизмы одной из самых динамичных биологических инвазий — колонизации искусственных насаждений каштана конского белого *Aesculus hippocastanum* L. охридским минером, или каштановой минирующей молью, *Cameraria ohridella* Deschka & Dimic (Lepidoptera, Gracillariidae). Обобщены материалы публикаций о биоэкологических особенностях *C. ohridella* в условиях нативного и инвазионного (вторичного) ареалов. Приведены результаты обследования инвазионных очагов фитофага в насаждениях Москвы. Проанализировано изменение популяционных характеристик (плотность, уровень повреждения энтомофагами) в связи с биотопическими условиями насаждений каштана конского и метеорологическими особенностями вегетационного сезона. Рассмотрены возможности снижения вредоносности *C. ohridella* посредством биологического контроля. Проанализирована информация о влиянии разных биотических факторов на фитофага. Особое внимание уделено паразитоидам как средству классического био-метода. Подходящего агента биологического контроля минера среди нативных паразитоидов до сих пор не выявлено, а уровень местного паразитизма в европейских инвазионных очагах низок. Мотивирована перспективность метода усиления местного паразитизма посредством накопления и контролируемого выпуска паразитоидов из листового опада. Эта технология уже опробована европейскими исследователями. Обоснована перспективность технологии сезонной колонизации энтомофагов-яйцеедов, которых можно массово разводить в условиях биологических лабораторий — паразитоидов трихограмм (Hymenoptera, Chalcidoidea, Trichogrammatidae) и хищных златоглазок (Neuroptera, Chrysopidae). В условиях инвазионных очагов *C. ohridella* эффективность сезонной колонизации предлагается усилить использованием синтетических аналогов летучих органических соединений, выделяемых растениями при повреждении фитофагами и привлекающих энтомофагов.

Ключевые слова: охридский минер, *Cameraria ohridella*, инвазионные очаги, биологический контроль, энтомофаги, сезонная колонизация

Ссылка для цитирования: Беднова О.В. Охридский минер *Cameraria ohridella* Deschka & Dimic: особенности инвазионных очагов и перспективы биологического контроля численности // Лесной вестник / Forestry Bulletin, 2022. Т. 26. № 1. С. 5–16. DOI: 10.18698/2542-1468-2022-1-5-16

Антропогенное вмешательство в природные процессы способно разрушать естественные механизмы расселения видов и размывать сформировавшиеся векторы расселения. При этом преднамеренная интродукция растений и животных является значимым фактором появления инвазивных видов. Однако в условиях развития транспортных путей и глобализации торговых грузопотоков активизируется и случайное расселение, провоцирующее эффект «биотического дождя» — экспансии чужеземных видов на новые территории [1].

По своего рода смешанному сценарию произошло развитие инвазии каштановой минирующей моли (*Cameraria ohridella* Deschka & Dimic), или охридского минера, который уже более 40 лет «терроризирует» искусственные насаждения каштана конского белого *Aesculus hippocastanum* L. — породы-интродуцента для большей части европейского континента. Биоэкологические особенности охридского минера —

способность к диффузному расселению на стадии имаго, поливольтинизм (несколько генераций (поколений) за вегетационный сезон), невысокая уязвимость со стороны биотических факторов [2] — успешно реализовались в условиях комплекса антропогенных воздействий. Так, широкое культивирование каштана конского белого по европейской территории, начиная с конца XVI в. [3], поддерживает обширную кормовую базу фитофага, а преобразование ландшафтов и развитие транспортных путей в зоне естественных рефугиумов каштана на юге Балканского полуострова создало огромные возможности для распространения его с растительным материалом, открыло множество коридоров для миграции имаго. Во всех регионах присутствия охридский минер вследствие высокой популяционной плотности снижает декоративные свойства и ослабляет экологические функции насаждений.

Заметное повреждение прежде неизвестным насекомым-минером было впервые зафиксировано в конце 1970-х годов в искусственных посадках каштана конского в окрестностях

Охридского озера, находящегося на границе Северной Македонии и Албании [4]. Фитофаг быстро распространялся в соседние регионы. Этот факт стимулировал таксономические исследования, и югославские энтомологи Г. Дешка и Н. Демич в 1986 г. описали новый вид минера как *Cameraria ohridella*, отнеся его к семейству *Lithocolletidae* (позднее — *Gracillariidae*) на основе материала, собранного в 1984–1985 гг. в очаге вредителя в 5...6 км к востоку от Охридского озера [5]. Далее, в конце 1980-х годов, последовала собственно инвазионная волна распространения вредителя, которую связывают со случайным продвижением минера по торговым и транспортным путям в искусственные насаждения каштана конского в Европе. На территории России этот фитофаг впервые официально зарегистрирован в 2003 г. в Калининградской обл. [6], в Москве в 2005 г. — мины фитофага были обнаружены на деревьях *A. hippocastanum* в дендрарии Главного ботанического сада Российской академии наук (далее — ГБС РАН), куда, вероятнее всего, фитофаг попал с посадочным материалом, импортированным из Европы [7]. В 2014 г. минера обнаружили в Казахстане, в озеленительных посадках Алма-Аты [8], в связи с чем было высказано предположение о формировании изолированного от европейского инвазионного ареала *C. ohridella* в Центральной Азии.

Примечательно, что долгое время вопрос о происхождении охридского минера оставался дискуссионным. Изначально предполагали, что это реликтовый вид, переживший ледниковый период совместно со своим растением-хозяином *A. hippocastanum* в юго-восточной части Европы [5, 9]. Однако высказывалась и гипотеза о том, что *C. ohridella* — вид не европейский, а завезен на Балканский полуостров с других континентов. Охридский минер иногда встречается в Европе на деревьях нескольких видов клена (*Acer* spp.), растущих вокруг заселенных деревьев *A. hippocastanum* [10]. Отсюда следует предположение о возможности перехода *C. ohridella* с другого вида растения-хозяина на каштан конский на Балканском полуострове или в ином месте, поскольку смещение с растения-хозяина обычно происходит тогда, когда насекомое встречает новое кормовое растение, и, если растение или насекомое эндемично [2]. Тем не менее, в настоящее время с помощью современных методов филогеографических исследований подтверждено происхождение минера из естественных рефугиумов *A. hippocastanum* на юге Балканского полуострова [12]. Гипотеза балканского происхождения была подкреплена и результатами анализа листьев шести европейских гербарных коллекций за период с 1879 по 1981 гг., собранных как в естественных биотопах, так и в зоне интро-

дукции каштана конского белого [12]. Для всех образцов спрессованных в гербариях остатков преимагинальных фаз минера была подтверждена идентичность *C. ohridella*, а результаты амплификации фрагментов штрих-кода ядерной ДНК и митохондриальной ДНК от личинок из самой старой коллекции 1879 г., собранной в природном биотопе *A. hippocastanum* в центральной части Греции, фактически отбросили историю охридского минера в Европе назад, по крайней мере, более чем на столетие, т. е. «новый» биологический вид — вовсе не открытие.

Высокий уровень численности *C. ohridella*, стабильно поддерживающийся в европейских насаждениях каштана конского, можно трактовать как инвазионную непериодическую волну [13]. В настоящее время охридский минер внесен в базу данных наиболее агрессивных инвазивных видов в Европе — DAISIE (Delivering Alien Invasive Species Inventories for Europe) [14].

Как же минимизировать вредоносность охридского минера? Частично спасти положение может замена *A. hippocastanum* на устойчивые к повреждению минером виды конских каштанов [15]. Но что же делать с многочисленными существующими посадками каштана конского белого, постоянно испытывающими стрессовое воздействие со стороны фитофага? К тому же, следует иметь в виду, что культивирование *A. hippocastanum* остается актуальным и еще по нескольким причинам: помимо декоративности этот вид ценится как ранний медонос, а его цветки, плоды и кора являются ценным сырьем для фармацевтики, прежде всего как источник тритерпеновых гликозидов и дубильных веществ. Сбор и обработка лекарственного сырья стандартизованы, что предполагает использование насаждений каштана с определенными эталонными свойствами [16]. Механизмы стресс-толерантности — выработка защитных вторичных метаболитов, преждевременный сброс листвы в условиях высокой плотности фитофага — обеспечивают выживаемость деревьев, но в результате изменения физиологического режима на фоне развития минера количество питательных веществ, направляемых на биомассу семян, снижается до 50% [17]. В связи с этим уменьшение продуктивности растений вследствие повреждения *C. ohridella* приобретает хозяйственную значимость. Сбор листового опада с зимующими куколками и применение химических инсектицидов и инъекций [14] способны локально снизить вредоносность фитофага. Но уборка листвы не везде целесообразна и возможна, а применение химических защитных средств в условиях урбанизированных территорий практически запрещено. Поэтому актуальность приобретают возможности методов биологического контроля численности *C. ohridella*.

Таким образом, действующие очаги *C. ohridella* в искусственных насаждениях каштана конского белого — это результат одной из наиболее динамичных биологических инвазий, понимание механизмов, векторов и последствий (как наблюдаемых, так и потенциально возможных) которой подразумевает многоаспектный анализ ситуации.

Цель работы

Цель работы — анализ особенностей экологических механизмов, обеспечивающих устойчивое существование инвазионных очагов охридского минера и выявление возможностей снижения вредоносности этого фитофага с помощью способов биологического контроля.

Методы и объекты исследования

Обобщены материалы публикаций о биоэкологических особенностях *C. ohridella* в условиях нативного и инвазионного ареалов. Исследованы особенности инвазионных очагов охридского минера в насаждениях Москвы на основе значений экологической плотности фитофага.

В качестве объектов локализации очагов минера обследовались насаждения каштана конского белого в Парке Победы на Поклонной горе, в ГЭС РАН и на территории Выставки достижений народного хозяйства (ВДНХ). Обследованные насаждения имеют биотопические различия.

Так, в Парке Победы каштаны (деревья возрастом около 30 лет) представлены параллельно расположенными относительно друг друга посадками двух категорий — в рабатках и по газону (рис. 1). Деревья в рабатках находятся в стрессовых условиях вследствие нарушения водного и почвенно-солевого режима. Ежегодно в июне на листьях появляются признаки краевого неинфекционного некроза, который быстро прогрессирует, и происходит преждевременный листопад, независимо от заселенности минером. Деревья, высаженные по газону, произрастают в благоприятных условиях. Посадки в Парке Победы обследованы на протяжении вегетационных периодов 2019 и 2020 гг. В насаждениях парка ежегодно проводится уборка листового опада, а в конце лета 2019 г. вследствие массового раннего листопада она проведена особо тщательно.

На территории ВДНХ каштан конский белый представлен аллеями и куртинными посадками. Признаков краевого некроза на деревьях на протяжении вегетации не отмечено, что свидетельствует о благоприятных биотопических условиях. Уборка листового опада проводится на территории регулярно и качественно.



Рис. 1. Посадки каштана конского белого *Aesculus hippocastanum* L. в Парке Победы на Поклонной горе, Москва

Fig. 1. White horse chestnut *Aesculus hippocastanum* L. plantations in Victory Park on Poklonnaya Gora, Moscow

Каштаны на территории ГЭС РАН представлены компактной посадкой в окружении лесопарковой растительности и одиночными деревьями.

Очаги минера в насаждениях в ГЭС и ВДНХ обследовались в 2020 г.

Единицей учета экологической плотности вредителя был сложный пальчатый лист каштана конского, на котором подсчитывалось общее количество мин. Средняя плотность мин оценивалась для каждой генерации вредителя. Во всех выборочных исследованиях во внимание принимались учеты количества мин на 100 листьях каштана в трех повторностях. Оценка плотности проводилась стандартными статистическими методами с определением дисперсии и ошибки среднего. Для первой генерации *C. ohridella* была проведена оценка гибели вследствие повреждения птицами как доля поврежденных мин от общего числа учтенных мин. Для оценки уровня заражения паразитоидами листья с минами помещались в индивидуальные пластиковые контейнеры для выведения насекомых в лабораторных условиях.

Результаты и обсуждение

Особенности жизненного цикла *C. ohridella* хорошо изучены, опубликовано достаточно много сведений об экологической плотности минера в разных точках его современного ареала [2, 14].

Согласно результатам сопряженных исследований биотопических особенностей естественных насаждений *A. hippocastanum* и их заселенности охридским минером, численность фитофага варьирует и отрицательно коррелирует с высотой над уровнем моря [3]. Обнаружены ценопопуляции каштана как свободные от минера (одна из них находится на периферии естественного ареала конского каштана белого), так и заселенные на уровне, сопоставимом с численностью фитофага в искусственных насаждениях (не исключена возвратная инвазия в естественные насаждения

Т а б л и ц а 1
Популяционные показатели *Cameraria ohridella* в насаждениях Москвы
Population indicators of *Cameraria ohridella* in Moscow plantations

Месторасположение насаждения	Количество мин, шт./лист		
	1-е поколение	2-е поколение	3-е поколение
2019			
Парк Победы (газон)	6,83 ± 0,56	4,56 ± 0,44	0
$k_{р.п}$	0,66		–
Парк Победы (рабатки)	0,97 ± 0,15	2,78 ± 0,27	–
$k_{р.п}$	2,86		–
2020			
Парк Победы (газон)	0,74 ± 0,10	0,38 ± 0,04	0,29 ± 0,07
$k_{р.п}$	0,51		0,76
Парк Победы (рабатки)	0,19 ± 0,04	0,07 ± 0,02	–
$k_{р.п}$	0,36		–
ГБС РАН	9,03 ± 0,90	9,77 ± 0,61	7,17 ± 0,35
$k_{р.п}$	1,08		0,73
ВДНХ (центральная аллея)	0	0,03 ± 0,009	0
$k_{р.п}$	–		–
ВДНХ (у МФЦ)	0	0,63 ± 0,09	0
$k_{р.п}$	–		–
ВДНХ (Северный вход)	0	0,55 ± 0,07	0
$k_{р.п}$	–		–
Примечание. $k_{р.п}$ — коэффициент роста популяции			

из искусственных вследствие ослабления изоляции естественных рефугиумов каштана в связи с антропогенным освоением территорий). Что касается инвазионной части ареала *C. ohridella*, то информации о влиянии на плотность фитофага биотопических особенностей насаждений немного. Это же относится и к динамике численности: обычно приводятся сведения об изменении плотности минера по поколениям на протяжении вегетационного сезона, данных о длительной динамике — чрезвычайно мало.

Проведенные нами исследования свидетельствуют о том, что в насаждениях Москвы экологическая плотность фитофага и ее сезонная динамика изменяются в зависимости от биотопических особенностей, режима хозяйственного содержания насаждений и метеорологической ситуации. Как свидетельствуют данные, приведенные в табл. 1, наиболее высокая плотность минера зафиксирована в ГБС РАН, что не было неожиданным — осенней уборки листьев здесь

не проводится, и фитофаг не претерпевает антропогенного вмешательства в ход своего естественного годового цикла. Бабочки, вылетающие в начале лета из опавшей листвы, дают достаточно высокую плотность яйцекладки. Вполне естественно выглядит и тенденция к росту плотности второго поколения. Для третьего поколения существенным фактором становится внутривидовая конкуренция — значительная часть листа уже занята минами предыдущих поколений.

Иная картина наблюдается в озеленительных посадках. В насаждениях ВДНХ, очевидно, имеют место миграционные очаги фитофага: отсутствие мин первого поколения свидетельствует об эффективности осенней уборки листвы в предыдущем сезоне, а их появление во второй половине лета указывает на миграцию бабочек из других насаждений. Высока вероятность насаждений ГБС РАН в качестве источника миграционной популяции. Что касается Парка Победы, то наличие информации за два вегетационных сезона позволяет расширить представления о биоэкологических особенностях вредителя. Прежде всего очевидны различия в значениях начальной плотности вредителя в 2019 и 2020 гг. (см. табл. 1). Низкую численность первой генерации минера в 2020 г можно связать с последствиями раннего листопада и тщательной уборки листьев в предыдущем сезоне. Что касается сезонной динамики *C. ohridella*, то здесь очевидны различия в зависимости от условий произрастания растения-хозяина: в обоих вегетационных сезонах характер популяционной динамики различается при развитии минера на деревьях, растущих в рабатках и по газону. Более низкую плотность фитофага в первой генерации на деревьях в рабатках можно объяснить запаздыванием распускания и формирования листвы с необходимыми пищевыми качествами — вредитель начинает осваивать ее позднее, чем на деревьях, растущих в менее стрессовых условиях по газону.

Для понимания различий в паттернах сезонной динамики фитофага двух вегетационных периодов были проанализированы особенности метеорологической ситуации: на основе метеоданных за период с 1 июня по 30 сентября в 2019 и 2020 гг. рассчитаны значения гидротермического коэффициента (ГТК) [18]. Значение ГТК, по метеоданным 2019 г., составило 1,086, что, согласно оценочной шкале, характеризуется как «обеспеченное увлажнение»; для 2020 г. значение ГТК выше — 2,016 и соответствует рангу «избыточное увлажнение». Условия более влажного вегетационного сезона 2020 г. для минера оказались менее благоприятными (см. табл. 1): развитие первого поколения было более растянутым и менее продуктивным, чем в предыдущем сезоне,

а появление второго поколения в массе было приурочено к середине августа, т. е. к периоду начала старения листьев (листва деревьев в рубках к этому времени из-за сильного краевого некроза (см. рис. 1) была уже не пригодна для полного развития новой генерации). Такое положение определяет крайне низкое значение коэффициента роста популяции ($k_{p,n}$) от первого поколения ко второму. «Заторможенную» динамику в период более влажного вегетационного сезона 2020 г. иллюстрирует и ход развития минера в ГБС РАН. Так, при проведении учетов 27.09.2020 г. в фоновых для *C. ohridella* условиях ботанического сада листопад каштана еще не был массовым, и на листьях хорошо были различимы мины всех трех генераций (рис. 2).

Особого внимания заслуживают особенности влияния на численность *C. ohridella* биотических факторов в связи с исследованием возможностей ведения биологического контроля.

Известно, что в природных биотопах аборигенные виды минеров по сравнению со свободно живущими филлофагами имеют меньшую смертность на стадии яйца, реже гибнут от патогенов, но более зависимы от индуцированных защитных реакций растения-хозяина (прежде всего, преждевременного опадения листьев) [19], и уязвимы со стороны паразитоидов в преимагинальных стадиях — зараженность паразитоидами может превышать 60 % [20]. Инвазивные же виды насекомых-минеров могут и не встретить сильного давления со стороны местной исторически сложившейся фауны энтомофагов. Так, результаты многолетних исследований в европейских инвазионных очагах липовой моли-пестрянки — *Phyllonorycter issikii* (ее нативный ареал — юг Дальнего Востока и Япония) — свидетельствуют о крайне высокой выживаемости (53,2...81,7 %) куколок первой генерации и незначительной (0,9...12,5 %) смертности от паразитоидов независимо от происхождения и структуры насаждений *Tilia cordata* Mull. [21].

В работе [22] приведены таблицы выживаемости охридского минера: основными факторами личиночно-куколичной смертности являются поедание хищными членистоногими и птицами во всех поколениях минера и старение листьев — для летне-осеннего поколения, уровень гибели от паразитоидов составил 5 %.

Отмечено свыше 20 видов птиц, в основном синицы р. *Parus* (*P. caeruleus*, *P. major*, *P. palustris*), питающиеся личинками и куколками, а изредка и взрослыми молями. Однако их хищничество в городских насаждениях держится на уровне 2...4 % [23]. Спектр хищных беспозвоночных широк: прямокрылые — *Phaneroptera paleata* и *Meconema*



Рис. 2. Состояние листвы каштана конского, поврежденной *C. ohridella*, в ГБС РАН (снято 27.09.2020 г.)

Fig. 2. The state of the horse chestnut foliage damaged by *C. ohridella*, in the Main Botanical Garden of the Russian Academy of Sciences (09.27.2020)

meridionale; сетчатокрылые — сем. *Chrysopidae* (златоглазки); уховертки — *Dermaptera*; полужесткокрылые; из муравьев отмечен *Crematogaster scutellaris*; настоящие осы; кокцинеллиды; пауки). Суммарная смертность от последних в период вегетации достигает лишь 2...10 % [14]. Гибель куколок, зимующих в листовом опаде, от дождевых червей и других деструкторов может достигать 90 % [22].

При изучении комплекса патогенных микроорганизмов из личинок и куколок *C. ohridella* изолированы энтомопатогенные грибы, принадлежащие к родам *Aspergillus*; *Hirsutella*; *Beauveria*; *Metarhizium*; *Lecanicillium* and *Isaria* [24], но их влияние носит энзоотийный характер. В опытах минер инфицируется почвенными нематодами рода *Steinernema*, но, вероятно, они не оказывают существенного влияния на естественные популяции [25].

Уязвимость охридского минера со стороны паразитоидов целенаправленно начали изучать со времени начала прогрессирования инвазии. Было установлено, что в зоне вторичного ареала фитофаг везде осваивается комплексами местных энтомофагов [23, 26], а видовой комплекс паразитоидов в инвазионных очагах в целом оказался идентичным таковому в естественных рефугиумах каштана конского [27]. Выявлено свыше 30 видов паразитоидов, развивающихся на охридском минере в Европе. Большинство из них относятся к хальцидам (*Chalcidoidea*): преобладают представители семейства *Eulophidae*, есть виды из семейств *Eupelmidae*, *Pteromalidae*, а также встречаются ихневмониды (*Ichneumonidea*) из семейства *Braconidae*. В Западной и Центральной Европе доминируют эктопаразитоидные зулофиды *Minotetrastichus frontalis*, *Pnigalio agraulis* и в меньшей степени — эндопаразитоиды *Chrysocharis nephereus*, *Closterocerus trifasciatus* и *Pediobius saulius*. В Восточной Европе

Т а б л и ц а 2

Уровень гибели *Cameraria ohridella* от паразитоидовDeath rate of *Cameraria ohridella* from parasitoids

Район	Автор	Гибель от паразитоидов, %
Греция — нативные и инвазионные очаги	Grabenweger at al., 2005 [27]	3,6...21,0
Чехия, Словакия, Словения	Volter, Kenis, 2006 [29]	1,0...17
Сербия, Македония	Freise at al., 2002 [26]	1,7...13,7
Латвия	Metla at al., 2013 [24]	1,5...6,1
Австрия	Tomiczek, Krehan, 1998 [30]	1,7...15,2
Великобритания — юго-западная часть Лондона	Bhatti at al., 2013 [31]	2,1...6,2
Россия — окрестности города Краснодар	Костюков и др., 2014 [32]	12,5...33,6



Рис. 3. Повреждение мин *Cameraria ohridella* птицами
Fig. 3. Bird damage to *Cameraria ohridella* mines

и на Балканском полуострове основу комплекса составляют те же виды, но преобладает кукольный эндопаразитоид *P. saulius*. В условиях инвазионного ареала, так же, как и в приведенном выше примере с *Phyllonorycter issikii*, уровень паразитизма *C. ohridella* значительно ниже по сравнению с местными видами минеров. К тому же он контрастирует с зараженностью неинвазивных представителей рода *Cameraria*: у *C. nipponica* на *Acer* spp. в Китае и Японии смертность от паразитоидов составила соответственно 92 и 62 %, а у *Cameraria* spp., развивающегося в Японии на *Aesculus turbinata* и *Acer mono* — 76 % [2].

Опубликованные результаты исследований (табл. 2) свидетельствуют о низкой зараженности охридского минера паразитоидами как в нативной, так и в инвазионной частях современного ареала. Наши данные о гибели фитофага от птиц (рис. 3) и паразитоидов в обследованных насаждениях каштана конского в Москве не контрастируют с результатами других исследователей (табл. 3). Следует подчеркнуть, что везде, где проходили исследования, отмечалось отсутствие специализированных в отношении *C. ohridella* паразитоидов: все выявленные виды являются полифагами, заражающими различных листовых минеров, хотя нельзя исключать и специфичные для охридского минера их биотипы [28].

Т а б л и ц а 3

Поврежденность *Cameraria ohridella* энтомофагами в насаждениях Москвы, %Damage to *Cameraria ohridella* by entomophages in Moscow plantations, %

Группа энтомофагов	Обследованные насаждения	
	ГБС РАН	Парк Победы на Поклонной горе
Птицы	13,8	6,7
Паразитоиды		
1-я генерация минера	5,4	5,9
2-я генерация минера	3,5	6,4

Установлено, что главной причиной низкого паразитизма является плохая синхронизация между местными паразитоидами и *C. ohridella* весной: основная масса паразитоидов вылетает из листового опада за 6–8 недель до появления подходящих для заражения личинок и куколок минера [33]. Полезная деятельность паразитоидов в силу этого переносится на минеров других видов.

Однако постепенно видовое богатство и эффективность аборигенных паразитоидов могут увеличиваться. Вторгающийся хозяин, распространяясь, сталкивается с новыми видами энтомофагов из разных климатических зон, экологических регионов, разнообразных локальных биотопов, постепенно «обрастая новыми врагами» — это суть так называемой гипотезы экологической сортировки (the Ecological Sorting Hypothesis) [34]. При этом разным местным паразитоидам могут потребоваться различные по продолжительности периоды времени для поведенческих, фенологических и биологических адаптаций к новому хозяину. Авторы исследования [35], реконструировав картину паразитоидного комплекса *C. ohridella* как в пространственном, так и во временном масштабе, выявили тенденцию к усилению уровня паразитизма местных паразитоидов в инвазионных очагах в связи с длительностью пребывания инвайдера на территории.

Есть и еще одна гипотеза, объясняющая, как формируются паразитоидные сообщества инвазивных насекомых — *преследования хозяина* (Host-Pursuit Hypothesis). Согласно ей, паразитоиды из общей с хозяином области происхождения способны отслеживать расширения ареала хозяина [36]. В приложении к охридскому минеру эта гипотеза была проверена с помощью филогеографических исследований на примере *Pnigalio mediterraneus* (Hymenoptera: Eulophidae) — эктопаразитоида-полифага ряда листовых минеров и галлообразующих членистоногих [37]. По данным Grabenweger и соавт. [35], он доминирует в комплексе паразитоидов *C. ohridella* северо-западного кластера и обычен в юго-восточном. Очевидно, что «эффект преследования» могут демонстрировать и паразитоиды, приобретенные инвайдером в условиях вторичного ареала, распространяясь вместе с хозяином и адаптируясь (если нет географических и климатических ограничений) на новых территориях, т. е. механизмы, предсказываемые обеими гипотезами, сочетаются. Тем не менее процесс комплектации эффективного комплекса энтомофагов охридского минера займет длительное время. Следовательно, необходимо **изыскание прикладных методов биологического контроля** и апробация соответствующих технологий.

Как для любого инвазивного вида, для *C. ohridella* логичными представляются защитные меры классического биологического контроля, т. е. интродукции специализированных энтомофагов из области естественного распространения вредителя. Практическая реализация такого подхода долго не представлялась возможной в связи с неизвестностью происхождения фитофага. В настоящее время, когда проблема происхождения разрешилась, среди энтомофагов, выявленных в природном ареале *C. ohridella*, не обнаружено подходящих эффективных агентов.

Такое положение не отвергает целесообразности изысканий по использованию комплексов аборигенных паразитоидов в границах вторичного ареала. Напомним, что основным препятствием здесь является асинхронность развития охридского минера и местных паразитоидов. Можно ли преодолеть это несоответствие? В работе [38] представлена *технология усиления местного паразитизма*. Исследователи закладывали перезимовавший листовой опад с минами (он хранился при температурном режиме, не способствующем активации насекомых) в специальные контейнеры с отводным устройством, работающим по типу сепаратора. В первом отсеке сепаратора накапливались имаго минера, а в следующем — вылетевшие из зараженных личинок и куколок имаго паразитоидов, которых, накопив, выпускали, синхронизируя с жизненным циклом

C. ohridella. Использование подобной технологии в течение нескольких последовательных вегетационных сезонов имеет хорошие перспективы. Прием усиления паразитизма за счет контролируемого высвобождения паразитоидов из листового опада был апробирован на примере зулофида *Pnigalio agraulis* [39]: в полевом эксперименте был зафиксирован уровень паразитирования до 35 %, установлено, что при увеличении запаса выпускаемых энтомофагов в 10 раз уровень паразитирования минера увеличился в 4 раза.

Еще одним способом биологического контроля, потенциально перспективным в приложении к *C. ohridella*, может быть *сезонная колонизация энтомофагов-яйцеедов*, которых можно массово разводить в условиях биологических лабораторий. Так, паразитоидными яйцеедами являются наездники трихограммы — р. *Trichogramma* (Hymenoptera, Chalcidoidea, Trichogrammatidae). Разработка технологических схем использования трихограмм способом сезонной колонизации привлекает внимание уже длительное время, главным образом, для нужд полеводства и садоводства [40]. Из минирующих насекомых применение трихограмм успешно опробовано на томатной минирующей моли *Tuta absoluta* [41]. Представители *Trichogramma* spp. обладают рядом биологических особенностей [40], поэтому подбор подходящих видов и рас трихограмм для биологического контроля *C. ohridella* потребует не мало усилий. Другой группой энтомофагов, перспективных для контроля охридского минера на фазе яйца, являются златоглазки (Neuroptera, Chrysopidae). Их личинки являются хищниками-полифагами. На пространстве бывшего СССР видовой список златоглазок включает в себя 40 видов [42], а доминирует — *Chrysoperla* (= *Chrysopa*) *carnea* Steph. Этих насекомых на разных фазах развития можно обнаружить на листе каштана на протяжении вегетационного периода. Златоглазки природных популяций как эффективный фактор регуляции численности фитофагов проявляют себя, как правило, во второй половине лета. Сезонная колонизация может запустить механизм защиты раньше.

Технологические составляющие применения яйцеедов представляются следующими:

- 1) разведение лабораторной культуры энтомофага;
- 2) феромонный мониторинг лета и откладки яиц *C. ohridella*;
- 3) выпуск энтомофага в кроны каштанов в период массовой откладки яиц минером.

Но есть одна тонкость — и трихограммы, и златоглазки являются полифагами. При контролируемом выпуске необходимо избежать рассредоточения полезных насекомых и максимально привлечь их внимание к фитофагам-мишеням.

В связи с этим заслуживает внимания феномен семиохемиков — веществ, регулирующих химические взаимодействия организмов на популяционном и биоценотическом уровнях, в частности, вторичных метаболитов растений, проявляющих дистантное информационно-сигнальное действие. Так, в ответ на агрессию фитофага растение продуцирует летучие органические соединения — *herbivore-induced plant volatiles* (HIPV), привлекающие энтомофагов, трофически связанных с повреждающим растением фитофагом. Этот механизм противодействия растений фитофагам получил обозначение как «косвенная индуцированная устойчивость» [43]. По мере накопления данных появились идеи использования этого явления для усиления эффективности биологического контроля. В частности, наметились два пути:

1) создание и применение элиситоров косвенной индуцируемой устойчивости, способствующих увеличению эмиссии аттрактивных для энтомофагов летучих веществ [44];

2) синтез аналогов природных HIPV и разработка на их основе специальных химических препаратов [45].

Подобные исследования активизированы прежде всего в сфере защиты сельскохозяйственных культур. Но есть и результаты, полученные в условиях лесопарковых экосистем. Так, был идентифицирован компонентный состав летучих веществ с аттрактивным по отношению к энтомофагам действием, продуцируемых лесопарковой растительностью, и как наиболее часто встречающиеся отмечены Z-3-гексенилацетат, нонаналь, метилсалицилат, метилжасмонат, анисовый альдегид [46]. При оценке аттрактивного действия химических аналогов этих веществ выявлены различия в ольфакторной реакции лесных энтомофагов разных групп. В частности, для златоглазок аттрактивными свойствами обладают метилсалицилат и анисовый альдегид, для журчалок — анисовый альдегид, а у паразитоидов из числа микроперепончатокрылых не зарегистрированы достоверные различия в привлечении на ловушки с разными веществами. Сообщается о высокой ольфакторной восприимчивости к метилсалицилату и бензальдегиду у трихограмм [47].

Использование HIPV позиционируется в настоящее время в приложении к привлечению естественной полезной энтомофауны, однако в случае с *C. ohridella* эффективность этого приема целесообразно протестировать при обеих описанных выше технологиях контролируемого выпуска энтомофагов.

Выводы

Возможности биологического контроля численности охридского минера существуют. Так, *накопление и контролируемый выпуск местных*

энтомофагов-паразитоидов из листового опада является недорогой альтернативой сложной технологии лабораторного выращивания энтомофагов. Листовой опад, таким образом, становится важным технологическим ресурсом для накопления паразитоидов. *Сезонная колонизация энтомофагов-яйцеедов* с использованием аттрактивных в отношении энтомофагов HIPV, безусловно, потребует детальной проработки. В пользу целесообразности внедрения этой технологии можно привести следующее: выпуск энтомофагов-яйцеедов в очаги *C. ohridella* должен быть приурочен к периоду откладки яиц бабочками первой генерации. Поскольку в этот период повреждения листовой еще незначительны, то, очевидно, и выбор растением-хозяином легколетучих аттрактивных соединений сведен к минимуму — внесение синтетических аналогов HIPV в кроны деревьев может предотвратить нежелательное рассредоточение выпускаемых энтомофагов. На озелененных территориях эффект сезонной колонизации целесообразно подкрепить и традиционными биоценотическими (подсадка нектароносных травянистых растений, живые изгороди и т. п.) и биотехническими (углеводно-белковая подкормка имаго энтомофагов) методами.

Эти технологии предполагают интегрированный подход к снижению вредоносности охридского минера.

Список литературы

- [1] Биологические инвазии в водных и наземных экосистемах. М.: Товарищество научных изданий КМК, 2004. 436 с.
- [2] Kenis M., Tomov R., Svatos A., Schlinsog P., Lopez-Vaamonde C., Heitland W., Grabenweger G., Girardoz S., Freise J., Avtzi N. The horse-chestnut leaf miner in Europe. Prospects and Constraints for biological control // Proceedings of the 2nd International Symposium on biological control of arthropods, Davos, Switzerland, 12–16 September 2005. Morgantown: Forest Health Technology Enterprise Team, 2005, pp. 77–90.
- [3] Walas L., Dering M., Ganatsas P., Pietras M., Pers-Kamczyc E. The present status and potential distribution of relict populations of *Aesculus hippocastanum* L. in Greece and the diverse infestation by *Cameraria ohridella* Deschka & Dimić // Plant Biosystems, 2018, no 1, pp. 1048–1058. DOI: 10.1080/11263504.2017.1415991
- [4] Simova-Tosic D., Filov S. Contribution to the horse chestnut miner // Zastita Bilja (in Serbo-Croat), 1985, v. 36, pp. 235–239.
- [5] Deschka G., Dimic N. *Cameraria ohridella* sp. aus Mazedonien, Jugoslawien (Lepidoptera; Lithocolletidae) // Acta Entomologica Jugoslaviae, 1986, v. 22, pp. 11–23.
- [6] Гниненко Ю.И., Орлинский А.Д. Новые фитофаги древесных насаждений // Защита и карантин растений, 2004. № 4. С. 33.
- [7] Голосова М.А., Гниненко Ю.И. Появление охридского минера на конском каштане в Москве // Вестник МГУЛ – Лесной вестник, 2006. № 2. С. 43–46.
- [8] Гниненко Ю.И., Мухамадиев Н.С., Ашикбаев Н.Ж. Охридский минер *Cameraria ohridella* (Lepidoptera,

- Gracillariidae) — обнаружение в Центральной Азии // Российский журнал биологических инвазий, 2016. № 4. С. 14–18.
- [9] Grabenweger G., Grill R. On the place of origin of *Cameraria ohridella* Deschka & Dimic, 1986 (Lepidoptera, Gracillariidae) // Beitrage zur Entomofaunistik Wien, 2000, v. 1, pp. 9–17.
- [10] Hellrigl K. Neue Erkenntnisse und Untersuchungen über die Rosskastanien-Miniermotte *Cameraria ohridella* Deschka & Dimic, 1986 (Lepidoptera, Gracillariidae) // Grederiana, 2001, v. 1, pp. 9–81.
- [11] Valade R., Kenis M., Hernandez-Lopez A., Augustin S., Mena M., Magnoux E., Rougerie R., Lakatos F., Roques A., Lopez-Vaamonde C. Mitochondrial and microsatellite DNA markers reveal a Balkan origin for the highly invasive horse-chestnut leaf miner *Cameraria ohridella* (Lepidoptera, Gracillariidae) // Mol Ecol., 2009, v. 18, pp. 3458–3470. DOI: 10.2307/23034440
- [12] Lees D.C., Lack H.W., Rougerie R., Hernandez-Lopez A., Raus T., Avtzis N. D., Augustin S., Lopez-Vaamonde C. Tracking origins of invasive herbivores through herbaria and archival DNA: The case of the horse-chestnut leaf miner // Front Ecol Environ, 2011, v. 9, iss. 6, pp. 322–328. DOI: 10.1890/100098
- [13] Ермолаев И.В. Экологические механизмы непериодической популяционной волны на примере тополевой моли-пестрянки — *Phyllonorycter populifoliella* (Lepidoptera, Gracillariidae) // Журнал общей биологии, 2019. Т. 80. № 6. С. 451–476.
- [14] Invasive Species Compendium. URL: <https://www.cabi.org/isc/datasheet/40598> (дата обращения 20.09.2021).
- [15] Каштанова О.А., Ткаченко О.Б. Устойчивость видов конского каштана (*Aesculus* L.) К охридскому минеру, или каштановой минирующей моли (*Cameraria ohridella* Deschka & Dimic) // Бюл. Мос. об-ва испытателей природы. Отделение биологии, 2020. Т. 125. Вып. 5. С. 45–51.
- [16] Белов П.В. Фармакогностическое исследование каштана конского обыкновенного (*Aesculus hippocastanum* L.) как перспективного источника биологически активных веществ: дис. ... канд. фарм. наук. Самара, 2020. 164 с.
- [17] Salleo S, Nardini A., Raimondo F., Lo Gullo M.A. Pace F., Giacomich P. Effects of defoliation caused by the leaf miner *Cameraria ohridella* on wood production and efficiency in *Aesculus hippocastanum* growing in north-eastern Italy // Trees — structure and function, 2003, v. 17, pp. 367–375.
- [18] Беднова О.В., Губарев И.В. Особенности очагов охридского минера (*Cameraria ohridella*) в насаждениях Москвы // Актуальные проблемы лесного комплекса. Брянск: Изд-во БГИТУ, 2021. Вып. 59. С. 113–117.
- [19] Connor E.F., Taverner M.P. The evolution and adaptive significance of leaf-mining habit // Oikos, 1997, v. 79, pp. 6–25.
- [20] Hawkins B.A. Pattern and process in host-parasitoid interactions. Cambridge: University Press, 1994, p. 190.
- [21] Ермолаев И.В., Ефремова З.А., Ижболдина Н.В. Паразиты как фактор смертности липовой моли-пестрянки (*Phyllonorycter issikii*, Lepidoptera, Gracillariidae) // Зоологический журнал, 2011. Т. 90. № 1. С. 24–32.
- [22] Girardoz S., Quicke D., Kenis M. Factors favouring the development and maintenance of outbreaks in an invasive leaf miner *Cameraria ohridella* (Lepidoptera: Gracillariidae): a life table study // Agricultural and Forest Entomology, 2007, v. 9, iss. 2, pp. 141–158.
- [23] Grabenweger G., Kehrli P., Schlick-Steiner B., Steiner F., Stolz M., Bacher S. Predator complex of the horse chestnut leafminer *Cameraria ohridella*: identification and impact assessment // J. of Applied Entomology, 2005, v. 129, pp. 353–362.
- [24] Metla Z., Voitkāne S., Sešķēna R., Petrova V., Jankevica L. Presence of entomopathogenic fungi and bacteria in Latvian population of horse-chestnut leaf miner *Cameraria ohridella* // Acta Biol. Univ. Daugavp., 2013, v. 13, iss. 1, pp. 69–76.
- [25] Matuska-Lyżwa J., Kaca W., Żarnowiec P. Biological Activity of Wild Isolates of Entomopathogenic Nematodes to Horse Chestnut Leaf Miner (*Cameraria ohridella*) // Pol J Environ Stud., 2015, v. 24, pp. 1181–1184.
- [26] Freise J., Heitland W., Tosevski I. Parasitism of the horse-chestnut leaf miner, *Cameraria ohridella* Deschka and Dimic (Lep., Gracillariidae), in Serbia and Macedonia // Anzeiger für Schädlingskunde, 2002, v. 75, pp. 152–157.
- [27] Grabenweger G., Avtzis N., Girardoz S., Hrasovec B., Tomov R., Kenis M. Parasitism of *Cameraria ohridella* (Lepidoptera, Gracillariidae) in natural and artificial horse-chestnut stands in the Balkans // Agricultural and Forest Entomology, 2005, v. 7, pp. 291–296.
- [28] Girardoz S., Volter L., Tomov R., Quicke D.-L., Kenis M. Variations in parasitism in sympatric populations of three invasive leaf miners // J. of Applied Entomology, 2007, v. 13, iss. 9/10, pp. 603–612.
- [29] Volter L., Kenis M. Parasitoid complex and parasitism rates of the horse chestnut leafminer, *Cameraria ohridella* (Lepidoptera: Gracillariidae) in the Czech Republic, Slovakia and Slovenia // Eur. J. Entomol, 2006, v. 103, pp. 365–370.
- [30] Tomiczek C., Krehan H. The horse chestnut leaf mining moth, (*Cameraria ohridella*): A new pest in central Europe // J. of Arboriculture, 1998, v. 24, pp. 144–148.
- [31] Bhatti I., Ozanne C., Shaw P. Parasitoids and Parasitism Rates of the Horse Chestnut Leaf Miner *Cameraria ohridella* Deschka and Dimic (Lepidoptera: Gracillariidae) across Four Sites in South-West London // Arboricultural J.: The International J. of Urban Forestry, 2013, v. 35, iss. 13, pp. 147–159. DOI: 10.1080/03071375.2013.813706
- [32] Костюков В.В., Кошелева О.В., Наконечная И.В., Гунашева З.М. Первое сообщение о паразитах каштановой моли в России // Защита и карантин растений, 2014. № 9. С. 41–42.
- [33] Grabenweger G. Poor control of the horse chestnut leafminer, *Cameraria ohridella* (Lepidoptera: Gracillariidae), by native European parasitoids: a synchronisation problem // European J. of Entomology, 2004, v. 101, pp. 189–192.
- [34] Cornell H.V., Hawkins B.A. Accumulation of native parasitoid species on introduced herbivores: a comparison of hosts as natives and hosts as invaders // The American Naturalist, 1993, v. 141, iss. 6, pp. 847–865.
- [35] Grabenweger G., Kehrly P., Zweymuller I., Augustin S. Temporal and spatial variations in the parasitoid complex of the horse chestnut leafminer during its invasion of Europe // Biol. Invasions, 2010, v. 12, iss. 8, pp. 2797–2813. DOI: 10.1007/s10530-009-9685-z
- [36] Stone G.N., Lohse K, Nicholls J.A, Fuentes-Utrilla P., Sinclair F., Schönrogge K., Csoka G., Melika G., Nieves-Al-drey J.-L., Pujade-Villar J., Tavakoli M., Askew R.R., Hickerson J. Reconstructing community assembly in time and space reveals enemy escape in a western Palearctic insect community // Curr. Biol, 2012, v. 22, pp. 532–537.
- [37] Gebiola M., Lopez-Vaamonde C., Nappo A.G., Bernardo U. Did the parasitoid *Pnigalio mediterraneus* (Hymenoptera: Eulophidae) track the invasion of the horse chestnut leaf miner? // Biol Invasions, 2014, v. 16, pp. 843–857. DOI: 10.1007/s10530-013-0542-8
- [38] Kehrli P., Lehmann M., Bacher S. Mass-emergence devices: a biocontrol technique for conservation and augmentation of parasitoid // Biological control, 2005, v. 32, pp. 191–199.

- [39] Klug T., Meyhöfer R., Kreye M., Hommes M. Native parasitoids and their potential to control the invasive leafminer, *Cameraria ohridella* DESCH. & DIM. (Lep.: Gracillariidae) // *Bulletin of Entomological Research*: Cambridge University Press, 2008, v. 98, pp. 379–387. DOI: 10.1017/S0007485308005695
- [40] Сорокина А.П. Применение трихограммы: прошлое и настоящее // *Защита и карантин растений*, 2011. № 10. С. 9–12.
- [41] Cabello T. Biological control of the South American Tomato Pinworm *Tuta absoluta* with releases of *Trichogramma achaeae* in tomato greenhouses of Spain. Integrated control in Protected Crops, Mediterranean Climate // *IOBC/WPRS Bulletin*, 2009, v. 49, pp. 225–230.
- [42] Коваленков В.Г. Технология разведения и применения энтомофагов должна соответствовать регламентам // *Защита и карантин растений*, 2011. № 6. С. 43–46.
- [43] Dicke M., van Poecke R.M.P., de Boer J.G. Inducible indirect defence of plants: From mechanism to ecological function // *Basic Appl. Ecol.*, 2003, v. 4, pp. 27–42.
- [44] Буров В.Н., Петрова М.О., Селищкая О.Г., Степанычева Е.А., Черменская Т.Д., Шамшев И.В. Индуцированная устойчивость растений к фитофагам. М.: Товарищество научных изданий КМК, 2012. 181 с.
- [45] Khan Z.R., James D.G., Midega C.A.O., Pickett J.A. Chemical ecology and conservation biological control // *Biological Control*, 2008, v. 45, pp. 210–224.
- [46] Степанычева Е.А., Петрова М.О., Черменская Т.Д. Атрактивность синтетических аналогов летучих соединений растений для энтомофагов // *Защита и карантин растений*, 2017. № 12. С. 22–24.
- [47] Simpson M., Simmons A.T., Wratten S.D., James D.G., Leeson G., Nicol H.I. Insect attraction to synthetic herbivore-induced plant volatile-treated field crops // *Agricultural and Forest Entomology*, 2011, v. 13., iss.1, pp. 45–57. DOI: 10.1111/j.1461-9563.2010.00496.x

Сведения об авторе

Беднова Ольга Викторовна — канд. биол. наук, доцент кафедры лесоводства, экологии и защиты леса МГТУ им. Н.Э. Баумана (Мытищинский филиал), oliabednova@rambler.ru

Поступила в редакцию 27.09.2021.

Одобрено после рецензирования 24.11.2021.

Принята к публикации 06.12.2021.

OHRID MINER CAMERARIA OHRIDELLA DESCHKA & DIMIC: FEATURES OF INVASIVE FOCI AND PERSPECTIVES OF BIOLOGICAL CONTROL

O.V. Bednova

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

oliabednova@rambler.ru

The ecological mechanisms of one of the most dynamic biological invasions such as a colonization of artificial plantations of horse chestnut *Aesculus hippocastanum* L. by the ohrid miner, or chestnut miner *Cameraria ohridella* Deschka & Dimic (Lepidoptera, Gracillariidae) have been analyzed. The materials of publications on the bioecological features of *C. ohridella* in the conditions of native and invasive areas are summarized. The survey results of phytophage invasive foci in plantations of Moscow are presented. Particular attention is paid to the change in population characteristics (density, level of damage by entomophages) in connection with the biotopic conditions of horse chestnut plantations and meteorological features of the growing season. Measures to reduce the harm by *C. ohridella* by means of a biological control are considered. The information on the influence of various biotic factors on the phytophage is analyzed. Particular attention is paid to parasitoids as a means of the classical biological method. A suitable agent among parasitoids from natural foci of the miner has not yet been identified, and the level of local parasitism in European invasive foci is low. The perspective method of enhancing local parasitism through the accumulation and controlled release of parasitoids from leaf litter is substantiated. This technique makes it possible to synchronize the appearance of parasitoids with the phenology of the pest. This technology has already been tested by European researchers. Prospects are substantiated, the technology of seasonal colonization of parasits, which can be massively bred in biological laboratories such as parasitoids of *Trichogramma* (Hymenoptera, Chalcidoidea, Trichogrammatidae) and chrysopids (Neuroptera, Chrysopidae) is presented. Inside the invasive foci of *C. ohridella*, the effectiveness of seasonal colonization is proposed to be enhanced by using synthetic analogs of herbivore-induced plant volatiles (HIPV) that attract entomophages.

Keywords: Ohrid miner, *Cameraria ohridella*, horse chestnut, invasive foci, biological control, entomophages, seasonal colonization

Suggested citation: Bednova O.V. *Okhridskiy minor Cameraria ohridella Deschka&Dimic: osobennosti invazionnykh ochagov i perspektivy biologicheskogo kontrolya* [Ohrid miner *Cameraria ohridella* Deschka & Dimic: features of invasive foci and perspectives of biological control]. *Lesnoy vestnik / Forestry Bulletin*, 2022, vol. 26, no. 1, pp. 5–16. DOI: 10.18698/2542-1468-2022-1-5-16

References

- [1] *Biologicheskiye invazii v vodnykh i nazemnykh ekosistemakh* [Biological invasions in aquatic and terrestrial ecosystems]. Moscow: Partnership of scientific publications KMK, 2004, 436 p.
- [2] Kenis M., Tomov R., Svatos A., Schlinsog P., Lopez-Vaamonde C., Heitland W., Grabenweger G., Girardoz S., Freise J., Avtzis N. The horse-chestnut leaf miner in Europe. Prospects and Constraints for biological control. In Proceedings of the 2nd International Symposium on biological control of arthropods, Davos, Switzerland, 12–16 September 2005. Morgantown: Forest Health Technology Enterprise Team, 2005, pp. 77–90.
- [3] Walas L., Dering M., Ganatsas P., Pietras M., Pers-Kamczyc E. The present status and potential distribution of relict populations of *Aesculus hippocastanum* L. in Greece and the diverse infestation by *Cameraria ohridella* Deschka & Dimić. *Plant Biosystems*, 2018, no 1, pp. 1048–1058. DOI: 10.1080/11263504.2017.1415991
- [4] Simova-Tosic D., Filov S. Contribution to the horse chestnut miner. *Zastita Bilja* (in Serbo-Croat), 1985, v. 36, pp. 235–239.
- [5] Deschka G., Dimic N. *Cameraria ohridella* sp. aus Mazedonien, Jugoslawien (Lepidoptera; Lithocolletidae). *Acta Entomologica Jugoslaviae*, 1986, v. 22, pp. 11–23.
- [6] Gninenko YU. I., Orlinskiy A.D. *Novyye fitofagi drevesnykh nasazhdeniy* [New phytophages of tree plantations] *Zashchita i karantin rasteniy*. [Plant Protection and Quarantine], 2004, no 4, p. 33.
- [7] Golosova M.A., Gninenko YU.I. *Poyavleniye okhridskogo minera na konskom kashtane v Moskve* [The appearance of the Ohrid leafminer on horse chestnut in Moscow]. *Moscow state forest university bulletin – Lesnoy vestnik*, 2006, no 2, pp.43–46.
- [8] Gninenko Yu.I., Mukhamadiev N.S., Ashikbaev N.Zh. *Okhridskiy minor Cameraria ohridella (Lepidoptera, Gracillariidae) — obnaruzheniye v Tsentral'noy Azii* [Ohrid miner *Cameraria ohridella* (Lepidoptera, Gracillariidae) — detection in Central Asia]. *Rossiyskiy Zhurnal biologicheskikh invaziy* [Russian Journal of Biological Invasions], 2016, no. 4, pp. 14–18.
- [9] Grabenweger G., Grill R. On the place of origin of *Cameraria ohridella* Deschka & Dimic, 1986 (Lepidoptera, Gracillariidae). *Beitrag zur Entomofaunistik Wien*, 2000, v. 1, pp. 9–17.
- [10] Hellrigl K. Neue Erkenntnisse und Untersuchungen über die Rosskastanien-Miniermotte *Cameraria ohridella* Deschka & Dimic, 1986 (Lepidoptera, Gracillariidae). *Gredleriana*, 2001, v. 1, pp. 9–81.
- [11] Valade R., Kenis M., Hernandez-Lopez A., Augustin S., Mena M., Magnoux E., Rougerie R., Lakatos F., Roques A., Lopez-Vaamonde C. Mitochondrial and microsatellite DNA markers reveal a Balkan origin for the highly invasive horse-chestnut leaf miner *Cameraria ohridella* (Lepidoptera, Gracillariidae). *Mol Ecol.*, 2009, v. 18, pp. 3458–3470. DOI: 10.2307/23034440
- [12] Lees D.C., Lack H.W., Rougerie R., Hernandez-Lopez A., Raus T., Avtzis N. D., Augustin S., Lopez- Vaamonde C. Tracking origins of invasive herbivores through herbaria and archival DNA: The case of the horse-chestnut leaf miner. *Front Ecol Environ*, 2011, v. 9, iss. 6, pp. 322–328. DOI: 10.1890/100098
- [13] Yermolayev I.V. *Ekologicheskiye mekhanizmy neperiodicheskoy populyatsionnoy volny na primere topolevoy moli-pestryanki — Phyllonorycter populifoliella (Lepidoptera, Gracillariidae)* [Ecological mechanisms of non-periodic population waves on the example of the poplar moth — *Phyllonorycter populifoliella* (Lepidoptera, Gracillariidae)]. *Zhurnal obshchey biologii* [Journal of General Biology], 2019, v. 80, no. 6, pp. 451–476.
- [14] Invasive Species Compendium. Available at: <https://www.cabi.org/isc/datasheet/40598> (accessed 09.20.2021).
- [15] Kashtanova O.A., Tkachenko O.B. *Ustoychivost' vidov konskogo kashtana (Aesculus L.) K okhridskomu mineru, ili kashtanovoy miniruyushchey moli (Cameraria ohridella Deschka & Dimić)* [Resistance of horse chestnut species (*Aesculus* L.) to Ohrid miner, or chestnut miner (*Cameraria ohridella* Deschka & Dimić)]. *Byul. Mosk. obshchestva ispytateley prirody. Otd. Biol* [Bul. Moscow society of nature testers. Dept. Biol], 2020, v. 125, iss. 5, pp. 45–51.
- [16] Belov P.V. *Farmakognosticheskoye issledovaniye kashtana konskogo obyknovennogo (Aesculus hippocastanum L.) kak perspektivnogo istochnika biologicheskii aktivnykh veshchestv* [Pharmacognostic study of horse chestnut (*Aesculus hippocastanum* L.) as a promising source of biologically active substances]. *Dis. ... Cand. Sci. (Pharmaceutical)*. Samara, 2020, p. 164.
- [17] Salleo S, Nardini A., Raimondo F., Lo Gullo M.A. Pace F., Giacomich P. Effects of defoliation caused by the leaf miner *Cameraria ohridella* on wood production and efficiency in *Aesculus hippocastanum* growing in north-eastern Italy. *Trees — structure and function*, 2003, v. 17, pp. 367–375.
- [18] Bednova O.V., Gubarev I.V. *Osobennosti ochagov okhridskogo minora (Cameraria ohridella) v nasazhdeniyakh Moskvy* [Features of Ohrid miner (*Cameraria ohridella*) foci in Moscow plantations]. *Aktual'nyye problemy lesnogo kompleksa* [Actual problems of the forest complex]. Bryansk: BGITU, 2021, no. 59, pp. 113–117.
- [19] Connor E.F., Taverner M.P. The evolution and adaptive significance of leaf-mining habit. *Oikos*, 1997, v. 79, pp. 6–25.
- [20] Hawkins B.A. *Pattern and process in host-parasitoid interactions*. Cambridge: University Press, 1994, p. 190.
- [21] Yermolayev I. V., Yefremova Z. A., Izhboldina N. V. *Parazitoidy kak faktor smertnosti Lipovoy moli-pestryanki (Phyllonorycter issikii, Lepidoptera, Gracillariidae)* [Parasitoids as a factor of mortality of the Linden moth (*Phyllonorycter issikii*, Lepidoptera, Gracillariidae)]. *Zoologicheskii zhurnal* [Zoological journal], 2011, v. 90, no. 1, pp. 24–32.
- [22] Girardoz S., Quicke D., Kenis M. Factors favouring the development and maintenance of outbreaks in an invasive leaf miner *Cameraria ohridella* (Lepidoptera: Gracillariidae): a life table study. *Agricultural and Forest Entomology*, 2007, v. 9, iss. 2, pp. 141–158.
- [23] Grabenweger G., Kehrl P., Schlick-Steiner B., Steiner F., Stolz M., Bacher S. Predator complex of the horse chestnut leafminer *Cameraria ohridella*: identification and impact assessment. *J. of Applied Entomology*, 2005, v. 129, pp. 353–362.
- [24] Metla Z., Voitkāne S., Sešķēna R., Petrova V., Jankevica L. Presence of entomopathogenic fungi and bacteria in Latvian population of horse-chestnut leaf miner *Cameraria ohridella*. *Acta Biol. Univ. Daugavp.*, 2013, v. 13, iss. 1, pp. 69–76.
- [25] Matuska-Lyzwa J., Kaca W., Żarnowiec P. Biological Activity of Wild Isolates of Entomopathogenic Nematodes to Horse Chestnut Leaf Miner (*Cameraria ohridella*). *Pol J Environ Stud.*, 2015, v. 24, pp. 1181–1184.
- [26] Freise J., Heitland W., Tosevski I. Parasitism of the horse-chestnut leaf miner, *Cameraria ohridella* Deschka and Dimic (Lep., Gracillariidae), in Serbia and Macedonia. *Anzeiger für Schädlingkunde*, 2002, v. 75, pp. 152–157.
- [27] Grabenweger G., Avtzis N., Girardoz S., Hrasovec B., Tomov R., Kenis M. Parasitism of *Cameraria ohridella* (Lepidoptera, Gracillariidae) in natural and artificial horse-chestnut stands in the Balkans. *Agricultural and Forest Entomology*, 2005, v. 7, pp. 291–296.

- [28] Girardo S., Volter L., Tomov R., Quicke D.-L., Kenis M. Variations in parasitism in sympatric populations of three invasive leaf miners. *J. of Applied Entomology*, 2007, v. 13, iss. 9/10, pp. 603–612.
- [29] Volter L., Kenis M. Parasitoid complex and parasitism rates of the horse chestnut leafminer, *Cameraria ohridella* (Lepidoptera: Gracillariidae) in the Czech Republic, Slovakia and Slovenia. *Eur. J. Entomol.*, 2006, v. 103, pp. 365–370.
- [30] Tomiczek C., Krehan H. The horse chestnut leaf mining moth, (*Cameraria ohridella*): A new pest in central Europe. *J. of Arboriculture*, 1998, v. 24, pp. 144–148.
- [31] Bhatti I., Ozanne C., Shaw P. Parasitoids and Parasitism Rates of the Horse Chestnut Leaf Miner *Cameraria ohridella* Deschka and Dimić (Lepidoptera: Gracillariidae) across Four Sites in South-West London. *Arboricultural J.: The International J. of Urban Forestry*, 2013, v. 35, iss. 13, pp. 147–159. DOI: 10.1080/03071375.2013.813706
- [32] Kostyukov V.V., Kosheleva O.V., Nakonechnaya I.V., Gunasheva Z.M. *Pervoye soobshcheniye o parazitakh kashtanovoy moli v Rossii* [The first report on the chestnut moth parasites in Russia]. *Zashchita i karantin rasteniy* [Plant Protection and Quarantine], 2014, no. 9, pp. 41–42.
- [33] Grabenweger G. Poor control of the horse chestnut leafminer, *Cameraria ohridella* (Lepidoptera: Gracillariidae), by native European parasitoids: a synchronisation problem. *European J. of Entomology*, 2004, v. 101, pp. 189–192.
- [34] Cornell H.V., Hawkins B.A. Accumulation of native parasitoid species on introduced herbivores: a comparison of hosts as natives and hosts as invaders. *The American Naturalist*, 1993, v. 141, iss. 6, pp. 847–865.
- [35] Grabenweger G., Kehrly P., Zweymüller I., Augustin S. Temporal and spatial variations in the parasitoid complex of the horse chestnut leafminer during its invasion of Europe. *Biol. Invasions*, 2010, v. 12, iss. 8, pp. 2797–2813. DOI: 10.1007/s10530-009-9685-z
- [36] Stone G.N., Lohse K., Nicholls J.A., Fuentes-Utrilla P., Sinclair F., Schönrogge K., Csoka G., Melika G., Nieves-Aldrey J.-L., Pujade-Villar J., Tavakoli M., Askew R.R., Hickerson J. Reconstructing community assembly in time and space reveals enemy escape in a western Palearctic insect community. *Curr. Biol.*, 2012, v. 22, pp. 532–537.
- [37] Gebiola M., Lopez-Vaamonde C., Nappo A.G., Bernardo U. Did the parasitoid *Pnigalio mediterraneus* (Hymenoptera: Eulophidae) track the invasion of the horse chestnut leaf miner?. *Biol. Invasions*, 2014, v. 16, pp. 843–857. DOI: 10.1007/s10530-013-0542-8
- [38] Kehrly P., Lehmann M., Bacher S. Mass-emergence devices: a biocontrol technique for conservation and augmentation of parasitoid. *Biological control*, 2005, v. 32, pp. 191–199.
- [39] Klug T., Meyhöfer R., Kreye M., Hommes M. Native parasitoids and their potential to control the invasive leafminer, *Cameraria ohridella* DESCH. & DIM. (Lep.: Gracillariidae). *Bulletin of Entomological Research: Cambridge University Press*, 2008, v. 98, pp. 379–387. DOI:10.1017/S0007485308005695
- [40] Sorokina A.P. *Primeneniye trikhogrammy: proshloye i nastoyashcheye* [Application of trichogramma: past and present]. *Zashchita i karantin rasteniy* [Plant protection and quarantine], 2011, no. 10, pp. 9–12.
- [41] Cabello T. Biological control of the South American Tomato Pinworm *Tuta absoluta* with releases of *Trichogramma achaeae* in tomato greenhouses of Spain. *Integrated control in Protected Crops, Mediterranean Climate. IOBC/WPRS Bulletin*, 2009, v. 49, pp. 225–230.
- [42] Kovalenkov V.G. *Tekhnologiya razvedeniya i primeneniya entomofagov dolzhna sootvetstvovat' reglamentam* [The technology of breeding and using entomophages must comply with the regulations]. *Zashchita i karantin rasteniy* [Protection and Quarantine], 2011, no. 6, pp. 43–46.
- [43] Dicke M., van Poecke R.M.P., de Boer J.G. Inducible indirect defence of plants: From mechanism to ecological function. *Basic Appl. Ecol.*, 2003, v. 4, pp. 27–42.
- [44] Burov V.N., Petrova M.O., Selitskaya O.G., Stepanycheva Ye.A., Chermenskaya T.D., Shamshev I.V. *Indutsirovannaya ustoychivost' rasteniy k fitofagam* [Induced plant resistance to phytophages]. Moscow: Partnership of scientific publications KMK, 2012, 181 p.
- [45] Khan Z.R., James D.G., Midega C.A.O., Pickett J.A. Chemical ecology and conservation biological control. *Biological Control*, 2008, v. 45, pp. 210–224.
- [46] Stepanycheva Ye.A., Petrova M.O., Chermenskaya T.D. *Attraktivnost' sinteticheskikh analogov letuchikh soyedineniy rasteniy dlya entomofagov* [The attractiveness of synthetic analogs of plant volatile compounds for entomophages]. *Zashchita i karantin rasteniy* [Plant Protection and Quarantine], 2017, no. 12, pp. 22–24.
- [47] Simpson M., Simmons A.T., Wratten S.D., James D.G., Leeson G., Nicol H.I. Insect attraction to synthetic herbivore-induced plant volatile-treated field crops. *Agricultural and Forest Entomology*, 2011, v. 13., iss.1, pp. 45–57. DOI: 10.1111/j.1461-9563.2010.00496.x

Author's information

Bednova Ol'ga Viktorovna — Cand. Sci. (Biology), Associate Professor of the BMSTU (Mytishchi branch), oliabednova@rambler.ru

Received 27.09.2021.

Approved after review 24.11.2021.

Accepted for publication 06.12.2021.

СОДЕРЖАНИЕ И БАЛАНС ЗАПАСНЫХ ВЕЩЕСТВ В ПОБЕГАХ ЛИСТВЕННИЦЫ СИБИРСКОЙ В УСЛОВИЯХ РЕИНТРОДУКЦИИ В НИЖЕГОРОДСКУЮ ОБЛАСТЬ

А.О. Есичев^{1, 2}, Н.Н. Бессчетнова¹, В.П. Бессчетнов^{1✉},
А.Н. Бабич³, Е.Ж. Кентбаев⁴, Б.А. Кентбаева⁴

¹Нижегородская государственная сельскохозяйственная академия, 603107, Нижний Новгород, пр. Гагарина, д. 97

²Министерство лесного хозяйства и охраны объектов животного мира Нижегородской области, 603107, Нижний Новгород, ул. Костина, д. 2

³Северный (Арктический) федеральный университет имени М.В. Ломоносова, 163002, Архангельск, Набережная Северной Двины, д. 17

⁴Казахский национальный аграрный исследовательский университет, 050010, Республика Казахстан, Алматы, пр. Абая, д. 8

lesfak@bk.ru

Представлены результаты исследования содержания и соотношения крахмала и жиров в побегах семенного потомства лиственницы сибирской (*Larix sibirica* Ledeb.) при ее реинтродукции в Нижегородскую обл. на участок с географическими координатами 56°14'32,7"N 43°57'20,7"E и абсолютной высотой 178 м. Зафиксированы фенотипические различия между особями семенного происхождения по содержанию и балансу запасных веществ. Выявлены деревья с наибольшим суммарным содержанием крахмала и жиров в тканях однолетних побегов. Обозначены объекты с их наименьшим содержанием. Установлен факт наследственной обусловленности внутривидовой изменчивости лиственницы сибирской по всем тестируемым характеристикам физиологического состояния ее деревьев, обусловленного присутствием в тканях побегов запасных веществ. Показано, что наибольшие значения коэффициента наследуемости признаков ($64,12 \pm 3,59$ %) характерны для общего суммарного содержания крахмала и жиров, а наименьшие ($49,99 \pm 5,00$ %) — для оценок доли участия крахмала и доли участия жиров в формировании их общего запаса. Отмечено значительное влияние неконтролируемых в опыте факторов, традиционно связываемых с пестротой экологических условий в местах расположения объектов исследования, на формирование внутривидовой фенотипической изменчивости лиственницы сибирской. Определены критические пороги различий между сравниваемыми растениями, достигнув уровня которых, фактическая разность в показателях может быть признана существенной. Сделано заключение о выраженном контроле со стороны генотипа над проявлением признаков физиологического состояния деревьев лиственницы сибирской, имеющих семенное происхождение, и об их внутривидовом полиморфизме. Доказана перспективность отбора из их числа особей, физиологический статус которых наиболее полно соответствует сложившимся условиям произрастания.

Ключевые слова: лиственница сибирская, реинтродукция, запасные вещества, крахмал, жиры, индивидуальная изменчивость, наследственная обусловленность

Ссылка для цитирования: Есичев А.О., Бессчетнова Н.Н., Бессчетнов В.П., Бабич А.Н., Кентбаев Е.Ж., Кентбаева Б.А. Содержание и баланс запасных веществ в побегах лиственницы сибирской в условиях реинтродукции в Нижегородскую область // Лесной вестник / Forestry Bulletin, 2022. Т. 26. № 1. С. 17–27.
DOI: 10.18698/2542-1468-2022-1-17-27

Стратегия развития лесного комплекса Российской Федерации до 2030 года указала направления и перспективы его перехода к инновационному типу эксплуатации и воспроизводства лесных ресурсов. В соответствии с этим разработан комплекс программных документов федерального уровня, определивших конкретные задачи, решение которых необходимо для достижения намеченных целей. Одной из них является селекционное совершенствование основных лесобразующих пород, сохранение их биологического разнообразия и внутривидового полиморфизма. В Российской Федерации такой породой можно назвать лиственницу (*Larix* Mill.). Массивы лиственницы составляют почти 40 %

всей лесопокрытой площади страны, в них сосредоточено более 30 % запасов деловой древесины. Виды, входящие в таксономическую систему этого рода, постоянно находятся в поле зрения отечественных [1–5] и зарубежных [6–12] специалистов. Предметом систематических и разносторонних исследований служат их биологические и хозяйственно значимые признаки [1, 2, 13–25].

На территории Нижегородской обл. в естественных условиях произрастает лиственница Сукачева (*L. Sukaczewii* Dylis), а также созданы лесные культуры, защитные и озеленительные насаждения лиственницы сибирской (*L. sibirica* Ledeb.) в порядке ее реинтродукции в Среднее Поволжье. Некоторые виды успешно введены в культуру в указанном регионе: лиственница европейская (*L. decidua* Mill.), лиственница Гмелина

(*L. gmelinii* (Rupr.) Kuzen.), лиственница японская (*L. kaempferi* Lamb.) и др. [4, 5, 13–16].

Физиологическое состояние древесных растений кардинально влияет на их продуктивность и устойчивость, определяет глубину их адаптации к сложившимся условиям среды и, как следствие, селекционную ценность и потенциал интродукции [3, 26–33]. Исследования физиологии деревьев и кустарников невозможно «оторвать» от всестороннего изучения их биологии [2, 32, 34]. Это же напрямую относится и к хвойным породам, распространенным в Нижегородской обл. [5, 31, 34–36]. Фенотипические проявления содержания и баланса запасных веществ в их тканях находится под выраженным контролем со стороны генотипа, что подтверждено в некоторых публикациях [28, 34–40]. Вместе с тем накопленные в этом секторе научных знаний сведения нуждаются в дальнейшем углублении и детализации.

Цель работы

Цель работы — установление наследственной обусловленности индивидуальной изменчивости лиственницы сибирской по содержанию и соотношению крахмала и жиров в тканях годичных побегов ее особой семенного происхождения.

Материалы и методы

Объект исследования — интродукционные посадки лиственницы сибирской (*L. sibirica* Ledeb.) в дендрарии Нижегородской государственной сельскохозяйственной академии (ГСХА). Его географические координаты — 56°14'32,7"N 43°57'20,7"E; высота н. у. м. — 178 м. По лесорастительному районированию участок входит в зону хвойно-широколиственных лесов, район хвойно-широколиственных (смешанных) лесов европейской части Российской Федерации с характерными для местности почвами [41]. В целом почвенно-климатические условия данного региона благоприятны для многих видов лиственницы, о чем свидетельствует расположение на его территории высокобонитетных естественных насаждений лиственницы Сукачева (*L. Sukaczewii* Dylis).

Методология проводимых работ обоснована принципом единственного логического различия, репрезентативностью выборок и рендомизированным подходом к их формированию. При этом были соблюдены требования к типичности, пригодности и надежности опыта. На этапе полевых исследований вид был представлен десятью учетными деревьями с модальными характеристиками развития, установленными при сплошном перечете согласно действующим правилам натурной таксации. Высоту деревьев измеряли высотомером «Suunto PM-5/360 PC» с ценой деления шкалы 0,1 м; диаметр ствола на высоте

1,3 м — мерной вилкой с точностью до 1 см. Возраст определяли с точностью до 1 года по числу годичных колец на кервах, добытых с помощью возрастного бурава. На момент отбора биологических проб учетные деревья имели одинаковый возраст, который соответствовал второму классу для хвойных и твердолиственных пород. На каждом учетном дереве в периферии среднего яруса хорошо освещенного участка кроны было одновременно заготовлено по 10 нормально развитых побегов без признаков поражения внешними факторами. Из их центральной части готовили поперечные срезы для дальнейших микроскопических исследований с помощью оптического микроскопа «Микмед-1».

Содержание в растительных клетках запасных веществ определяли с помощью лабораторных методов гистохимического анализа, широко и традиционно применяемого при изучении биологических особенностей древесных и кустарниковых видов [32, 34–40], в том числе лиственницы [2, 5, 42]. Наличие крахмала выявляли раствором Люголя, присутствие жиров фиксировали по реакции на жирорастворимый краситель Судан-III, количественную оценку их содержания приводили в условных баллах [5, 28, 31, 34, 35, 37]. Принятая организационно-методическая схема опыта была неоднократно апробирована в работе с широким перечнем видов древесных и кустарниковых растений, что подтвердило ее высокую эффективность [5, 28, 31, 34, 35, 37, 43–45]. Статистический и дисперсионный анализ выполняли согласно общепринятым методикам с использованием вычислительных алгоритмов для электронных таблиц Excel, разработанных авторами [28, 34–40].

Результаты и обсуждение

Установлена индивидуальная изменчивость особой лиственницы сибирской по фенотипическим проявлениям показателей содержания и соотношения запасных веществ в тканях их побегов (табл. 1–4).

Исследуемые деревья лиственницы сибирской, имеющие семенное происхождение, показали неоднородность по суммарному содержанию крахмала и жиров в тканях побегов (см. табл. 1). Наибольшее количество этих запасных веществ ($19,20 \pm 0,52$ балла) отмечено у дерева № 2, а наименьшее — у дерева № 4 ($12,95 \pm 0,37$ балла). В представленных данных наибольшее среднее превышает соответствующий минимум в 1,48 раза или больше на 6,25 балла, а обобщенное для всего массива данных среднее значение (вариант total) составило $15,88 \pm 0,30$ балла. Соотношение лимитов указанных характеристик было существенно больше — 2,25 раза.

Т а б л и ц а 1

Суммарное содержание крахмала и жиров в побегах лиственницы сибирской

The total content of starch and fats in the shoots of Siberian larch

Номер учетного дерева	Содержание, баллы			Коэффициент вариации, %	Критерий Стьюдента	Точность опыта, %
	mid	max	min			
1	17,75 ± 0,86	13,50	9,00	15,39	20,55	4,87
2	19,20 ± 0,52	17,00	5,50	8,61	36,72	2,72
3	18,85 ± 0,53	15,00	6,00	8,93	35,40	2,83
4	13,20 ± 0,63	10,00	6,00	15,07	20,99	4,76
5	16,70 ± 0,72	13,50	5,50	13,70	23,08	4,33
6	17,85 ± 0,70	15,50	7,00	12,46	25,38	3,94
7	15,30 ± 0,38	13,50	3,50	7,89	40,10	2,49
8	13,30 ± 0,57	10,00	6,00	13,64	23,19	4,31
9	12,95 ± 0,37	11,50	3,00	9,00	35,14	2,85
10	13,70 ± 0,34	12,50	3,00	7,92	39,92	2,51
Total	15,88 ± 0,30	10,00	12,50	18,60	53,75	1,86

Т а б л и ц а 2

Соотношение содержания крахмала и жиров в побегах лиственницы сибирской

The ratio of starch and fat content in the shoots of Siberian larch

Номер учетного дерева	Содержание, баллы			Коэффициент вариации, %	Критерий Стьюдента	Точность опыта, %
	mid	max	min			
1	1,33 ± 0,09	1,85	0,96	20,50	15,42	6,48
2	1,09 ± 0,10	1,73	0,67	29,08	10,87	9,20
3	1,35 ± 0,06	1,63	1,11	13,78	22,94	4,36
4	0,76 ± 0,05	1,00	0,43	20,34	15,54	6,43
5	0,80 ± 0,04	1,00	0,59	16,11	19,63	5,09
6	0,85 ± 0,04	1,00	0,63	14,52	21,78	4,59
7	1,14 ± 0,09	1,43	0,59	24,62	12,85	7,78
8	0,93 ± 0,09	1,46	0,59	31,79	9,95	10,05
9	0,93 ± 0,04	1,09	0,71	15,11	20,93	4,78
10	0,74 ± 0,05	1,00	0,47	21,01	15,05	6,64
Total	0,99 ± 0,03	1,85	0,43	30,22	33,10	3,02

Т а б л и ц а 3

Доля крахмала в общем содержании запасных веществ в побегах лиственницы сибирской

The content of starch in the total content of storage compounds in the shoots of Siberian larch

Номер учетного дерева	Содержание, баллы			Коэффициент вариации, %	Критерий Стьюдента	Точность опыта, %
	mid	max	min			
1	0,57 ± 0,02	0,65	0,49	8,76	36,11	2,77
2	0,51 ± 0,02	0,63	0,40	13,92	22,72	4,40
3	0,57 ± 0,01	0,62	0,53	5,90	53,58	1,87
4	0,43 ± 0,02	0,50	0,30	12,69	24,91	4,01
5	0,44 ± 0,01	0,50	0,37	9,21	34,35	2,91
6	0,46 ± 0,01	0,50	0,39	8,17	38,71	2,58
7	0,53 ± 0,02	0,59	0,37	13,36	23,67	4,22
8	0,47 ± 0,02	0,59	0,37	16,49	19,17	5,22
9	0,48 ± 0,01	0,52	0,42	8,23	38,42	2,60
10	0,42 ± 0,02	0,50	0,32	12,37	25,56	3,91
Total	0,49 ± 0,01	0,65	0,30	15,13	66,11	1,51

Т а б л и ц а 4

Доля жиров в общем содержании запасных веществ в побегах лиственницы сибирской

The content of fats in the total content of storage compounds in the shoots of Siberian larch

Номер учетного дерева	Содержание, баллы			Коэффициент вариации, %	Критерий Стьюдента	Точность опыта, %
	mid	max	min			
1	0,43 ± 0,02	0,51	0,35	11,44	27,65	3,62
2	0,49 ± 0,02	0,60	0,37	14,59	21,67	4,61
3	0,43 ± 0,01	0,47	0,38	7,89	40,10	2,49
4	0,57 ± 0,02	0,70	0,50	9,42	33,57	2,98
5	0,56 ± 0,01	0,63	0,50	7,28	43,45	2,30
6	0,54 ± 0,01	0,61	0,50	6,91	45,75	2,19
7	0,47 ± 0,02	0,63	0,41	14,79	21,38	4,68
8	0,53 ± 0,02	0,63	0,41	14,68	21,54	4,64
9	0,52 ± 0,01	0,58	0,48	7,55	41,89	2,39
10	0,58 ± 0,02	0,68	0,50	9,00	35,12	2,85
Total	0,51 ± 0,01	0,70	0,35	14,37	69,58	1,44

Фенотипическая неоднородность состава исследованных деревьев лиственницы сибирской достаточно отчетливо проявилась и по отношению содержания крахмала к содержанию жиров в тканях годичного побега (см. табл. 2).

Отчетливо обозначились объекты, занимавшие лидирующие позиции по средним значениям данного показателя: учетное дерево № 1 ($1,33 \pm 0,09$) и учетное дерево № 3 ($1,35 \pm 0,06$). Наименьшие значения были присущи учетным деревьям № 4 ($0,76 \pm 0,05$) и № 10 ($0,74 \pm 0,05$). Наибольшее среднее значение указанной характеристики физиологического состояния побегов ($1,35 \pm 0,06$) отмечено у дерева № 3, оно превысило наименьшее значение ($0,74 \pm 0,05$), отмеченное у дерева № 10, в 1,82 раза или на 0,61 ед. Соотношение лимитов (1,85 или 0,43 ед.) в этом случае достигло 4,31 раза, а обобщенное среднее (вариант Total) составило $0,99 \pm 0,03$.

Фенотипическая неоднородность состава исследованных деревьев лиственницы сибирской отчетливо наблюдалась по доле участия крахмала в формировании общего содержания запасных веществ (крахмала и жиров) (см. табл. 3).

Как и по предыдущему признаку, наиболее высокими оценками обладали учетное дерево № 1 ($0,57 \pm 0,02$) и учетное дерево № 3 ($0,57 \pm 0,01$), а наименьшими — учетное дерево № 4 ($0,43 \pm 0,02$) и учетное дерево № 10 ($0,42 \pm 0,02$). Характеристики остальных учетных деревьев в той или иной степени приближались к обобщенному среднему (вариант Total) — $0,49 \pm 0,01$. Превышение наибольшей оценки среднего относительно наименьшей составило 0,15 долевых единицы т. е. в 1,36 раза. Максимум лимитов превысил соответствующий минимум в 2,16 раза.

Доля участия жиров в формировании общего содержания запасных веществ также отражала специфику особей семенного происхождения

в указанном плане (см. табл. 4). По понятным причинам, соотношение между характеристиками учетных деревьев оказалось зеркально-обратным по сравнению с предыдущим признаком. Наиболее высокие значения соответствовали учетным деревьям № 4 ($0,57 \pm 0,02$) и № 10 ($0,58 \pm 0,02$), а наименьшие — учетному дереву № 1 ($0,43 \pm 0,02$) и учетному дереву № 3 ($0,43 \pm 0,01$). Остальные учетные деревья в большей или меньшей мере по значениям приближались к обобщенному среднему (вариант Total), которое составило $0,51 \pm 0,01$. Превышение наибольшего значения среднего относительно наименьшего составило 0,15 долевых единицы или в 1,35 раза. Наибольший лимит превысил абсолютный минимум в 1,99 раза.

В статистическом плане полученный материал (см. табл. 1–4) достоверен и надежен по подавляющему большинству случаев, поскольку расчетные величины критерия Стьюдента значительно превосходили соответствующий минимально допустимый предел ($t_{05} = 1,98$), а относительная ошибка (точность опыта) не превысила 5%. Исключение составили отдельные значения соотношения содержания крахмала и жиров в побегах.

Хорошо заметная изменчивость показателей физиологического состояния деревьев лиственницы сибирской (см. табл. 1–4) свидетельствует о значительном фенотипическом разнообразии ее особей, имеющих семенное происхождение. Поскольку зафиксированная неоднородность их состава проявилась на выровненном фоне условий произрастания (характера почв, климата, условий освещения, схем размещения, площади питания, агротехнических особенностей создания и содержания посадок и пр.) и в ситуации, при которой ни одному из растений заведомо не предоставлялись преимущества в росте и развитии, причину ее возникновения в значи-

Существенность различий между деревьями семенного происхождения по содержанию и соотношению крахмала и жиров

Significance of differences between trees of seed origin in the content and ratio of starch and fats

Признаки	Критерий Фишера опытный	Доля влияния фактора ($h^2 \pm s_h^2$)		Критерии различий	
		по Плохинскому	по Снедекору	наименьшая существенная разность	критерий Тьюки
Содержание крахмала	16,94	0,6288 \pm 0,0371	0,6145 \pm 0,0386	1,277	2,098
Содержание жиров	10,24	0,5059 \pm 0,0494	0,4802 \pm 0,0520	0,909	1,494
Суммарное содержание крахмала и жиров	17,87	0,6412 \pm 0,0359	0,6279 \pm 0,0372	1,643	2,700
Отношение содержания крахмала к содержанию жиров	10,78	0,5188 \pm 0,0481	0,4945 \pm 0,0506	0,193	0,317
Доля крахмала в суммарном содержании веществ	10,00	0,4999 \pm 0,0500	0,4736 \pm 0,0526	0,048	0,080
Доля жиров в суммарном содержании веществ	10,00	0,4999 \pm 0,0500	0,4736 \pm 0,0526	0,048	0,080

Примечание. Критерий Фишера на 5%-м и 1%-м уровне значимости соответственно равен: $F_{05} = 1,99$; $F_{01} = 2,59$.

тельной мере можно связать с индивидуальными эндогенными особенностями исследуемых деревьев, прежде всего со спецификой их генотипов. Дисперсионный анализ, выполненный по однофакторной схеме, подтвердил указанные предположения (табл. 5).

Различия между сравниваемыми деревьями по всем анализируемым признакам оказались существенными, на что указывают величины опытных критериев Фишера, значительно превысившие минимально допустимые табличные значения как на 5%-м, так и на 1%-м уровне значимости. Такой результат позволил продолжить выполнение расчетов и вычислить долю влияния генотипически обусловленных различий между особями (организованного фактора опыта).

Наибольшие значения в расчетах по алгоритму Плохинского составили 64,12 \pm 3,59 % и наблюдались по общему суммарному содержанию крахмала и жиров, наименьшие (49,99 \pm 5,00 %) — по оценкам долей участия крахмала и жиров в формировании общего запаса указанных веществ. Полученные данные в полной мере надежны в статистическом плане, о чем свидетельствуют значения критерия достоверности показателя доли влияния организованного фактора (F_h^2). Выполнение расчетов по алгоритму Снедекора дало сопоставимые величины. Обнаруженный уровень влияния индивидуальных внутривидовых различий на формирование общего фона фенотипической изменчивости (см. табл. 5) позволяет сделать заключение о выраженном контроле со стороны генотипа над проявлением признаков физиологического состояния растений, в частно-

сти характеристик содержания и соотношения крахмала и жиров в тканях побегов.

Наименьшая существенная разность ($НСР_{05}$) и D -критерий Тьюки (D_{05}) позволили установить, между какими именно объектами, вошедшими в дисперсионный комплекс, различия соответствуют уровню существенных (см. табл. 1–4). Так, при парном сравнении каждого из деревьев с каждым из остальных по суммарному содержанию крахмала и жиров по значениям наименьшей существенной разности учетные деревья № 1, № 6, № 10 имели существенные различия с пятью остальными (каждое). В то же время учетное дерево № 7 — с семью остальными. При использовании более строгого критерия (D -критерий Тьюки) число превышений порога существенности у тех же деревьев было существенно меньше. По другим признакам, например, по отношению содержания крахмала к содержанию жиров, получены иные значения. В частности, учетное дерево № 3, отличалось высоким уровнем индивидуальности значений, т. е. имело существенные различия с восемью другими из десяти представленных в дисперсионном комплексе объектами (см. табл. 2), а деревья № 1 и № 7 — с семью. В то же время учетные деревья № 8 и № 9, имея сходство с большинством других объектов, участвующих в опыте, существенно отличались только от трех других, а учетные деревья с номерами № 4–6 и № 10 — от четырех. Как и по общему содержанию запасных веществ, уровень сходства деревьев по соотношению содержания крахмала и жиров в оценках по D -критерию Тьюки был заметно ниже.

Выводы

1. Содержание и соотношение крахмала и жиров в общем составе запасных веществ в побегах лиственницы сибирской при ее реинтродукции на территорию Нижегородской обл. подвержены внутривидовой изменчивости на организменном уровне.

2. Различия между деревьями лиственницы сибирской по содержанию и соотношению запасных веществ обусловлены особенностями генотипов особей, составляющих их исследованную совокупность, что проявилось на выровненном экофоне и подтверждено результатами дисперсионного анализа.

3. Наличие индивидуальных различий физиологического состояния деревьев лиственницы сибирской, имеющих семенное происхождение, при значительном уровне генотипической обусловленности их фенотипических проявлений свидетельствует о внутривидовом полиморфизме и о перспективах отбора из их числа особей, физиологический статус которых наиболее полно соответствует сложившимся условиям произрастания.

Список литературы

- [1] Карасева М.А. Продуктивность и углероддепонирующие функции лиственничных фитоценозов в Среднем Поволжье // ИВУЗ Лесной журнал, 2002. № 4. С. 22–27.
- [2] Карасева М.А., Карасев В.Н., Маторкин А.А. Физиологическая оценка устойчивости лиственницы сибирской в Среднем Поволжье // Хвойные бореальной зоны, 2003. Т. 21, № 1. С. 27–35.
- [3] Алексеев В.М., Жигунов А.В., Бондаренко А.С. Перспективы плюсовой селекции лиственницы сибирской при интродукции в условиях Ленинградской области // Известия Санкт-Петербургской лесотехнической академии, 2014. Вып. 209. С. 6–15.
- [4] Есичев А.О. Сравнительная оценка ассортимента клонов плюсовых деревьев лиственницы Сукачева (*L. Sukaczewii* Djl.) на лесосеменной плантации в Нижегородской области // Известия Оренбургского государственного аграрного университета, 2016. № 3 (59). С. 66–68.
- [5] Бессчетнов В.П., Бессчетнова Н.Н., Есичев А.О. Оценка физиологического состояния представителей рода лиственница (*Larix* Mill.) в условиях Нижегородской области // ИВУЗ Лесной журнал, 2018. № 1. С. 9–17. DOI: 10.17238/issn0536-1036.2018.1.9
- [6] Bonnet-Masimbert M., Pâques L.E., Baldet P., Philippe G. From flowering to artificial pollination in larch for breeding and seed orchard production // The Forestry Chronicle, 1998, v. 74, iss. 2, pp. 195–202. DOI: 10.5558/tfc74195-2
- [7] Sigurdsson B.D., Magnusson B., Elmarsdottir A., Bjarnadottir B. Biomass and composition of understory vegetation and the forest floor carbon stock across Siberian larch and mountain birch chronosequences in Iceland // Annals of Forest Science, 2005, v. 62, no. 8, pp. 881–888. DOI: 10.1051/forest:2005079.
- [8] Colas F., Perron M., Tousignant D., Parent C., Pelletier M., Lemay P. A novel approach for the operational production of hybrid larch seeds under northern climatic conditions // The Forestry Chronicle, 2008, v. 84, iss. 1, pp. 95–104. DOI: 10.5558/tfc84095-1
- [9] Aniszewska M. Analysis of opening cones of selected coniferous trees // Annals of Warsaw University of Life Sciences — SGGW, Agriculture (Agricultural and Forest Engineering), 2010, v. 55, pp. 57–64.
- [10] Vilcan A., Holonec L., Täut I., Sestras R.E. Variability of the traits of cones and seeds in different larch clones: II. The energy and capacity of germination of seeds // Bulletin of University of Agricultural Sciences and Veterinary Medicine Cluj-Napoca. Horticulture, 2011, v. 68, no. 1, pp. 481–487.
- [11] Vilcan A., Taut I., Holonec L., Mihalte L., Sestras R.E. The variability of different larch provenances on the response to the attack by its main pests and fungal diseases // Trees Structure and Function, 2013, v. 27, no. 3, pp. 697–705. DOI 10.1007/s00468-012-0825-1
- [12] Williams G.M., Nelson A.S., Affleck D.L.R. Vertical distribution of foliar biomass in western larch (*Larix occidentalis*) // Canadian J. of Forest Research, 2018, v. 48, no. 1, pp. 42–57. DOI: 10.1139/cjfr-2017-0299
- [13] Есичев А.О. Корреляция признаков пигментного состава хвои представителей рода лиственница (*Larix* Mill.) в дендропарке Сергачского лесничества Нижегородской области // ИВУЗ Лесной журнал, 2018. № 3. С. 43–53. DOI: 10.17238/issn0536-1036.2018.3.43
- [14] Есичев А.О., Бессчетнова Н.Н. Изменчивость пигментного состава хвои клонов плюсовых деревьев лиственницы Сукачева (*L. Sukaczewii* Djl. spec. nov.) в ассортименте лесосеменных плантаций на примере Нижегородской области // Экономические аспекты развития АПК и лесного хозяйства. Лесное хозяйство Союзного государства России и Белоруссии: Матер. Междунар. науч.-практ. конф.: Нижний Новгород, 26 сентября 2019 г. / под ред. Н.Н. Бессчетновой. Нижний Новгород: Изд-во Нижегородской ГСХА, 2019. С. 156–164.
- [15] Улитин М.М., Бессчетнов В.П., Орнатский А.Н. Морфологические показатели шишек лиственницы сибирской в полезащитных полосах Нижегородской области // Экономические аспекты развития АПК и лесного хозяйства. Лесное хозяйство Союзного государства России и Белоруссии: Матер. Междунар. науч.-практ. конф.: Нижний Новгород, 26 сентября 2019 г. / под общ. ред. Н.Н. Бессчетновой. Нижний Новгород: Изд-во Нижегородской ГСХА, 2019. С. 220–225.
- [16] Улитин М.М., Бессчетнов В.П. Сравнительная оценка таксационных показателей лесных культур лиственницы сибирской (*Larix sibirica*) при интродукции в Нижегородской области // ИВУЗ Лесной журнал, 2020. № 6. С. 33–41. DOI: 10.37482/0536-1036-2020-6-33-41
- [17] Markiewicz P. Problems with seed production of European larch in seed orchards in Poland // Seed orchards: Proceedings from a conference at Umeå, Sweden, 26–28 September 2007. Uppsala, Sweden: Publikationstjänst, 2008, pp. 161–164.
- [18] Mihai G., Teodosiu M. Genetic diversity and breeding of larch (*Larix decidua* Mill.) in Romania // Annals of Forest Research, 2009, v. 52, no. 1, pp. 97–108. DOI: 10.15287/af.2009.126
- [19] Nagaike T., Hayashi A., Kubo M. Diversity of naturally regenerating tree species in the overstorey layer of *Larix kaempferi* plantations and abandoned broadleaf coppice stands in central Japan // Forestry: An International Journal of Forest Research, 2010, v. 83, iss. 3, pp. 285–291. DOI: 10.1093/forestry/cpq011
- [20] Repáč I., Tučeková A., Sarvašová I., Vencurik J. Survival and growth of outplanted seedlings of selected tree species on the High Tatra Mts. windthrow area after the first growing season // J. of Forest Science, 2011, v. 57, iss. 8, pp. 349–358. DOI: 10.17221/130/2010-JFS

- [21] Danek M., Chuchro M., Walanus A. Variability in Larch (*Larix Decidua* Mill.) Tree-Ring Growth Response to Climate in the Polish Carpathian Mountains // *Forests*, 2017, v. 8, iss. 10, article number 354, pp. 354 (1–22). DOI: 10.3390/f8100354
- [22] Aniszewska M., Gendek A., Zychowicz W. Analysis of Selected Physical Properties of Conifer Cones with Relevance to Energy Production Efficiency // *Forests*, 2018, v. 9, iss. 7, article number 405, pp. 405(1–12). DOI: 10.3390/f9070405
- [23] Williams G.M., Nelson A.S., Affleck D.L.R. Vertical distribution of foliar biomass in western larch (*Larix occidentalis*) // *Canadian J. of Forest Research*, 2018, v. 48, no. 1, pp. 42–57. DOI: 10.1139/cjfr-2017-0299
- [24] Vilcan A., Holonec L., Tăut I., Sestras R.E. Variability of the traits of cones and seeds in different larch clones: I. The influence of the provenance // *Bulletin of University of Agricultural Sciences and Veterinary Medicine Cluj-Napoca. Horticulture*, 2011, v. 68, no. 1, pp. 474–480.
- [25] Vilcan A., Mihalte L., Sestras A.F., Holonec L., Sestras R.E. Genetic variation and potential genetic resources of several Romanian larch populations // *Turkish J. of Agriculture & Forestry*, 2017, v. 41, no. 1, pp. 82–91. DOI: 10.3906/tar-1610-57
- [26] Бессчетнова Н.Н. Скорость сезонного роста ксилемы в годичных побегах клонов плюсовых деревьев сосны обыкновенной // *Вестник МГУЛ – Лесной вестник*, 2008. № 2 (59). С. 4–10.
- [27] Бессчетнова Н.Н. Многомерная оценка плюсовых деревьев сосны по степени развития ксилемы // *Вестник Саратовского госагроуниверситета имени Н.И. Вавилова. Естественные, технические, экономические науки*, 2012. № 7. С. 9–14.
- [28] Бессчетнов В.П., Бессчетнова Н.Н. Селекционная оценка плюсовых деревьев сосны обыкновенной методами многомерного анализа // *ИВУЗ Лесной журнал*, 2012. № 2/326. С. 58–64.
- [29] Бессчетнов В.П., Бессчетнова Н.Н. Образование и лигнификация ксилемы плюсовых деревьев сосны обыкновенной // *ИВУЗ Лесной журнал*, 2013. № 2 / 332. С. 45–52.
- [30] Бессчетнов В.П., Бессчетнова Н.Н., Яханова Е.А., Горелова З.В., Соколова А.А., Кентбаев Е.Ж., Кентбаева Б.А., Шабалина М.В. Развитие ксилемы и лигнификация ее клеток у семян сосны с открытой и закрытой корневой системой // *Вестник Нижегородской государственной сельскохозяйственной академии*, 2014. Т. 4. С. 25–35.
- [31] Бессчетнова Н.Н., Бессчетнов В.П., Кулькова А.В., Мишукова И.В. Содержание крахмала в тканях побегов разных видов ели (*Picea A. Dietr.*) в условиях интродукции // *ИВУЗ Лесной журнал*, 2017. № 4. С. 57–68. DOI: 10.17238/issn0536-1036.2017.4.57
- [32] Kramer P.J. The role of physiology in forestry // *The Forestry Chronicle*, 1956, v. 32, no. 3, pp. 297–308. DOI: 10.5558/tfc32297-3
- [33] Cherbuy B., Joffre R., Gillon D., Rambal S. Internal remobilization of carbohydrates, lipids, nitrogen and phosphorus in the Mediterranean evergreen oak *Quercus ilex* // *Tree Physiology*, 2001, v. 21, no. 1, pp. 9–17. DOI: 10.1093/treephys/21.1.9
- [34] Бессчетнова Н.Н. Сосна обыкновенная (*Pinus sylvestris* L.). Эффективность отбора плюсовых деревьев. Нижний Новгород: Изд-во Нижегородской ГСХА, 2016. 464 с.
- [35] Бессчетнова Н.Н. Сравнительная оценка плюсовых деревьев сосны обыкновенной по содержанию крахмала в побегах // *Вестник Марийского государственного технического университета. Сер.: Лес. Экология. Природопользование*, 2010. № 2 (9). С. 49–55.
- [36] Бессчетнова Н.Н. Содержание водорастворимых сахаров в клетках побегов плюсовых деревьев сосны обыкновенной // *Актуальные проблемы лесного комплекса: Сб. науч. тр. по итогам Междунар. науч.-техн. конф. Вып. 28. / под ред. Е.А. Памфилова. Брянск: Изд-во БГТА*, 2011. С. 15–19.
- [37] Бессчетнова Н.Н. Содержание жиров в клетках побегов плюсовых деревьев сосны обыкновенной // *ИВУЗ Лесной журнал*, 2012. № 4/328. С. 48–55.
- [38] Бессчетнова Н.Н., Бессчетнов В.П., Черных В.Л. Генотипическое несходство плюсовых деревьев сосны обыкновенной (*Pinus sylvestris* L.) по физиологическому состоянию побегов // *Вестник Поволжского государственного технологического университета. Сер.: Лес. Экология. Природопользование*, 2015. № 4 (28). С. 35–49.
- [39] Бессчетнова Н.Н., Кулькова А.В. Сравнительная оценка представителей рода Ель (*Picea* L.) по содержанию жиров в тканях годичных побегов // *Научные и инновационные разработки молодых ученых-аграриев: Сб. тр. в молодых ученых ФГБОУ ВПО «Нижегородская ГСХА» за 2014–2015 гг. / под ред. А.Г. Самоделькина. Нижний Новгород: Изд-во Нижегородской ГСХА*, 2015. С. 53–58.
- [40] Бессчетнова Н.Н., Кулькова А.В. Содержание запасных питательных веществ в клетках тканей годичных побегов представителей рода Ель (*Picea* L.) в условиях Нижегородской области // *ИВУЗ Лесной журнал*, 2019. № 6. С. 52–61. DOI: 10.17238/issn0536-1036.2019.6.52
- [41] Бессчетнов В.П., Бессчетнова Н.Н., Храмова О.Ю., Клишина Л.И., Печникова Н.Д. Показатели химического и гранулометрического состава дерново-подзолистых почв под сосновыми лесами на территории заповедника «Керженский» Нижегородской области // *Вестник Нижегородской государственной сельскохозяйственной академии*, 2020. № 2 (26). С. 34–42.
- [42] Есичев А.О., Бессчетнова Н.Н. Динамика физиологического состояния представителей рода лиственница (*Larix* Mill.) при интродукции // *Инновационные разработки молодых ученых в сфере АПК. Материалы Всерос. конф. молодых ученых, посвященной 85-летию ФГБОУ ВО «Нижегородская ГСХА»: Нижний Новгород, 15 декабря 2015 года. Нижний Новгород: Изд-во Нижегородской ГСХА*, 2016. С. 14–18.
- [43] Бессчетнова Н.Н., Кулькова А.В. Содержание запасных питательных веществ в клетках тканей годичных побегов представителей рода Ель (*Picea* L.) в условиях Нижегородской области // *ИВУЗ Лесной журнал*, 2019. № 6. С. 52–61. DOI: 10.17238/issn0536-1036.2019.6.52
- [44] Бессчетнова Н.Н., Бессчетнов В.П., Бессчетнов П.В. Содержание и баланс запасных веществ в тканях побегов тополей в Нижегородском Поволжье // *Известия Санкт-Петербургской лесотехнической академии*, 2020. Вып. 232. С. 92–104. DOI: 10.21266/2079-4304.2020.232.92-104
- [45] Бессчетнов П.В., Бессчетнова Н.Н. Видоспецифичность тополей по содержанию жиров в тканях побегов // *Вестник Нижегородской государственной сельскохозяйственной академии*, 2020. № 3 (27). С. 21–33.

Сведения об авторах

Есичев Андрей Олегович — нач. отдела лесного планирования и цифровизации Министерства лесного хозяйства и охраны объектов животного мира Нижегородской области, andrey.esichev@mail.ru

Бессчетнова Наталья Николаевна — д-р с.-х. наук, доцент, декан факультета лесного хозяйства Нижегородской государственной сельскохозяйственной академии, besschetnova1966@mail.ru

Бессчетнов Владимир Петрович — д-р биол. наук, профессор, зав. кафедрой лесных культур Нижегородской государственной сельскохозяйственной академии, lesfak@mail.ru

Бабич Николай Алексеевич — д-р с.-х. наук, профессор кафедры ландшафтной архитектуры и искусственных лесов Северного (Арктического) федерального университета имени М.В. Ломоносова forest@narfu.ru

Кентбаев Ержан Жунусович — д-р с.-х. наук, профессор, директор департамента по науке Казахского национального аграрного исследовательского университета, yerzhan.kentbayev@kaznau.kz

Кентбаева Ботагоз Айдарбековна — д-р биол. наук, профессор, зав. кафедрой лесных ресурсов и охотоведения Казахского национального аграрного исследовательского университета, kentbayeva@mail.ru

Поступила в редакцию 07.06.2021.

Одобрено после рецензирования 09.09.2021.

Принята к публикации 06.12.2021.

CONTENT AND BALANCE OF STORAGE COMPOUNDS IN SIBERIAN LARCH SHOOTS UNDER ITS REINTRODUCTION IN NIZHNY NOVGOROD REGION

A.O. Yesichev^{1,2}, N.N. Besschetnova¹, V.P. Besschetnov¹,
N.A. Babich³, E.Zh. Kentbayev⁴, B.A. Kentbayeva⁴

¹Nizhny Novgorod State Agricultural Academy, 97, Gagarin av., 603107, Nizhny Novgorod, Russia

²Ministry of Forestry and Wildlife Protection Nizhny Novgorod reg., 2, Kostina st., 603134, Nizhny Novgorod, Russia

³Northern (Arctic) Federal University named after M.V. Lomonosov, 17, Naberezhnaya Severnoy Dviny, 163002, Arkhangelsk, Russia

⁴Kazakh National Agrarian Research University, 8, Abay av., 050010, Almaty, Republic of Kazakhstan

lesfak@bk.ru

The study of the content and ratio of starch and fat in the shoots of the seed progeny of Siberian larch (*Larix sibirica* Ledeb.) shoots during its reintroduction to the Nizhny Novgorod region was carried out. The objects of the study were located in the arboretum of the Nizhny Novgorod State Agricultural Academy with geographical coordinates — 56°14'32,7"N 43°57'20,7"E and an absolute height — 178 m. The experimental site is assigned to the zone of coniferous-broad-leaved forests and is included in the area of coniferous-broad-leaved (mixed) forests of the European part of the Russian Federation. The work took into account the principle of the only logical difference, the representativeness of the samples, and the requirements for the typicality, suitability, and reliability of the experience. Ten accounting trees with modal development characteristics were examined in the field. From them, 10 normally developed shoots were harvested without signs of damage by external factors. To determine the content of spare substances, laboratory methods of histochemical analysis were used. Phenotypic differences between individuals of seed origin in the content and balance of spare substances were revealed. The highest content of starch and fat (19,20 ± 0,52 points) was observed in tree No. 2, and the lowest-in tree No. 4 (12,95 ± 0,37 points). The average value generalized for the entire data set was 15,88 ± 0,30 points. The hereditary conditionality of intraspecific variability of Siberian Larch for all tested characteristics of spare substances is established. The highest estimates of the heritability coefficient (64,12 ± 3,59 %) were observed for the total total content of starch and fat, the lowest (49,99 ± 5,00 %) — according to the estimates of the share of starch and the share of fat in the formation of their total stock. The conclusion is made about the control on the part of the genotype over the physiological state of Siberian larch trees of seed origin, and about their intraspecific polymorphism. The prospects of selection from their number of individuals whose physiological status most fully corresponds to the existing conditions of growth are proved.

Keywords: Siberian larch, reintroduction, spare substances, starch, fats, individual variability, hereditary conditionality

Suggested citation: Yesichev A.O., Besschetnova N.N., Besschetnov V.P., Babich N.A., Kentbayev E.Zh., Kentbayeva B.A. *Soderzhanie i balans zapasnykh veshchestv v pobegakh listvennitsy sibirskoy v usloviyakh reintroduktsii v Nizhegorodskuyu oblast'* [Content and balance of storage compounds in Siberian larch shoots under its reintroduction in Nizhny Novgorod region]. *Lesnoy vestnik / Forestry Bulletin*, 2022, vol. 26, no. 1, pp. 17–27. DOI: 10.18698/2542-1468-2022-1-17-27

Reference

- [1] Karaseva M.A. *Produktivnost' i uglevododeponiruyushchie funktsii listvennichnykh fitotsenozov v Srednem Povolzh'e* [Productivity and carbon-depositing functions of larch phytocenoses in the Middle Volga region]. *Lesnoy Zhurnal* (Russian Forestry Journal), 2002, no. 4, pp. 22–27.
- [2] Karaseva M.A., Karasev V.N., Matorkin A.A. *Fiziologicheskaya otsenka ustoychivosti listvennitsy sibirskoy v Srednem Povolzh'e* [Physiological assessment of the stability of Siberian larch in the Middle Volga region]. *Khvoynye boreal'noy zony* [Conifers of the boreal area], 2003, t. 21, no. 1, pp. 27–35.
- [3] Alekseev V.M., Zhigunov A.V., Bondarenko A.S. *Perspektivy plyusovoy selektsii listvennitsy sibirskoy pri introduktsii v usloviyakh Leningradskoy oblasti* [Prospects of positive selection of Siberian larch during introduction in the conditions of the Leningrad region]. *Izvestiya Sankt-Peterburgskoy lesotekhnicheskoy akademii* [Proceedings of the St. Petersburg Forestry Academy], 2014, v. 209, pp. 6–15.
- [4] Esichev A.O. *Sravnitel'naya otsenka assortimenta klonov plyusovykh derev'ev listvennitsy Sukacheva (L. Sukaczewii Djil.) na lesosemnoy plantatsii v Nizhegorodskoy oblasti* [Comparative evaluation of the assortment of clones of Sukachev's larch (*L. Sukaczewii* Djil.) plus trees on a forest seed plantation in the Nizhny Novgorod region]. *Izvestiya Orenburgskogo gosudarstvennogo agrarnogo universiteta* [Proceedings of the Orenburg State Agrarian University], 2016, no. 3 (59), pp. 66–68.
- [5] Besschetnov V.P., Besschetnova N.N., Esichev A.O. *Otsenka fiziologicheskogo sostoyaniya predstaviteley roda listvennitsa (Larix Mill.) v usloviyakh Nizhegorodskoy oblasti* [Assessment of the physiological state of representatives of the genus larch (*Larix* Mill.) in the conditions of the Nizhny Novgorod region]. *Lesnoy Zhurnal* (Russian Forestry Journal), 2018, no. 1, pp. 9–17. DOI: 10.17238/issn 0536-1036. 2018.1.9
- [6] Bonnet-Masimbert M., Pâques L.E., Baldet P., Philippe G. From flowering to artificial pollination in larch for breeding and seed orchard production. *The Forestry Chronicle*, 1998, v. 74, iss. 2, pp. 195–202. DOI:10.5558/tfc74195-2
- [7] Sigurdsson B.D., Magnusson B., Elmarsdottir A., Bjarnadottir B. Biomass and composition of understory vegetation and the forest floor carbon stock across Siberian larch and mountain birch chronosequences in Iceland. *Annals of Forest Science*, 2005, v. 62, no. 8, pp. 881–888. DOI: 10.1051/forest:2005079.
- [8] Colas F., Perron M., Tousignant D., Parent C., Pelletier M., Lemay P. A novel approach for the operational production of hybrid larch seeds under northern climatic conditions. *The Forestry Chronicle*, 2008, v. 84, iss. 1, pp. 95–104. DOI: 10.5558/tfc84095-1
- [9] Aniszewska M. Analysis of opening cones of selected coniferous trees. *Annals of Warsaw University of Life Sciences — SGGW, Agriculture (Agricultural and Forest Engineering)*, 2010, v. 55, pp. 57–64.
- [10] Vilcan A., Holonec L., Tăut I., Sestras R. E. Variability of the traits of cones and seeds in different larch clones: II. The energy and capacity of germination of seeds. *Bulletin of University of Agricultural Sciences and Veterinary Medicine Cluj-Napoca. Horticulture*, 2011, v. 68, no. 1, pp. 481–487.
- [11] Vilcan A., Taut I., Holonec L., Mihalte L., Sestras R.E. The variability of different larch clone provenances on the response to the attack by its main pests and fungal diseases. *Trees Structure and Function*, 2013, v. 27, no. 3, pp. 697–705. DOI 10.1007/s00468-012-0825-1
- [12] Williams G.M., Nelson A.S., Affleck D.L.R. Vertical distribution of foliar biomass in western larch (*Larix occidentalis*). *Canadian J. of Forest Research*, 2018, v. 48, no. 1, pp. 42–57. DOI: 10.1139/cjfr-2017-0299
- [13] Esichev A.O. *Korrelatsiya priznakov pigmentnogo sostava khvoi predstaviteley roda listvennitsa (Larix Mill.) v dendroparke Sergachskogo lesnichestva Nizhegorodskoy oblasti* [Correlation of signs of the pigment composition of needles of representatives of the genus larch (*Larix* Mill.) in the arboretum of the Sergachsky forest district of the Nizhny Novgorod region]. *Lesnoy Zhurnal* (Russian Forestry Journal), 2018, no. 3, pp. 43–53. DOI: 10.17238/issn0536-1036.2018.3.43
- [14] Esichev A.O., Besschetnova N.N. *Izmenchivost' pigmentnogo sostava khvoi klonov plyusovykh derev'ev listvennitsy Sukacheva (L. Sukaczewii Djil. spec. nov.) v assortimente lesosemennykh plantatsiy na primere Nizhegorodskoy oblasti* [Variability of the pigment composition of needles of clones of Sukachev's larch (*L. Sukaczewii* Djil. spec. nov.) plus trees in the assortment of forest-seed plantations on the example of the Nizhny Novgorod region]. *Ekonomicheskie aspekty razvitiya APK i lesnogo khozyaystva. Lesnoe khozyaystvo Soyuznogo gosudarstva Rossii i Belorussii: Mater. mezhdunar. nauch.-prakt. konferentsii* [Economic aspects of the development of agriculture and forestry. Forestry of the Union State of Russia and Belarus: Materials international scientific and practical conferences], Nizhny Novgorod, September 26, 2019. Ed. N.N. Besschetnova. Nizhny Novgorod: Nizhny Novgorod State Agricultural Academy, 2019, pp. 156–164.
- [15] Ulitin M.M., Besschetnov V.P., Ornatskiy A.N. *Morfologicheskie pokazately shishek listvennitsy sibirskoy v polezashchitnykh polosakh Nizhegorodskoy oblasti* [Morphological indicators of Siberian larch cones in the protective strips of the Nizhny Novgorod region]. *Ekonomicheskie aspekty razvitiya APK i lesnogo khozyaystva. Lesnoe khozyaystvo Soyuznogo gosudarstva Rossii i Belorussii: Mater. mezhdunar. nauch.-prakt. konferentsii* [Economic aspects of the development of agriculture and forestry. Forestry of the Union State of Russia and Belarus: Materials of the international scientific and practical conference], Nizhny Novgorod, September 26, 2019. Ed. N.N. Besschetnova. Nizhny Novgorod: Nizhny Novgorod State Agricultural Academy, 2019, pp. 220–225.
- [16] Ulitin M.M., Besschetnov V.P. *Sravnitel'naya otsenka taksatsionnykh pokazateley lesnykh kul'tur listvennitsy sibirskoy (Larix sibirica) pri introduktsii v Nizhegorodskoy oblasti* [Comparative assessment of the taxation indicators of forest crops of Siberian larch (*Larix sibirica*) during introduction in the Nizhny Novgorod region]. *Lesnoy Zhurnal* (Russian Forestry Journal), 2020, no. 6, pp. 33–41. DOI: 10.37482/0536-1036-2020-6-33-41
- [17] Markiewicz P. Problems with seed production of European larch in seed orchards in Poland. *Seed orchards: Proceedings from a conference at Umeå, Sweden, 26–28 September 2007*. Uppsala, Sweden: Publikationstjänst, 2008, pp. 161–164.
- [18] Mihai G., Teodosiu M. Genetic diversity and breeding of larch (*Larix decidua* Mill.) in Romania. *Annals of Forest Research*, 2009, v. 52, no. 1, pp. 97–108. DOI: 10.15287/afr.2009.126
- [19] Nagaïke T., Hayashi A., Kubo M. Diversity of naturally regenerating tree species in the overstorey layer of *Larix kaempferi* plantations and abandoned broadleaf coppice stands in central Japan. *Forestry: An International Journal of Forest Research*, 2010, v. 83, iss. 3, pp. 285–291. DOI: 10.1093/forestry/cpq011

- [20] Repáč I., Tučeková A., Sarvašová I., Vencurik J. Survival and growth of outplanted seedlings of selected tree species on the High Tatra Mts. windthrow area after the first growing season. *J. of Forest Science*, 2011, v. 57, iss. 8, pp. 349–358. DOI: 10.17221/130/2010-JFS
- [21] Danek M., Chuchro M., Walanus A. Variability in Larch (*Larix Decidua* Mill.) Tree-Ring Growth Response to Climate in the Polish Carpathian Mountains. *Forests*, 2017, v. 8, iss. 10, article number 354, pp. 354(1–22). DOI: 10.3390/f8100354
- [22] Aniszewska M., Gendek A., Zychowicz W. Analysis of Selected Physical Properties of Conifer Cones with Relevance to Energy Production Efficiency // *Forests*, 2018, v. 9, iss. 7, article number 405, pp. 405(1–12). DOI: 10.3390/f9070405
- [23] Williams G.M., Nelson A.S., Affleck D.L.R. Vertical distribution of foliar biomass in western larch (*Larix occidentalis*). *Canadian J. of Forest Research*, 2018, v. 48, no. 1, pp. 42–57. DOI: 10.1139/cjfr-2017-0299.
- [24] Vilcan A., Holonec L., Täut I., Sestras R. E. Variability of the traits of cones and seeds in different larch clones: I. The influence of the provenance. *Bulletin of University of Agricultural Sciences and Veterinary Medicine Cluj-Napoca. Horticulture*, 2011, v. 68, no. 1, pp. 474–480.
- [25] Vilcan A., Mihalte L., Sestras A.F., Holonec L., Sestras R. E. Genetic variation and potential genetic resources of several Romanian larch populations. *Turkish J. of Agriculture & Forestry*, 2017, v. 41, no. 1, pp. 82–91. DOI:10.3906/tar-1610-57
- [26] Besschetnova N.N. *Skorost' sezonnogo rosta ksilemy v godichnykh pobegakh klonov plyusovykh derev'ev sosny obyknovennoy* [The rate of seasonal growth of xylem in annual shoots of clones of plus trees of Scots pine]. *Moscow state forest university bulletin – Lesnoy vestnik*, 2008, no. 2 (59), pp. 4–10.
- [27] Besschetnova N.N. *Mnogomernaya otsenka plyusovykh derev'ev sosny po stepeni razvitiya ksilemy* [Multidimensional assessment of plus pine trees by the degree of xylem development]. / *Vestnik Saratovskogo gosagrouniversiteta im. N.I. Vavilova. Estestvennye, tekhnicheskie, ekonomicheskie nauki* [Herald of Saratov State Vavilov Agrarian University. Natural, Technical, Economic Science], 2012, no. 7, pp. 9–14.
- [28] Besschetnov V.P., Besschetnova N.N. *Selektsionnaya otsenka plyusovykh derev'ev sosny obyknovennoy metodami mnogomernogo analiza* [Selection evaluation of plus trees of scots pine by methods of multidimensional analysis] // *Izvestiya vuzov. Lesnoy Zhurnal (Russian Forestry Journal)*, 2012, no. 2/326, pp. 58–64.
- [29] Besschetnov V.P., Besschetnova N.N. *Obrazovanie i lignifikatsiya ksilemy plyusovykh derev'ev sosny obyknovennoy* [Formation and lignification of xylem of plus trees of Scots pine]. *Lesnoy Zhurnal (Russian Forestry Journal)*, 2013, no. 2/332, pp. 45–52.
- [30] Besschetnov V.P., Besschetnova N.N., Yakhanova E.A., Gorelova Z.V., Sokolova A.A., Kentbaev E.Zh., Kentbaeva B.A., Shabalina M.V. *Razvitie ksilemy i lignifikatsiya ee kletok u seyantsev sosny s otkrytoy i zakrytoy kornevoy sistemoy* [Xylem development and lignification of its cells in pine seedlings with open and closed root systems]. *Vestnik Nizhegorodskoy gosudarstvennoy sel'skokhozyaystvennoy akademii* [Bulletin of the Nizhny Novgorod State Agricultural Academy], 2014, v. 4, pp. 25–35.
- [31] Besschetnova N.N., Besschetnov V.P., Kul'kova, A.V. Mishukova I.V. *Soderzhanie krakhmala v tkanyakh pobegov raznykh vidov eli (Picea A. Dietr.) v usloviyakh introduktsii* [Starch content in the tissues of shoots of different types of spruce (*Picea A. Dietr.*) in the conditions of introduction]. *Lesnoy Zhurnal (Russian Forestry Journal)*, 2017, no. 4, pp. 57–68. DOI: 10.17238/issn0536-1036.2017.4.57
- [32] Kramer P.J. The role of physiology in forestry. *The Forestry Chronicle*, 1956, v. 32, no. 3, pp. 297–308. DOI: 10.5558/tfc32297-3
- [33] Cherbuy B., Joffre B., Gillon D., Rambal S. Internal remobilization of carbohydrates, lipids, nitrogen and phosphorus in the Mediterranean evergreen oak *Quercus ilex*. *Tree Physiology*, 2001, v. 21, no. 1, pp. 9–17. DOI: 10.1093/treephys/21.1.9
- [34] Besschetnova N.N. *Sosna obyknovennaya (Pinus sylvestris L.). Effektivnost' otbora plyusovykh derev'ev* [Scots pine (*Pinus sylvestris L.*). Efficiency of selection of plus trees]. *Nizhny Novgorod: Nizhny Novgorod State Agricultural Academy*, 2016, 464 p.
- [35] Besschetnova N.N. *Sravnitel'naya otsenka plyusovykh derev'ev sosny obyknovennoy po sodержaniyu krakhmala v pobegakh* [Comparative assessment of plus trees of Scots pine according to the starch content in shoots]. *Vestnik Mariyskogo gosudarstvennogo tekhnicheskogo universiteta. Seriya: Les. Ekologiya. Prirodopol'zovanie (Bulletin of the Mari State Technological University. Series: Forest. Ecology. Nature Management)*, no. 2 (9), 2010, pp. 49–55.
- [36] Besschetnova N.N. *Soderzhanie vodorastvorimykh sakharov v kletkakh pobegov plyusovykh derev'ev sosny obyknovennoy* [The content of water-soluble sugars in the cells of shoots of plus trees of scots pine]. *Aktual'nye problemy lesnogo kompleksa: Sbornik nauchnykh trudov po itogam mezhdunarodnoy nauchno-tekhnicheskoy konferentsii* [Collection of scientific papers on the results of the international scientific and technical conference]. Iss. 28. Bryansk: BGTA, 2011, pp. 15–19.
- [37] Besschetnova N.N. *Soderzhanie zhirov v kletkakh pobegov plyusovykh derev'ev sosny obyknovennoy* [The content of fats in the cells of shoots of plus trees of Scots pine]. *Lesnoy Zhurnal (Russian Forestry Journal)*, 2012, no. 4/328, pp. 48–55.
- [38] Besschetnova N.N., Besschetnov V.P., Chernykh V.L. *Genotipicheskoe neskhodstvo plyusovykh derev'ev sosny obyknovennoy (Pinus sylvestris L.) po fiziologicheskomu sostoyaniyu pobegov* [Genotypic dissimilarity of plus trees of scots pine (*Pinus sylvestris L.*) according to the physiological state of shoots]. *Vestnik Povolzhskogo gosudarstvennogo tekhnologicheskogo universiteta. Seriya: Les. Ekologiya. Prirodopol'zovanie* [Bulletin of the Volga State Technological University. Series: Forest. Ecology. Nature Management], 2015, no. 4 (28), pp. 35–49.
- [39] Besschetnova N.N., Kul'kova A.V. *Sravnitel'naya otsenka predstaviteley roda el' (Picea L.) po sodержaniyu zhirov v tkanyakh godichnykh pobegov* [Comparative assessment of representatives of the genus spruce (*Picea L.*) on the content of fats in the tissues of annual shoots]. *Nauchnye i innovatsionnye razrabotki molodykh uchenykh-agrariyev: Sbornik trudov molodykh uchenykh FGBOU VPO «Nizhegorodskaya GSKhA» za 2014–2015 gg.* [Scientific and innovative developments of young agricultural scientists: A collection of works of young scientists of the Nizhny Novgorod State Agricultural Academy for 2014–2015] Ed. A.G. Samodelkin. *Nizhny Novgorod: Nizhny Novgorod State Agricultural Academy*, 2015, pp. 53–58.
- [40] Besschetnova N.N., Kul'kova A.V. *Soderzhanie zapasnykh pitatel'nykh veshchestv v kletkakh tkaney godichnykh pobegov predstaviteley roda el' (Picea L.) v usloviyakh Nizhegorodskoy oblasti* [The content of spare nutrients in the tissue cells of annual shoots of representatives of the genus spruce (*Picea L.*) in the conditions of the Nizhny Novgorod region]. *Lesnoy Zhurnal (Russian Forestry Journal)*, 2019, no. 6, pp. 52–61. DOI: 10.17238/issn0536-1036.2019.6.52

- [41] Besschetnov V.P., Besschetnova N.N., Khranova O.Yu., Klishina L.I., Pechnikova N.D. *Pokazateli khimicheskogo i granulometricheskogo sostava dornovo-podzolistykh pochv pod sosnovymi lesami na territorii zapovednika «Kerzhenskiy» Nizhegorodskoy oblasti* [Indicators of chemical and granulometric composition of sod-podzolic soils under pine forests in the territory of the Kerzhensky Nature Reserve of the Nizhny Novgorod region]. *Vestnik Nizhegorodskoy gosudarstvennoy sel'skokhozyaystvennoy akademii* [Bulletin of the Nizhny Novgorod State Agricultural Academy], 2020, no. 2 (26), pp. 34–42.
- [42] Esichev A.O., Besschetnova N.N. *Dinamika fiziologicheskogo sostoyaniya predstaviteley roda listvennitsa (Larix Mill.) pri introduktsii* [Dynamics of the physiological state of representatives of the genus larch (*Larix* Mill.) at introduction]. *Innovatsionnye razrabotki molodykh uchenykh v sfere APK. Materialy Vserossiyskoy konferentsii molodykh uchenykh, posvyashchennoy 85-letiyu FGBOU VO Nizhegorodskaya GSKhA* [Innovative developments of young scientists in the field of agriculture. Proceedings of the All-Russian Conference of Young Scientists dedicated to the 85th Anniversary of the Nizhny Novgorod State Agricultural Academy: Nizhny Novgorod, December 15, 2015]. Nizhny Novgorod: Nizhny Novgorod State Agricultural Academy, 2016, pp. 14–18.
- [43] Besschetnova N.N., Kul'kova A.V. *Soderzhanie zapasnykh pitatel'nykh veshchestv v kletkakh tkaney godichnykh pobegov predstaviteley roda el' (Picea L.) v usloviyakh Nizhegorodskoy oblasti* [The content of spare nutrients in the tissue cells of annual shoots of representatives of the genus spruce (*Picea* L.) in the conditions of the Nizhny Novgorod region]. *Lesnoy Zhurnal* (Russian Forestry Journal), 2019, no. 6, pp. 52–61. DOI: 10.17238/issn0536-1036.2019.6.52
- [44] Besschetnova N.N., Besschetnov V.P., Besschetnov P.V. *Soderzhanie i balans zapasnykh veshchestv v tkanyakh pobegov topoley v Nizhegorodskom Povolzh'e* [Content and balance of spare substances in the tissues of poplar shoots in the Nizhny Novgorod Volga region]. *Izvestiya Sankt-Peterburgskoy lesotekhnicheskoy akademii* [Proceedings of the Saint Petersburg forestry Academy], 2020, v. 232, pp. 92–104. DOI: 10.21266/2079-4304.2020.232.92-104
- [45] Besschetnov P.V., Besschetnova N.N. *Vidospetsifichnost' topoley po sodержaniyu zhirov v tkanyakh pobegov* [Species specificity of poplars in terms of fat content in the tissues of shoots]. *Vestnik Nizhegorodskoy gosudarstvennoy sel'skokhozyaystvennoy akademii* [Bulletin of the Nizhny Novgorod State Agricultural Academy], 2020, no. 3 (27), pp. 21–33.

Authors' information

Esichev Andrey Olegovich — Head of the Department of Forest Planning and Digitalization of the Ministry of Forestry and Wildlife Protection of the Nizhny Novgorod Region, andrey.esichev@mail.ru

Besschetnova Natal'ya Nikolaevna — Dr. Sci. (Agriculture), Associate Professor, Dean of the Faculty of Forestry of the Nizhny Novgorod State Agricultural Academy, besschetnova1966@mail.ru

Besschetnov Vladimir Petrovich — Dr. Sci. (Biology), Professor, Head of the Department of Forest crops of the Nizhny Novgorod State Agricultural Academy, lesfak@mail.ru

Babich Nikolay Alekseevich — Dr. Sci. (Agriculture), Professor of the Department of Landscape Architecture and Artificial Forests of the Northern (Arctic) Federal University named after M.V. Lomonosov, forest@narfu.ru

Kentbayev Yerzhan Zhunusovich — Dr. Sci. (Agriculture), Professor, Director of the Department of Science of the Kazakh National Agrarian Research University, yerzhan.kentbayev@kaznau.kz

Kentaeva Botagoz Aidarbekovna — Dr. Sci. (Biology), Professor, Head of the Department of Forest Resources and Hunting Studies of the Kazakh National Agrarian Research University, kentbayeva@mail.ru

Received 07.06.2021.

Approved after review 09.09.2021.

Accepted for publication 06.12.2020.

Вклад авторов: все авторы в равной доле участвовали в написании статьи

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов

Authors' Contribution: All authors contributed equally to the writing of the article

The authors declare that there is no conflict of interest

ЗАДЕРЖАНИЕ АТМОСФЕРНЫХ ОСАДКОВ ПОЛОГОМ ДРЕВОСТОЯ БЕРЕЗОВО-ЕЛОВОГО МОЛОДНЯКА В УСЛОВИЯХ СРЕДНЕЙ ТАЙГИ РЕСПУБЛИКИ КОМИ

Т.А. Пристова

Институт биологии ФИЦ Коми НЦ Уральского отделения РАН, 167982, Республика Коми, г. Сыктывкар, ГСП-2, ул. Коммунистическая, д. 28

pristova@ib.komisc.ru

Приведены результаты 10-летних исследований по задержанию дождевых осадков пологом древостоя березово-елового молодняка послерубочного происхождения в условиях средней тайги Республики Коми. Определен средний показатель задержания дождевых осадков пологом древостоя березово-елового молодняка по отношению к открытому месту. Измерен объем осадков под кронами деревьев в приствольной, средней части и по краям крон. Выявлено, что исследуемый молодняк перехватывает меньшее количество осадков, чем ельники и средневозрастные лиственные насаждения средней тайги. Рассмотрены факторы, влияющие на задержание осадков. Установлено, что кроны ели задерживают 28, березы — 13 % дождевых осадков относительно открытого места, при этом наибольшее количество осадков в березово-еловом молодняке поступает в межкрупные пространства («окна») — в среднем 95 % относительно открытого места. Отмечена высокая вариабельность распределения дождевых осадков пологом древостоя исследуемого молодняка. Дана оценка внутрисезонной и среднегодовой динамики задержания дождевых осадков. Показано, что в пределах сезонной динамики с июня до начала августа и с конца сентября до октября наблюдается снижение, а с августа по сентябрь — увеличение показателя интерцепции пологом березово-елового молодняка. Обнаружена определенная зависимость между задержанием дождевых осадков пологом исследуемого молодняка и их количеством, поступающим на открытое место, при этом для крон ели она более выражена, нежели для березы. Установлено, что в 10-летнем возрасте березово-еловый молодняк задерживает меньше дождевых осадков, чем в 20-летнем, однако за 10-летний период четко выраженной динамики увеличения этого показателя не наблюдается. Полученные данные можно использовать в лесной гидрологии при оценке влияния рубок на водорегулирующие свойства таежных лесов.

Ключевые слова: тайга, леса послерубочного происхождения, березово-еловый молодняк, задержание осадков

Ссылка для цитирования: Пристова Т.А. Задержание атмосферных осадков пологом древостоя березово-елового молодняка в условиях средней тайги Республики Коми // Лесной вестник / Forestry Bulletin, 2022. Т. 26. № 1. С. 28–34. DOI: 10.18698/2542-1468-2022-1-28-34

Важной водорегулирующей функцией лесной растительности является перераспределение и задержание атмосферных осадков. Атмосферные (дождевые) осадки проникают сквозь полог древостоя и стекают по стволам деревьев. По мере роста древостоя и изменения его надземной фитомассы изменяется количество задерживаемых осадков [1–4]. Проходя через кроны древесных растений, атмосферные осадки претерпевают ряд преобразований, которые приводят к изменению их первоначального количества и химического состава. Трансформация дождевых вод, проникающих сквозь кроны деревьев, происходит вследствие водоудерживающей способности полога древостоя, накопления влаги на поверхности листьев (хвои), ветвей, коре, стекания дождевых осадков по стволу [1, 3, 5–7]. Известно, что максимальное количество осадков задерживается древостоем в возрасте 35–50 лет, когда он имеет наибольшее количество зеленой массы [1, 8].

Рубка таежных лесов оказывает значительное влияние на задержание атмосферных осадков, так как в процессе естественного лесовосстановления на вырубках формируются лиственные леса, которые существенно изменяют характер трансформации атмосферных осадков кронами, по сравнению с хвойными [2–4, 9]. В среднетаежных ельниках показатель задержания атмосферных осадков составляет 27...28 % [9, 10]. Количество дождевых осадков, поступающих на поверхность почвы после рубки ельника, увеличивается на 37...38 %, через 10 лет — на 7...16 % [4, 8]. В таежных лиственных и лиственно-хвойных насаждениях послерубочного происхождения задержание осадков древостоем изучалось в основном в средневозрастных насаждениях [4, 5, 9, 11–13]. В лиственных молодняках эти исследования проводятся реже [5]. Актуальность изучения задержания осадков среднетаежными лиственными молодняками обусловлена влиянием рубок на водорегулирующие свойства таежных лесов и немногочисленностью подобных исследований.

Т а б л и ц а 1

**Количество жидких атмосферных осадков за 2005–2014 гг.,
по данным метеостанции Усть-Вымь, мм**

The amount of precipitation for 2005–2014, according to the Ust-Vym meteorological station, mm

Месяц	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014
Май	54	39	46	51	40	59	39	20	37	39
Июнь	30	68	49	47	106	111	26	156	35	66
Июль	84	96	63	42	114	12	35	165	32	37
Август	92	44	93	144	49	42	54	83	48	83
Сентябрь	48	80	39	72	90	39	83	145	36	39
Октябрь	20	62	28	55	65	46	77	80	72	19
Сумма осадков за полугодие	328	389	318	411	464	309	314	649	260	283

Цель работы

Цель работы — оценка влияния полога древостоя березово-елового молодняка на задержание дождевых осадков в условиях средней тайги Республики Коми.

Материалы и методы исследований

Исследования проводились в 2005–2014 гг. в период с мая по октябрь в окрестностях пос. Кылтово Княжпогостского района Республики Коми в березово-еловом молодняке разнотравного типа на трех круговых пробных площадях размером 300 м² каждая. Состав древостоя за период исследований изменился с 8Б2ЕедСедОс в возрасте 10 лет на 7Б3Е+СедОс — в возрасте 20 лет. Подробная таксационная характеристика березово-елового молодняка приведена ранее [14]. Согласно данным ГУП «Кылтовское лесничество», до рубки на месте березово-елового молодняка произрастал ельник чернично-долгомошный с составом древостоя 8Е2Б, подроста — 10Е, возрастом 150...190 лет. Почва в данном насаждении торфянисто-подзолисто-глееватая.

На каждой пробной площади и на поляне были установлены осадкоприемники в 10...15-кратных повторностях. Осадкоприемники располагались под кронами березы и ели, в межкрупных пространствах («окнах») и на открытом участке (поляне). Измерение объема осадков проводилось с мая по октябрь, с периодичностью один раз в 20–30 дней или по мере их поступления. Осадкоприемники под кронами деревьев располагались в приствольной, средней частях и по краям крон. Задержание осадков кронами, или интерцепция (англ. *interception* — задержание, перехват), рассчитывалось как процентное отношение разности между объемом осадков на открытом месте и их объемом под кронами деревьев либо в межкрупных пространствах. Количество осадков, проникающих под кроны деревьев определяли как разность интерцепции, вычитаемую из 100 % [1].

Согласно данным метеостанции Усть-Вымь, среднегодовое количество дождевых осадков за теплое полугодие (с мая по октябрь) 2005–2014 гг. составило 373 мм (табл. 1) [15].

Исследуемый временной период отличался по количеству и распределению осадков по месяцам. В 2009 г. сумма осадков за полугодие была на 16–44 % выше, чем в остальные годы (кроме 2012 г.) (см. табл. 1). В 2005, 2007 и 2014 гг. максимальное количество дождевых осадков за теплое полугодие приходилось на август, в 2006, 2009 и 2012 гг. — на июль, в 2010 — на июнь. В июле 2006 г. выпало 139 %, в 2005 — 122 % среднемесячной нормы осадков. Эти различия связаны с метеорологическими особенностями года. Осень (сентябрь–октябрь) 2006, 2009, 2011 и 2012 гг. была довольно дождливой, количество осадков превышало в 2–3 раза 2005 и 2007 гг. Лето 2010 и 2011 гг. — самое засушливое, а 2012 г. — самое дождливое по сравнению с другими исследуемыми годами (см. табл. 1).

Результаты и обсуждение

Согласно литературным данным, лиственные леса перехватывают от 15 до 35 % суммы осадков, поступающих на открытые пространства [3, 4, 6, 8, 9, 16]. За исследуемый период березово-еловый молодняк задерживал в среднем около 16 % количества осадков, поступивших на открытое место, в том числе кроны ели — 28, березы — 13 % (табл. 2). В межкрупных пространствах («окна») в среднем проникает 95 % атмосферных осадков относительно открытого места. В средневозрастных лиственно-хвойных насаждениях в условиях Карелии задерживается около 50 %, в Коми — 35 % дождевых осадков, поступающих на открытое место [5, 13]. В ельниках средней тайги Республики Коми этот показатель составляет 27...28 % [9, 10]. Таким образом, исследуемый березово-еловый молодняк задерживает меньше осадков, чем ельники и средневозрастные лиственные насаждения таежной зоны.

Т а б л и ц а 2

Количество дождевых осадков, проникающих под полог березово-елового молодняка за май — октябрь 2005–2014 гг., % относительно количества осадков, выпавших на открытом месте

The amount of rainfall penetrating under the canopy of birch-spruce young growth in May — October 2005–2014, % relative to the amount of precipitation in the exposed place

Количество проникающих осадков	Место сбора осадков			Среднее значение
	Береза	Ель	«Окна»	
Май — июнь (n = 300)				
Min	76 ± 24	69 ± 5	87 ± 6	77 ± 9
Max	96 ± 9	93 ± 5	99 ± 1	96 ± 3
Среднее	87 ± 7	78 ± 6	95 ± 9	87 ± 9
Июнь — июль (n = 280)				
Min	74 ± 13	55 ± 5	87 ± 6	72 ± 11
Max	97 ± 3	86 ± 15	100 ± 2	94 ± 7
Среднее	90 ± 4	73 ± 5	96 ± 7	86 ± 9
Июль — август (n = 270)				
Min	81 ± 21	40 ± 14	90 ± 4	70 ± 20
Max	90 ± 7	80 ± 2	112 ± 5	94 ± 9
Среднее	89 ± 5	68 ± 7	95 ± 8	84 ± 11
Август — сентябрь (n = 250)				
Min	60 ± 12	54 ± 17	65 ± 10	60 ± 4
Max	84 ± 11	76 ± 12	99 ± 4	86 ± 8
Среднее	81 ± 9	69 ± 8	93 ± 11	81 ± 8
Сентябрь — октябрь (n = 250)				
Min	74 ± 9	47 ± 26	78 ± 7	66 ± 13
Max	93 ± 9	86 ± 12	99 ± 8	93 ± 4
Среднее	86 ± 7	72 ± 5	95 ± 9	84 ± 8
Среднее за май — октябрь				
Min	73 ± 5	53 ± 8	81 ± 8	69 ± 5
Max	92 ± 4	84 ± 5	99 ± 1	92 ± 3
Среднее	87 ± 4	72 ± 5	95 ± 1	84 ± 4

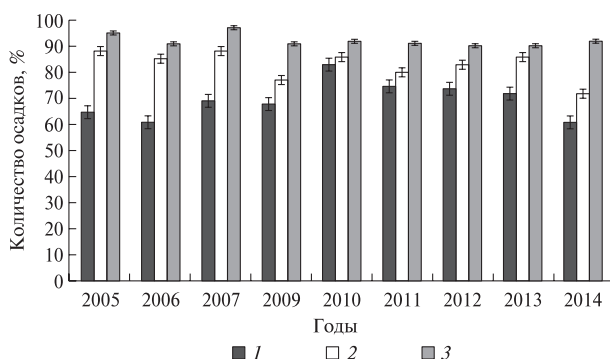


Рис. 1. Среднее количество осадков, проникающих с мая по октябрь под кроны ели, березы и межкروновые пространства («окна») с 2005 по 2014 гг., относительно открытого места: 1 — ель; 2 — береза; 3 — «окна»

Fig. 1. Average amount of precipitation penetrating from May to October under the crowns of spruce, birch and intercrop spaces («windows») from 2005 to 2014, relative to the open area: 1 — spruce; 2 — birch; 3 — «windows»

Известно, что распределение дождевых осадков в пределах лесных насаждений отличается высокой вариабельностью [6, 16–19]. За исследуемые годы, показатель интерцепции осадков изменялся. Минимальное количество дождевых осадков, поступающих под полог древостоя березово-елового молодняка, зафиксировано в августе 2009 г. — под кроны ели поступило 40 %, максимальное — в 2012 г. в «окнах» — 112 % осадков относительно открытого места (см. табл. 2). Например, в пределах одного срока измерений, в июне 2005 г., под кроны ели поступило от 63 до 97 % осадков, березы — от 78 до 100 %, в «окна» — от 78 до 110 % осадков, в июне 2014 г. под кроны ели — от 38 до 94 %, березы — от 50 до 80 %, в «окна» — от 90 до 102 % осадков относительно открытого места. Коэффициент вариации (CV) для показателя интерцепции в пределах березово-елового молодняка за годы исследования составил от 4 до 30 %. Высокая вариабельность количества осадков, собранных под пологом исследуемого древостоя, может быть обусловлена климатическими особенностями, влиянием ветра, такими таксационными характеристиками деревьев, как возраст, высота, диаметр, размеры и высота прикрепления крон, расположением осадкоприемника в пределах кроны, размером «окон» [1, 2].

Влияние вида древесного растения на задержание дождевых осадков проявляется больше в значении показателя интерцепции, а динамика определяется интенсивностью, частотой и количеством осадков [4, 10]. Согласно полученным данным, береза и ель пропускают разное количество осадков (рис. 1, см. табл. 2). Различия между средними многолетними значениями количества осадков, проникающих под кроны ели и березы березово-елового молодняка, статистически значимы ($p < 0,05$). Эта разница обусловлена отличием в расположении и форме крон у березы и ели, а также специфическими особенностями хвойных и лиственных пород [1, 17]. Кроме того, они различаются по удельной емкости насыщения кроны влагой: для березняков — 0,45 мм/т, для ельников — 0,28 мм/т [4].

Влияние древесных растений в исследуемом березово-еловом молодняке проявляется не только в количестве осадков, проникающих непосредственно под кроны, но и в межкروновое пространство («окна») (см. рис. 1). Среднее количество осадков, поступающих в межкروновое пространство березово-елового молодняка составляет 5 % относительно открытого места и, как правило, немного ниже или приблизительно равно, изредка — немного выше, чем на открытом месте. За годы исследований в «окна» поступало от 65 до 112 % дождевых осадков относительно

открытого места (см. табл. 2). Увеличение количества осадков в «окнах» по отношению к открытому месту объясняется дополнительным поступлением дождевых осадков с крон деревьев под влиянием ветра [2, 4, 18].

Интерцепция атмосферных осадков зависит от ряда факторов, в том числе от периода вегетации [1]. Анализ данных по интерцепции, полученный для разных месяцев в течение теплого полугодия периода 2005–2014 гг. показал, что прослеживается определенная тенденция в задержании осадков. Независимо от места их сбора в пределах березово-елового молодняка: с июня до начала августа и с конца сентября по октябрь наблюдается снижение, а с августа по сентябрь — повышение показателя интерцепции. Например, в 2005 г. в мае — в начале июня кроны березы задерживали в среднем 4 %, в августе — 26 % количества осадков на открытом месте. Однако усредненные многолетние данные не имеют статистически значимых различий в количестве дождевых вод, проникающих под полог березово-елового молодняка по месяцам и представленную выше тенденцию не отражают (при уровне значимости $p < 0,05$) (см. табл. 2). Это позволяет предположить, что период вегетации оказывает влияние в большей степени на внутрисезонную динамику задержания осадков пологом древостоя исследуемого березово-елового молодняка.

Как известно, на задержание дождевых осадков влияют климатические условия года [1]. Согласно метеоданным, лето 2010 и 2011 гг. было засушливым, 2012 г. — аномально влажным: в июне, июле и сентябре выпало осадков более чем на 200 % выше нормы (см. табл. 1) [15]. Однако существенных различий в среднем показателе интерцепции между этими годами не наблюдается (см. рис. 1). Связь между суммой атмосферных осадков, выпадающих за теплое полугодие в период 2005–2014 гг. и их задержанием кронами деревьев неоднозначна. Корреляционный анализ выявил отрицательную связь между количеством осадков на открытом месте и под кронами ели в июне — августе ($r = -0,6 \dots 0,9$), за исключением 2011 г. В мае и сентябре — октябре эта связь положительная, изредка отрицательная и в большинстве случаев — незначительная ($r < 0,5$). Для осадков, собранных под кронами березы в августе — сентябре, также наблюдается отрицательная корреляционная зависимость от количества осадков на открытом месте. Таким образом, для исследуемого березово-елового молодняка наблюдается определенная зависимость интерцепции дождевых осадков от их количества, поступающего на открытом месте. Для крон ели она более выражена, чем для березы, поскольку сезонные различия у вечнозеленых хвойных

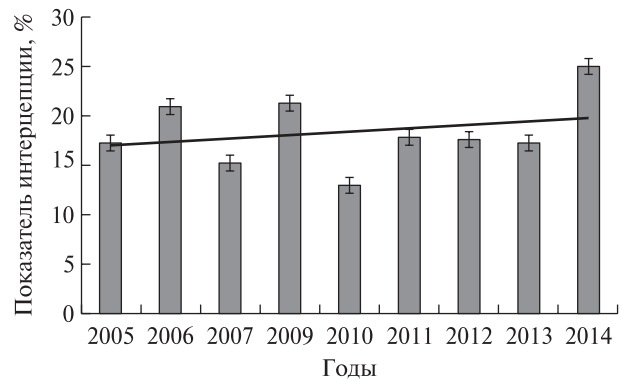


Рис. 2. Среднее значение интерцепции дождевых осадков пологом древостоя березово-елового молодняка с мая по октябрь 2005–2014 гг.

Fig. 2. Average value of rainfall retention by the canopy of birch-spruce young stands from May to October 2005–2014

пород выражены не так резко, в отличие от лиственных, для которых характерны периоды облиствления и осеннего листопада [1].

На задержание осадков древостоями оказывает влияние интенсивность дождя: если его интенсивность менее 5 мм/сут, то показатель интерцепции увеличивается, если более 5 мм/сут, то уменьшается [1, 10]. Воздействие интенсивности осадков на интерцепцию для исследуемого березово-елового молодняка не так четко выражено, как в средневозрастных лиственных насаждениях и ельниках [10, 13]. Корреляционный анализ не выявил связи между количеством дней с интенсивностью дождя более 5 мм и среднемесячным показателем задержания осадков пологом древостоя березово-елового молодняка. Так, в мае—июне 2005 г. количество дней с интенсивностью осадков более 5 мм/сут. составило 4 дня, а показатель интерцепции осадков пологом древостоя — 17 %, в 2009 г. — 7 дней и 21 %, в 2013 г. — 6 дней и 17 % соответственно. Однако между интерцепцией осадков кронами березы и количеством дней с интенсивностью дождя 5 мм/сут и более в некоторые месяцы существует средняя отрицательная корреляционная связь ($r > 0,5$). Это означает, что в отдельные периоды при увеличении интенсивности дождя (5 мм/сут и более) кроны березы могут задерживать меньше осадков.

Известно, что задержание осадков кронами деревьев может определяться возрастом, запасом и надземной фитомассой древостоя, особенно массой хвои и листьев [4, 9, 12]. Запас древостоя березово-елового молодняка с 2005 по 2015 гг. увеличился в 2,7, а фитомассы в 1,7 раза [14]. Согласно проведенным исследованиям, средний показатель интерцепции дождевых осадков за теплое полугодие древостоем березово-елового молодняка в 2005 г. составил 17, в 2014 г. — 23 % относительно открытого места, в том числе

кронами березы — 12 и 28, ели — 35 и 39 % соответственно (рис. 2, см. рис. 1). Безусловно, в 20-летнем возрасте задержание осадков древостоем и доминирующими древесными породами в березово-еловом молодняке выше, чем в 10-летнем. Однако если рассматривать 10-летнюю динамику интерцепции осадков пологом древостоя, то можно отметить, что с 2005 по 2010 гг. наблюдается как увеличение, так и снижение этого показателя, а с 2011 по 2013 гг. — его относительная стабилизация (см. рис. 2). Для крон ели наблюдается похожая тенденция, для березы и «окоп» она менее выражена (см. рис. 1). Возможно, для исследуемого молодняка зависимость между запасом и фитомассой с интерцепцией осадков пологом древостоя не столь однозначна, как для хвойных лесов. Существует мнение, что наибольшее количество осадков задерживается древесным пологом в стадии жердняка, когда кроны деревьев наиболее сомкнуты между собой, причем не только в горизонтальном, но и в вертикальном направлении [20]. Однако по литературным данным, в целом для лиственных насаждений задержание дождевых осадков увеличивается в возрасте от 5 до 30 лет, а затем постепенно убывает [21]. При этом для таежных березняков максимальное значение интерцепции характерно в возрасте 20–30 лет [12]. Учитывая, что возраст исследуемого березово-елового молодняка на момент окончания исследований составил 20 лет, то можно предположить, что интерцепция дождевых осадков пологом древостоя по мере увеличения его фитомассы и запаса в течение некоторого времени может увеличиваться (см. рис. 2).

Важным таксационным показателем, влияющим на интерцепцию атмосферных осадков, является густота и сомкнутость насаждения [1, 4]. За 10-летний период количество деревьев в древостое березово-елового молодняка увеличилось: ели — в 1,5 раза, березы — в 2,5 раза. Спецификой молодняка является довольно густой подрост и подлесок, который насчитывает 22...28 тыс. экз/га [22]. Известно, что в 10...15-летнем возрасте в среднетаежных березово-еловых молодняках завершается фаза смыкания крон [23]. Согласно полученным данным, существенного роста показателя интерцепции с увеличением количества деревьев и завершением смыкания крон не наблюдается (см. рис. 2). Можно отметить лишь относительную стабилизацию показателя интерцепции после достижения исследуемым березово-еловым молодняком 15-летнего возраста и завершения фазы смыкания крон. Возможно, что увеличение густоты древостоя исследуемого молодняка влияет не так существенно на показатель интерцепции, как завершение фазы смыкания крон.

Выводы

1. Установлено, что среднетаежный березово-еловый молодняк, формирующийся на месте вырубки ельника, задерживает в среднем 16 % количества дождевых осадков, поступающих на открытое место, в том числе кроны ели — 28, березы — 13 %.

2. На внутрисезонный показатель задержания (интерцепции) осадков оказывает влияние период вегетации, погодные условия и вид древесного растения.

3. Показатель интерцепции дождевых осадков в пределах исследуемого березово-елового молодняка отличается вариабельностью — коэффициент вариации (CV) изменяется от 4 до 30 %.

4. Полученные результаты можно использовать в лесной гидрологии для проведения расчетов по влиянию рубок на водорегулирующие свойства таежных лесов.

Работа выполнена при финансовой поддержке темы госзадания Института биологии Коми научного центра УрО РАН (№ 1021051101417-8-1.6.19) «Зональные закономерности динамики структуры и продуктивности первичных и антропогенно измененных фитоценозов лесных и болотных экосистем европейского северо-востока России».

Выражаю благодарность сотрудникам отдела лесобиологических проблем Севера ИБ ФИЦ КНЦ УрО РАН К.С. Бобковой, С.И. Наймушиной, А.И. Патовой, Н.В. Торлоповой.

Список литературы

- [1] Китредж Д. Влияние леса на климат, почвы и водный режим. М.: Изд-во иностранной литературы, 1951. 456 с.
- [2] Медведев Л.В. Закономерности перераспределения атмосферных осадков и трансформации их химического состава древостоями южной тайги (на примере Валдайской возвышенности): дис. ... канд. биол. наук: 03.00.16. Москва, 1984. 243 с.
- [3] Рахманов В.В. Гидроклиматическая роль лесов. М.: Лесная пром-ть, 1984. 240 с.
- [4] Карпечко Ю.В. Гидрологическая оценка антропогенного воздействия на водосборы в таежной зоне Европейского Севера России: автореф. дис. ... д-ра геогр. наук. Петрозаводск, 2004. 34 с.
- [5] Куликова В.К. Выщелачивание элементов питания из крон деревьев в еловых и березово-еловых насаждениях Карелии // Лес и почва. Красноярск: Красноярское книжное изд-во, 1968. С. 288–295.
- [6] Карпачевский Л.О. Пестрота почвенного покрова в лесном биогеоценозе. М.: Изд-во МГУ, 1977. 312 с.
- [7] Knulst J.S. Ratio between throughfall and open-field bulk precipitation used for control in deposition monitoring // Atmospheric Environment, 2004, v. 38, pp. 4869–4878.
- [8] Гидрологическая роль лесных геосистем. Новосибирск: Наука. 1989. 167 с.
- [9] Братцев А.П. Задержание осадков кронами деревьев в среднетаежной подзоне Коми АССР // Вопросы раз-

- вития энергетики и водного хозяйства Коми АССР: Тр. Коми филиала АН СССР, № 26. Сыктывкар: Изд-во Коми филиала АН СССР, 1973. С. 123–130.
- [10] Галенко Э.П. Фитоклимат и энергетические факторы продуктивности хвойного леса Европейского Севера. Л.: Наука, 1983. 129 с.
- [11] Братцев С.А. Влияние вырубок леса на водный баланс территории Коми АССР // Тр. Коми филиала АН СССР, 1982. № 50. С. 45–57.
- [12] Братцев С.А. Влияние лесов и их антропогенных изменений на водный баланс таежной зоны Республики Коми. Автореф. дис. ... канд. геогр. наук. Санкт-Петербург, 1995. 21 с.
- [13] Пристова Т.А. Влияние древесного полога лиственнично-хвойного насаждения на химический состав осадков // Лесоведение, 2005. № 5. С. 49–55.
- [14] Пристова Т.А. Фитомасса древесных растений в лиственных фитоценозах послерубочного происхождения // Лесной вестник / Forestry Bulletin, 2020. Т. 24. № 1. С. 5–13.
- [15] Novakovskiy A.B., Elsakov V.V. Hydrometeorological Database (HMDB) for Practical Research in Ecology // Data Science J., 2014, v. 13, pp. 57–63. DOI: 10.2481/dsj.IFPDA-10
- [16] Paivanen J. Sateen jakaantumien erilaississa metsikoissa // Silva Fennica, 1966, v. 119, pp. 1–37.
- [17] Волокитина А.В. Особенности распределения дождевых осадков под пологом хвойного леса // Лесоведение, 1979. № 2. С. 40–48.
- [18] Субботин А.И. Влияет ли лес на осадки // Лесоведение, 1979. № 5. С. 13–17.
- [19] Снакин В.В., Присяжная А.А., Рухович О.В. Состав жидкой фазы почв. М.: Изд-во РЭФИФ, 1997. 325 с.
- [20] Матвеев А.М., Матвеева Т.А. Задержание осадков кронами древесных пород // Успехи современного естествознания, 2014. № 5. С. 220–223.
- [21] Белов С.В. Лесоводство. М.: Лесная пром-ть, 1983. 352 с.
- [22] Пристова Т.А. Динамика древесной растительности в лиственных насаждениях послерубочного происхождения (подзона средней тайги Республики Коми) // Принципы экологии, 2019. № 3(33). С. 63–73.
- [23] Ильчуков С.В. Динамика структуры лесного покрова на сплошных вырубках (подзона средней тайги, Республика Коми). Екатеринбург: Изд-во УрО РАН, 2003. 119 с.

Сведения об авторе

Пристова Татьяна Александровна — канд. биол. наук, науч. сотр. Института биологии ФИЦ Коми НЦ Уральского отделения РАН, отдел лесобиологических проблем Севера, pristova@ib.komisc.ru

Поступила в редакцию 11.06.2021.
Одобрено после рецензирования 30.09.2021.
Принята к публикации 06.12.2021.

PRECIPITATION RETENTION BY BIRCH-SPRUCE YOUNG FOREST CANOPY IN MIDDLE TAIGA OF KOMI REPUBLIC

T.A. Pristova

Institute of Biology, Komi Science Center, Ural Division, Russian Academy of Sciences, 28, Kommunisticheskaya st., 167982, Syktывkar, Komi Republic, Russia

pristova@ib.komisc.ru

The paper highlights 10-year-long study results on rainfall retention by the canopy of secondary birch-spruce young stand in the middle taiga subzone of the Komi Republic. The average rain retention by the canopy of a birch-spruce young forest in relation to an open area is determined. The studied young growth keeps less precipitation volumes than spruce forests and medium-aged deciduous stands of the middle taiga subzone. We have viewed a number of factors controlling precipitation retention. Spruce crowns keep 28 %, birch keeps 13 % of exposed place bulk precipitation. The largest precipitation volumes in the birch-spruce young growth fall through the inter-crown spaces — about 95 % of exposed place bulk precipitation. The rain retention by the canopy of the studied young forest is characterized by a high variability. We have assessed the seasonal and annual dynamics of rainfall retention. Within the seasonal dynamics, the periods from June to early August and from end September to October have a decrease and from August to September there is an increase in the retention value for the studied birch-spruce young growth. There exists a certain link between precipitation retention by the canopy of the studied young forest and exposed area bulk precipitation. This link is expressive for spruce crowns compared with birch crowns. The 10-year-old birch-spruce wood intercepts less rainfall than at the age of 20. However, the 10-year-long study period does not show any clear dynamics of retention increase. The data obtained can be used in forest hydrology to assess impacts of forest harvesting on water-regulating properties of taiga forests.

Keywords: taiga, forests of post-harvest origin, birch-spruce young forest, precipitation interception

Suggested citation: Pristova T.A. *Zaderzhanie atmosferynykh osadkov pologom drevostoya berezovo-elovogo molodnyaka v usloviyakh sredney taygi Respubliki Komi* [Precipitation retention by birch-spruce young forest canopy in middle taiga of Komi Republic]. *Lesnoy vestnik / Forestry Bulletin*, 2022, vol. 26, no. 1, pp. 28–34. DOI: 10.18698/2542-1468-2022-1-28-34

References

- [1] Kitredzh D. *Vliyanie lesa na klimat, pochvy i vodnyy rezhim* [The impact of forests on climate, soil and water regime]. Moscow: Izd-vo inostrannoy literatury [Foreign Literature Publishing House], 1951, 456 p.
- [2] Medvedev L.V. *Zakonomernosti pereraspredeleniya atmosferynykh osadkov i transformatsii ikh khimicheskogo sostava drevostoyami yuzhnoy taygi (na primere Valdayskoy vozvysheynosti)* [Regularities of the redistribution of atmospheric precipitation and the transformation of their chemical composition by forest stands in the southern taiga (on the example of the Valdai Upland)]. Dis. Cand. Sci. (Biol.). Moscow, 1984, 243 p.
- [3] Rakhmanov V.V. *Gidroklimaticeskaya rol' lesov* [The hydroclimatic role of forests]. Moscow: Lesnaya prom-t' [Forest Industry], 1984, 240 p.
- [4] Karpechko Yu.V. *Gidrologicheskaya otsenka antropogennogo vozdeystviya na vodosbory v taezhnoy zone Evropeyskogo Severa Rossii* [Hydrological assessment of anthropogenic impact on catchments in the taiga zone of the European North of Russia]. Dis. Dr. Sci. (Geogr.). Petrozavodsk, 2004, 34 p.
- [5] Kulikova V.K. *Vyshchelachivanie elementov pitaniya iz kron derev'ev v elovykh i berezovo-elovykh nasazhdeniyakh Karelii* [Leaching of nutrients from tree crowns in spruce and birch-spruce plantations of Karelia]. Les i pochva [Forest and soil]. Krasnoyarsk: Krasnoyarsk book publishing house, 1968, pp. 288–295.
- [6] Karpachevskiy L.O. *Pestrotta pochvennogo pokrova v lesnom biogeotsenoze* [The diversity of the soil cover in the forest biogeocenosis]. Moscow: Moscow State University Publishing House, 1977, 312 p.
- [7] Knulst J.S. Ratio between throughfall and open-field bulk precipitation used for control in deposition monitoring. *Atmospheric Environment*, 2004, v. 38, pp. 4869–4878.
- [8] *Gidrologicheskaya rol' lesnykh geosistem* [Hydrological role of forest geosystems]. Novosibirsk: Nauka. Sib. otdelenie [Science. Sib. department], 1989, 167 p.
- [9] Brattsev A.P. *Zaderzhanie osadkov kronami derev'ev v srednetaezhnoy podzone Komi ASSR* [Retention of precipitation by tree crowns in the middle taiga subzone of the Komi ASSR]. *Voprosy razvitiya energetiki i vodnogo khozyaystva Komi ASSR* [Issues of development of energy and water management of the Komi ASSR: tr. Komi branch of the USSR Academy of Sciences, no. 26]. Syktyvkar: Komi branch of the USSR Academy of Sciences, 1973, pp. 123–130.
- [10] Galenko E.P. *Fitoklimat i energeticheskie faktory produktivnosti khvoynogo lesa Evropeyskogo Severa* [Phytoclimate and energy factors of productivity of the coniferous forest of the European North]. Leningrad: Nauka, 1983, 129 p.
- [11] Brattsev S.A. *Vliyanie vyrubok lesa na vodnyy balans territorii Komi ASSR* [The influence of deforestation on the water balance of the territory of the Komi ASSR]. *Trudy Komi filiala AN SSSR* [Proceedings of the Komi branch of the USSR Academy of Sciences], 1982, no. 50, pp. 45–57.
- [12] Brattsev S.A. *Vliyanie lesov i ikh antropogennykh izmeneniy na vodnyy balans taezhnoy zony Respubliki Komi* [Influence of forests and their anthropogenic changes on the water balance of the taiga zone of the Komi Republic. Abstract of thesis]. Dis. Cand. Sci. Geogr. St. Petersburg, 1995, 21 p.
- [13] Pristova T.A. *Vliyanie drevsnogo pologa listvenno-khvoynogo nasazhdeniya na khimicheskyy sostav osadkov* [The influence of the tree canopy of deciduous-coniferous plantations on the chemical composition of sediments]. *Lesovedenie*, 2005, no. 5, pp. 49–55.
- [14] Pristova T.A. *Fitomassa drevnykh rasteniy v listvennykh fitotsenozakh poslerubochnogo proiskhozhdeniya* [Phytomass of woody plants in deciduous phytocenoses of postcutting origin]. *Lesnoy vestnik / Forestry Bulletin*, 2020, v. 24, no. 1, pp. 5–13.
- [15] Novakovskiy A.B., Elsakov V.V. *Hydrometeorological Database (HMDB) for Practical Research in Ecology* [Hydrometeorological Database (HMDB) for Practical Research in Ecology]. *Data Science J.*, 2014, v. 13, pp. 57–63. DOI: 10.2481 / dsj.IFPDA-10
- [16] Paivanen J. Sateen jakaantuminen erilaissisa metsikoissa. *Silva Fennica*, 1966, v. 119, pp. 1–37.
- [17] Volokitina A.V. *Osobennosti raspredeleniya dozhdnykh osadkov pod pologom khvoynogo lesa* [Features of the distribution of rainfall under the canopy of a coniferous forest]. *Lesovedenie*, 1979, no. 2, pp. 40–48.
- [18] Subbotin A.I. *Vliyaet li les na osadki* [Does the forest affect precipitation]. *Lesovedenie*, 1979, no. 5, pp. 13–17.
- [19] Snakin V.V., Prisyazhnaya A.A., Rukhovich O.V. *Sostav zhidkoy fazy pochv* [Composition of the liquid phase of soils]. Moscow: REFIF Publishing House, 1997, 325 p.
- [20] Matveev A.M., Matveeva T.A. *Zaderzhanie osadkov kronami drevnykh porod* [Retention of precipitation by tree crowns]. *Uspekhi sovremennogo estestvoznaniya* [Successes of modern natural science], 2014, no. 5, pp. 220–223.
- [21] Belov S.V. *Lesovodstvo* [Forestry]. Moscow: Lesnaya prom-t' [Forest Industry], 1983, 352 p.
- [22] Pristova T.A. *Dinamika drevsnoy rastitel'nosti v listvennykh nasazhdeniyakh poslerubochnogo proiskhozhdeniya (podzona sredney taygi Respubliki Komi)* [Dynamics of woody vegetation in deciduous plantations of post-felling origin (subzone of the middle taiga of the Komi Republic)]. *Printsipy ekologii* [Principles of Ecology], 2019, no. 3 (33), pp. 63–73.
- [23] Il'chukov S.V. *Dinamika struktury lesnogo pokrova na sploshnykh vyrubkakh (podzona sredney taygi, Respublika Komi)* [Dynamics of the structure of forest cover in clear-cut areas (subzone of the middle taiga, Komi Republic)]. *Yekaterinburg: Ural Branch of the Russian Academy of Sciences*, 2003, 119 p.

This work was supported by the theme of the State Assignment of the Institute of Biology of the Komi Scientific Center of the Ural Branch of the Russian Academy of Sciences (No. 1021051101417-8-1.6.19) «Zonal patterns of dynamics of structure and productivity of primary and anthropogenically altered phytocenoses of forest and swamp ecosystems in the European North-East of Russia».

I would like to express my gratitude to the staff of the Department of Forest Biological Problems of the North of the Institute of Biology of the Federal Research Center of the KSC UB RAS K.S. Bobkova, S.I. Naymushina, A.I. Patov, N.V. Torlopova.

Author's information

Pristova Tat'yana Aleksandrovna — Cand. Sci. (Biology), Researcher of the Institute of Biology of Komi Science Centre of the Ural Branch of the Russian Academy of Sciences, pristova@ib.komisc.ru

Received 11.06.2021.

Approved after review 30.09.2021.

Accepted for publication 06.12.2021.

ВЛИЯНИЕ ПРЕДПОСЕВНОЙ ОБРАБОТКИ СЕМЯН (ДРАЖИРОВАНИЯ) НА ГРУНТОВУЮ ВСХОЖЕСТЬ И ДАЛЬНЕЙШИЙ РОСТ СЕЯНЦЕВ СОСНЫ ОБЫКНОВЕННОЙ (*PINUS SILVESTRIS* L.)

В.Ю. Острошенко¹✉, Л.Ю. Острошенко²

¹ФНЦ Биоразнообразия наземной биоты Восточной Азии ДВО РАН, 690022, Приморский край, г. Владивосток, пр-т 100-летия Владивостоку, д. 159

²Приморская государственная сельскохозяйственная академия, 692510, Приморский край, г. Уссурийск, пр-т Блюхера, д. 44

OstroschenkoV@mail.ru

Исследовано влияние дражирования на грунтовую всхожесть семян и биометрические показатели (высоту стволиков, диаметр шейки корня, длину корней и общую биомассу) сеянцев сосны обыкновенной (*Pinus sylvestris* L.) (2-го и 3-го года роста) в условиях Приморского края. Установлено, что всхожесть дражированного семенного материала уступала контрольным показателям на 6,8 %, однако сеянцы 2-го года роста, полученные из семенного материала, подвергнутого дражированию, показали значения выше контрольных на 21,9 %. При этом показатели длины корней превышали контроль в среднем на 10,3 %, в то же время диаметр шейки корня в среднем был больше на 16,1 %, а общая биомасса повышалась на 35,1 %. У сеянцев 3-го года роста аналогичные показатели были выше на 30,4 %, 27,9, 14,7 и 71,1 % соответственно. В дальнейшем рекомендуется изучить влияние дражирования на последующий рост сеянцев и саженцев сосны обыкновенной.

Ключевые слова: сосна обыкновенная, дражиратор, дражирование, стимуляторы роста, эпин-экстра, семена, сеянцы

Ссылка для цитирования: Острошенко В.Ю., Острошенко Л.Ю. Влияние предпосевной обработки семян (дражирования) на грунтовую всхожесть и дальнейший рост сеянцев сосны обыкновенной (*Pinus sylvestris* L.) // Лесной вестник / Forestry Bulletin, 2022. Т. 26. № 1. С. 35–40. DOI: 10.18698/2542-1468-2022-1-35-40

Результативность искусственного восстановления лесов во многом обусловлена качеством семян и сеянцев.

За минувшие годы в российской и зарубежной практике восстановления лесов активно использовались экспериментальные методы выращивания посадочного материала с использованием специальных препаратов, стимулирующих его рост. Обнаруженная результативность применения подобных препаратов дает возможность переклеститься на дражирование семенного материала и создание инструментов для осуществления точечного высева, обеспечивающего максимальную экономичность [1].

Конечным результатом процесса дражирования являются гранулы (драже), которые пригодны для хранения, их транспортировки и точечного посева. Когда семя начинает прорастать в грунте, происходит разложение дражировочного слоя гранулы, что, в свою очередь, обеспечивает проростки необходимыми питательными веществами, а также защищает их от агрессивной почвенной флоры [2, 3].

Дражирование семенного материала можно назвать наиболее перспективным методом его приготовления к посеву, суть которого заключа-

ется в помещении семян в специальную оболочку, состоящую из органоминеральных веществ, связывающих компонентов на основе полимеров, а также целевых добавок. Результатом этого является более ровная поверхность, обеспеченность проростков на первых этапах формирования полезными микроэлементами и минералами, а также повышение их защищенности от вредителей и заболеваний [1–8].

Методика дражирования семенного материала нашла повсеместное применение не только в лесовосстановлении, но и в сельском хозяйстве [1–4, 6–24]. На сегодняшний день указанный высокоэффективный метод предпосевной обработки семенного материала используется агропромышленными предприятиями при высеве мелкосеменных культур (свекла, хлопок).

В рамках российского лесного хозяйства первые эксперименты по дражированию и высеву мелких по размеру семян хвойных древесных пород предпринимались еще в 1980-х гг. работниками Ленинградского научно-исследовательского института лесного хозяйства (ныне Санкт-Петербургский научно-исследовательский институт лесного хозяйства) [2].

Нами изучено механизированное дражирование на примере семян сосны обыкновенной (*Pinus sylvestris* L.), и разработан состав дражировочной смеси [1, 4].

Цель работы

Цель работы — изучение влияния дражирования на грунтовую всхожесть семян и дальнейший рост сеянцев сосны обыкновенной (*Pinus sylvestris* L.) в условиях Приморского края.

Материалы и методы

Эксперименты проводили в лаборатории практического обучения Института лесного и лесопаркового хозяйства Приморской государственной сельскохозяйственной академии с помощью электромеханического дражирователя, спроектированного сотрудниками кафедры лесоводства.

Экспериментальный дражирователь сделан на основе электродвигателя-редуктора МУ-100 АРУ мощностью 120 Вт, вращающегося со скоростью 150...300 об./мин. Угол наклона оси емкости равен $40 \pm 5^\circ$, а вместительность емкости дражирователя составляет 8 дм³. Продолжительность процесса дражирования варьировалась в пределах 30...60 мин.

В рамках проводимых экспериментов в качестве первоначального материала применялись партии семян сосны обыкновенной.

До того как приступить к процедуре дражирования семенной материал в течение 40...60 мин подвергали обработке раствором марганцовокислого калия KMnO_4 , а потом на 30 мин погружали в раствор регулятора роста — препарат эпин-экстра в соотношении 0,001 дм³ на 5 дм³ воды. Семенной материал перемешивался с приготовленной дражировочной смесью, составленной в соотношении 60 г клейкого состава (им служил клей ПВА) и 60 г древесной золы на 250 г семян.

Дражирование семенного материала продолжалось 10 мин. Образовавшиеся по итогам экспериментов гранулы обладали сечением 5–6 мм.

Приготовленным дражированным семенным материалом засеивали грядку питомника, расположенного на территории Горнотаежной станции (ГТС) — филиала Федерального научного центра Биоразнообразия наземной биоты Восточной Азии (ФНЦ Биоразнообразия ДВО РАН). Местность характеризуется специфическими лесорастительными условиями, наличием горно-лесных буроземов и подзолистыми почвами. Рельеф слабоволнистый с минимальным уклоном. Семена высевали по 100 шт. в трехкратной повторности. В качестве контрольных применяли обычные семена, не подвергавшиеся дражированию. Партия семян относилась к 1-му классу качества. На 15-й день после появления всходов устанавливали грунтовую всхожесть семенного материала и следили за последующим ростом сеянцев, а также фиксировали их текущее состояние.

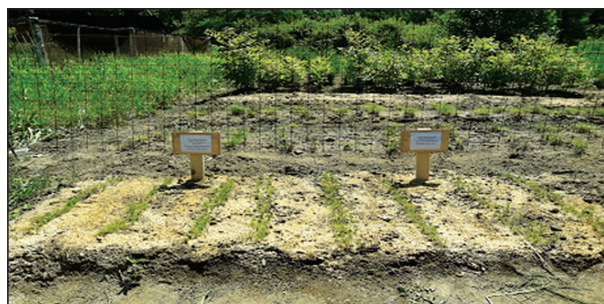


Рис. 1. Однолетние сеянцы сосны обыкновенной: слева — контрольные образцы; справа — сеянцы из дражированных семян

Fig. 1. Scots pine annual seedlings: left — control samples; on the right — seedlings from pelleted seeds

Т а б л и ц а 1

Влияние дражирования семян сосны обыкновенной на грунтовую всхожесть

Influence of Scots pine seed pelleting on soil germination

Показатель	Семена дражированные			Контрольные образцы		
	1	2	3	1	2	3
Основное значение	79	91	88	96	98	83
Среднее значение	86,0			92,3		
Ошибка среднего, m	$\pm 3,6$			$\pm 4,7$		
Достоверность, t_m	23,9			19,6		
Точность опыта, P	4,2			5,1		

Сеянцы регулярно поливали. По завершении периода вегетации проводили сплошной учет сеянцев с определением их биометрических показателей. Высоту надземной части измеряли с помощью линейки. Корневую систему сеянцев промывали от субстрата, вытирали хлопковой тканью и высушивали в тени. У отобранных для экспериментов растений с помощью линейки определяли длину корней, при этом для измерений диаметра их шейки применяли штангенциркуль (погрешность — до 0,1 мм). Растения делили на корень и надземную часть, просушивали и помещали на весы ВЛКТ-500 для установления их массы (погрешность — до 0,01 г).

Результаты полевых экспериментов подвергали статистической обработке в программе Microsoft Office Excel 2007.

Итоговые значения сопоставляли по вариантам опыта и с контрольными растениями. Значимость отличий с контрольными вариантами вычисляли с помощью дисперсионного анализа и специальной формулы расчета различий между двумя средними значениями [25].

Результаты и обсуждение

Введение связывающего вещества в драже никак не повлияло на увеличение всхожести семенного материала. Она уступала контрольным образцам на 6,8 % (рис. 1).

Показатели роста сеянцев сосны обыкновенной, выращенных из дражированных семян

Growth indicators of Scots pine seedlings grown from pelleted seeds

Наименование показателя	Высота стволика, см	Длина корней, см	Диаметр шейки корня, мм	Масса, г					
				стволика	веточки	хвои	Надземная часть, всего	Корневая система	Общая биомасса
Сеянцы 2-летние									
Контрольные образцы	12,8	11,7	3,1	1,41	–	0,67	2,08	0,57	2,65
Дражированные семена	15,6	12,9	3,6	1,97	–	0,92	2,89	0,69	3,58
Относительно контроля, %	+21,9	+10,3	+16,1	+39,7	–	+37,3	+38,9	+21,1	+35,1
Сеянцы 3-летние									
Контрольные образцы	18,1	15,4	3,4	1,63	0,43	3,4	5,03	1,24	6,27
Дражированные семена	23,6	19,7	3,9	2,41	0,91	6,6	9,11	1,62	10,73
Относительно контроля, %	+30,4	+27,9	+14,7	+47,9	+111,6	+94,1	+81,1	+30,6	+71,1

Ошибка усредненного значения изменялась от 3,6 до 4,7; достоверность эксперимента — в пределах 19,6...23,9, точность эксперимента — 4,2...5,1 (табл. 1).

Дисперсионным анализом была установлена достоверность различий с контрольными образцами: расчетное значение критерия Фишера превышало табличное — $P = 2,498 > 2,31$. В ходе проведения опытов было обнаружено, что у семенного материала, подвергнутого дражированию, время прорастания увеличивалось на 4–5 сут относительно контроля, не прошедшего подобную обработку.

Научные работники ЛенНИИЛХ Е.Л. Маслаков, Л.А. Лебедеко и В.Д. Альберт в рамках проводимых ими экспериментов также наблюдали сокращение всхожести дражированного семенного материала относительно контроля [2]. Несмотря на это, использование рассматриваемого метода предпосевной подготовки семенного материала, с их точки зрения, позитивно повлияло на дальнейшее развитие сеянцев, их охвоение и повышение линейных показателей [2]. В частности, В.Д. Мухин в собственной работе привел позитивное воздействие дражирования при предпосевной подготовке семян сельскохозяйственных растений [3].

В проведенных опытах состав дражировочной смеси, используемый при обработке семян, способствовал обеспечению проростков полезными микроэлементами, необходимыми для более активного роста и развития сеянцев. В частности, сеянцы 2-го года, полученные из обработанного семенного материала, показали более высокий



Рис. 2. Двухлетние сеянцы сосны обыкновенной, выращенные из дражированных семян: слева — контроль; справа — сеянцы из дражированных семян

Fig. 2. Scots pine biennial seedlings, grown from pelleted seeds: left — control; on the right — seedlings from pelleted seeds

результат по сравнению с контрольными образцами — на 21,9 % (табл. 2, рис. 2).

Отличия следует признать значительными: $T = 12,7 \geq 3$. Длина корней превышала аналогичные показатели контрольной группы на 10,3 %, а диаметр шейки корня — на 16,1 %, суммарная биомасса возрастала на 35,1 %. У растений 3-го года аналогичные показатели превышали контрольную группу на 30,4, 27,9, 14,7, и 71,1 % соответственно.

Выводы

Проведенные опыты показали, что дражирование семян сосны обыкновенной не оказало положительного влияния на их грунтовую всхожесть.

Однако данный вид предпосевной подготовки способствовал активизации биометрических показателей сеянцев 2-го и 3-го года роста (высоты стволиков, диаметра шейки корня, длины корней и общей биомассы).

Так, в 2-летнем возрасте сеянцы превысили аналогичные значения контрольных растений на 10,3...35,1 %, а в 3-летнем — на 14,7...71,1 %.

Список литературы

- [1] Акимов Р.Ю., Острошенко В.Ю. Дражирование семян сосны кедровой корейской (*Pinus koraiensis* Siebold et Zucc.) и лиственницы амурской (*Larix amurensis* V. Kolesn.) // Аграрный вестник Приморья, 2016. № 4 (4). С. 39–41.
- [2] Маслаков Е.Л., Лебеденко Л.А., Альберт В.Д. Разработать систему мероприятий и определить нормативы по срокам сбора, переработки, хранению и подготовки семян сосны и ели к посеву, обеспечивающие 90%-ную всхожесть при выращивании сеянцев с закрытыми корнями в условиях теплиц. Заключительный отчет. Л.: ЛенНИИЛХ, 1985. 105 с.
- [3] Мухин В.Д. Дражирование семян сельскохозяйственных культур. М.: Колос, 1971. 93 с.
- [4] Акимов Р.Ю., Острошенко В.В., Пак А.В. Выявление компонентов при дражировании семян хвойных древесных пород // Леса и лесное хозяйство в современных условиях, 2011. С. 79–81.
- [5] Замышляев С.В., Острошенко В.Ю., Иншаков С.В., Острошенко В.В. Обзор устройств для дражирования семян сельскохозяйственных и лесных культур // Аграрный вестник Приморья, 2017. № 2 (6). С. 17–20.
- [6] Копытков В.В. Применение композиционных полимерных препаратов для дражирования семян хвойных пород // Доклады Национальной академии наук Беларуси, 2013. № 57 (2). С. 119–123.
- [7] Острошенко В.В., Острошенко Л.Ю., Акимов Р.Ю. Нормирование работ по дражированию семян хвойных древесных пород // Вестник КрасГАУ, 2013. № 3. С. 139–142.
- [8] Усов В.Н., Острошенко В.В., Акимов Р.Ю. Исследование технологического процесса дражирования семян сосны корейской (*Pinus koraiensis* Siebold et Zucc.) на электромеханическом дражираторе // Вестник КрасГАУ, 2015. № 9. С. 145–149.
- [9] Будков В.А., Пухальская Н.В. Дражирование семян сельскохозяйственных культур // Плодородие, 2009. № 2 (47). С. 17–19.
- [10] Быковский Ю.А., Янченко А.В., Азопков М.И., Голубович В.С., Фелелова С.В., Багров Р.А. Перспективные препараты для инкрустирования семян столовых корнеплодов // Картофель и овощи, 2018. № 5. С. 16–19.
- [11] Кухарев О.Н., Гришин Г.Е. Эффективность дражирования семян сахарной свеклы // Нива Поволжья, 2012. № 1 (22). С. 73–77.
- [12] Михеев Д.А. Дражирование, как перспективный метод предпосевной обработки семян // Научно-технический прогресс в сельскохозяйственном производстве: материалы Междунар. науч.-практ. конф., Минск, 10–11 октября 2012 г. В 3 т. / под ред. П.П. Казакевич. Минск: Изд-во РУП «НПЦ НАН Беларуси по механизации сельского хозяйства», 2012. Т. 2. С. 261–264.
- [13] Павлов Л.В., Параскова О.Т., Мухин В.Д., Жильцов Д.В. Технические условия для дражирования семян овощных культур // Картофель и овощи, 2008. № 2. С. 24.
- [14] Сербий Е.К. Природные компоненты для дражирования семян // Научно-технический прогресс в сельскохозяйственном производстве: материалы Междунар. науч.-практ. конф., Минск, 10–11 октября 2012 г. В 3 т. / под ред. П.П. Казакевич. Минск: Изд-во РУП «НПЦ НАН Беларуси по механизации сельского хозяйства», 2012. Т. 2. С. 253–261.
- [15] Фелелова С.В., Меньших А.М., Янченко А.В. Дражирование семян моркови и свеклы — важный элемент ресурсосберегающих технологий // Картофель и овощи, 2019. № 2. С. 36–38.
- [16] Brockwell J. Studies on seed pelleting as an aid to legume seed inoculation. Coating materials, adhesives, and methods of inoculation // Australian J. of Agricultural Research, 1962, v. 13, no. 4, pp. 638–649.
- [17] Devi J.R., Selvaraj J.A. Seed pelleting and soil types on germination and vigor of seeds in ash gourd and ribbed gourd // Madras Agricultural J., 1995, v. 82, no. 2, pp. 75–77.
- [18] Fraser J.W., Adams M.J. The effect of pelleting and encapsulation on germination of some conifer seeds native to Ontario // Canadian Forestry Service, Great Lakes Forest Research Centre, Sault Ste. Marie, Ontario. Information Report, 1980. O-X-319, p. 17.
- [19] Moënné-Locoz Y., Naughton M., Higgins P., Powell J., O'Connor B., O'Gara F. Effect of inoculum preparation and formulation on survival and biocontrol efficacy of *Pseudomonas fluorescens* F113 // J. of applied microbiology, 1999, v. 86, no. 1, pp. 108–116.
- [20] Rudolf P.O. A test of pelleted Jack Pine seed // J. of Forestry, 1950, v. 48, no. 10, pp. 703–704.
- [21] Ryu Ch., Kim J., Choi O., Kim S., Park Ch. Improvement of biological control capacity of *Paenibacillus polymyxa* E681 by seed pelleting on sesame // Biological Control, 2006, v. 39, no. 3, pp. 282–289.
- [22] Srimathi P., Mariappan N., Sundaramoorthy L., Paramathma M. Effect of organic seed pelleting on seed storability and quality seedling production in biofuel tree species // J. of Horticulture and Forestry, 2013, v. 5, no. 5, pp. 68–73.
- [23] Taylor A.G., Eckenrode C.J., Straub R.W. Seed coating technologies and treatments for onion: challenges and progress // Hort Science, 2001, v. 36, no. 2, pp. 199–205.
- [24] Yadav M.S., Sharma S.K., Rajora M.P. Effect of pelleting material on seed germination and grassland productivity // Range Management & Agroforestry, 2000, v. 21, no. 2, pp. 121–127.
- [25] Доев С.К. Математические методы в лесном хозяйстве. Уссурийск: Изд-во ПГСХА, 2001. 124 с.

Сведения об авторах

Острошенко Валентина Юрьевна [✉] — мл. науч. сотр. лаборатории дендрологии, ФНЦ Биоразнообразия наземной биоты Восточной Азии ДВО РАН, OstroschenkoV@mail.ru

Острошенко Людмила Юрьевна — канд. биол. наук, доцент, ФГБОУ ВО Приморская государственная сельскохозяйственная академия, OstroschenkoV@mail.ru

Поступила в редакцию 08.06.2021.

Одобрено после рецензирования 01.07.2021.

Принята к публикации 06.12.2021.

PRE-SOWING SEED TREATMENT (PELLETING) INFLUENCE ON FIELD GERMINATION AND FURTHER GROWTH OF SCOTS PINE (*PINUS SILVESTRIS* L.) SEEDLINGS

V.Yu. Ostroshenko^{1✉}, L.Yu. Ostroshenko²

¹Federal Scientific Center of the East Asia Terrestrial Biodiversity Far Eastern Branch of the Russian Academy of Sciences, 159, 100-letiya Vladivostoku av., 690022, Vladivostok, Russia

²The Primorskiy State Agricultural Academy, 44, Blyuhera av., 692510, Ussurisk, Russia

OstroshenkoV@mail.ru

We studied the effect of pelleting on field germination of seeds and biometric parameters (stem height, root neck diameter, root length and total biomass) of Scots pine (*Pinus sylvestris* L.) seedlings of the second and third years of growth in the Primorsky Territory. It was found that the germination capacity of pelleted seed was 6,8 % lower than the control samples values, but seedlings of the second year of growth obtained from seed material subjected to pelleting showed values higher than the control ones by 21,9 %. At the same time, root length exceeded the control samples by an average of 10,3 %, while the diameter of the root neck was on average 16,1 % larger, and the total biomass increased by 35,1 %. For seedlings of the third year of growth, similar indicators were higher by 30,4 %; 27,9 %; 14,7 % and 71,1 %, respectively. In the future, it is recommended to study the effect of pelleting on the subsequent growth of Scots pine seedlings.

Keywords: Scots pine, pelletizer, pelleting, growth stimulants, epin-extra, seeds, seedlings

Suggested citation: Ostroshenko V.Yu., Ostroshenko L.Yu. *Vliyaniye predposevnoy obrabotki semyan (drazhirovaniya) na gruntovuyu vskhozhest' i dal'neyshiy rost seyantsev sosny obyknovennoy (Pinus silvestris L.)* [Pre-sowing seed treatment (pelleting) influence on field germination and further growth of Scots pine (*Pinus silvestris* L.) seedlings]. *Lesnoy vestnik / Forestry Bulletin*, 2022, vol. 26, no. 1, pp. 35–40. DOI: 10.18698/2542-1468-2022-1-35-40

References

- [1] Akimov R.Yu., Ostroshenko V.Yu. *Drazhirovaniye semyan sosny kedrovoy koreiskoi (Pinus koraiensis Siebold et Zucc.) i listvennitsy amurskoi (Larix amurensis B. Kolesn.)* [Pelleting of seeds of Korean cedar pine (*Pinus koraiensis* Siebold et Zucc.) and Amur larch (*Larix amurensis* B. Kolesn.)]. *Agrarniy vestnik Primor'ya* [Agrarian Bulletin of Primorye], 2016, no. 4 (4), pp. 39–41.
- [2] Maslakov E.L., Lebedenko L.A., Al'bert V.D. *Razrabotat' sistemu meropriyatii i opredelit' normativy po srokam sbora, pererabotki, khraneniuyu i podgotovki semyan sosny i eli k posevu, obespechivayushchie 90%-nyuyu vskhozhest' pri vyrashchivaniy seyantsev s zakrytymi kornyami v usloviyakh teplits. Zaklyuchitel'nyy otchet* [To develop a system of measures and to determine the standards for the collection, processing, storage and preparation of pine and spruce seeds for sowing, providing 90 % germination when growing seedlings with closed roots in greenhouses. Final report]. Leningrad, LenNILH, 1985, 105 p.
- [3] Mukhin V.D. *Drazhirovaniye semyan sel'skokhozyaystvennykh kul'tur* [Pelleting of agricultural seeds]. Moscow, Kolos Publ., 1971, 93 p.
- [4] Akimov R.Yu., Ostroshenko V.V., Pak A.V. *Vyavlenie komponentov pri drazhirovaniy semyan khvoynykh drevesnykh porod* [Identification of components during pelleting of seeds of coniferous tree species]. *Lesa i lesnoe khozyaistvo v sovremennykh usloviyakh* [Forests and forestry in modern conditions], 2011, pp. 79–81.
- [5] Zamyshlyayev S.V., Ostroshenko V.Yu., Inshakov S.V., Ostroshenko V.V. *Obzor ustroystv dlya drazhirovaniya semyan sel'skokhozyaystvennykh i lesnykh kul'tur* [The overview of devices for pelleting seeds of agricultural and forest crops]. *Agrarniy vestnik Primor'ya* [Agrarian Bulletin of Primorye], 2017, no. 2 (6), pp. 17–20.
- [6] Kopytkov V.V. *Primeneniye kompozitsionnykh polimernykh preparatov dlya drazhirovaniya semyan khvoynykh porod* [The use of composite polymer preparations for pelleting coniferous seeds]. *Doklady Natsional'noi akademii nauk Belarusi* [Reports of the National Academy of Sciences of Belarus], 2013, no. 57 (2), pp. 119–123.
- [7] Ostroshenko V.V., Ostroshenko L.Yu., Akimov R.Yu. *Normirovaniye rabot po drazhirovaniyu semyan khvoynykh drevesnykh porod* [The rationing of works on pelleting seeds of coniferous tree species]. *Vestnik KrasGAU* [Bulletin KrasGAU], 2013, no. 3, pp. 139–142.
- [8] Usov V.N., Ostroshenko V.V., Akimov R.Yu. *Issledovaniye tekhnologicheskogo protsessa drazhirovaniya semyan sosny koreiskoi (Pinus koraiensis Siebold et Zucc.) na elektromekhanicheskom drazhiratore* [Study of the technological process of pelleting seeds of Korean pine (*Pinus koraiensis* Siebold et Zucc.) on an electromechanical pelletizer]. *Vestnik KrasGAU* [Bulletin KrasGAU], 2015, no. 9, pp. 145–149.
- [9] Budkov V.A., Pukhal'skaya N.V. *Drazhirovaniye semyan sel'skokhozyaystvennykh kul'tur* [The encapsulation of the agricultural crops]. *Plodorodie* [Fertility], 2009, no. 2 (47), pp. 17–19.
- [10] Bykovskiy Yu.A., Yanchenko A.V., Azopkov M.I., Golubovich V.S., Fefelova S.V., Bagrov R.A. *Perspektivnye preparaty dlya inkrustrirovaniya semyan stolovnykh korneplodov* [Perspective preparations for incrustation of root crops seeds]. *Kartofel' i ovoshchi* [Potato and vegetables], 2018, no. 5, pp. 16–19.
- [11] Kukharev O.N., Grishin G.E. *Effektivnost' drazhirovaniya semyan sakharnoy svekly* [The efficiency of pelleting sugar beet seeds]. *Niva Povolzh'ya* [Volga Region Farmland], 2012, no. 1 (22), pp. 73–77.
- [12] Mikheev D.A. *Drazhirovaniye kak perspektivnyy metod predposevnoy obrabotki semyan* [Coating as a promising method of pre-sowing seed treatment]. *Nauchno-tekhnicheskii progress v sel'skokhozyaystvennom proizvodstve: materialy Mezhdunar. nauch.-prakt. konf.* [Scientific and technical progress in agricultural production: materials of the Intern. scientific-practical Conf.], Minsk, October 10–11, 2012. In 3 vol. / ed. P.P. Kazakevich. Minsk: RUE «Scientific and Production Center of the National Academy of Sciences of Belarus for Agricultural Mechanization», 2012, v. 2, pp. 261–264.

- [13] Pavlov L.V. Paraskova O.T., Mukhin V.D., Zhil'tsov D.V. *Tekhnicheskie usloviya dlya dra-zhironiya semyan ovoshchnykh kul'tur* [Technical conditions for pelleted vegetable seeds planting]. *Kartofel' i ovoshchi* [Potato and vegetables], 2008, no. 2, p. 24.
- [14] Serbiy E.K. *Prirodnye komponenty dlya drazhironiya semyan* [Natural components for seed coating]. *Nauchno-tekhnikeskii progress v sel'skokhozyaystvennom proizvodstve: materialy Mezhdunar. nauch.-prakt. konf.* [Scientific and technical progress in agricultural production: materials of the Intern. scientific-practical Conf.], Minsk, October 10–11, 2012. In 3 vol. / ed. P.P. Kazakevich. Minsk: RUE «Scientific and Production Center of the National Academy of Sciences of Belarus for Agricultural Mechanization», 2012, v. 2, pp. 253–261.
- [15] Fefelova S.V., Men'shikh A.M., Yanchenko A.V. *Drazhironie semyan morkovi i svekly — vazhnyy element resursoberegayushchikh tekhnologiy* [Encapsulation of seeds is an important element of resource-saving technologies]. *Kartofel' i ovoshchi* [Potato and vegetables], 2019, no. 2, pp. 36–38.
- [16] Brockwell J. Studies on seed pelleting as an aid to legume seed inoculation. Coating materials, adhesives, and methods of inoculation. *Australian J. of Agricultural Research*, 1962, v. 13, no. 4, pp. 638–649.
- [17] Devi J.R., Selvaraj J.A. Seed pelleting and soil types on germination and vigor of seeds in ash gourd and ribbed gourd. *Madras Agricultural J.*, 1995, v. 82, no. 2, pp. 75–77.
- [18] Fraser J.W., Adams M.J. The effect of pelleting and encapsulation on germination of some conifer seeds native to Ontario. Canadian Forestry Service, Great Lakes Forest Research Centre, Sault Ste. Marie, Ontario. Information Report, 1980, O-X-319, p. 17.
- [19] Moëgne-Loccoz Y., Naughton M., Higgins P., Powell J., O'Connor B., O'Gara F. Effect of inoculum preparation and formulation on survival and biocontrol efficacy of *Pseudomonas fluorescens* F113. *J. of Applied Microbiology*, 1999, v. 86, no. 1, pp. 108–116.
- [20] Rudolf P.O. A test of pelleted Jack Pine seed. *J. of Forestry*, 1950, v. 48, no. 10, pp. 703–704.
- [21] Ryu Ch., Kim J., Choi O., Kim S., Park Ch. Improvement of biological control capacity of *Paenibacillus polymyxa* E681 by seed pelleting on sesame. *Biological Control*, 2006, v. 39, no. 3, pp. 282–289.
- [22] Srimathi P., Mariappan N., Sundaramoorthy L., Paramathma M. Effect of organic seed pelleting on seed storability and quality seedling production in biofuel tree species. *J. of Horticulture and Forestry*, 2013, v. 5, no. 5, pp. 68–73.
- [23] Taylor A.G., Eckenrode C.J., Straub R.W. Seed coating technologies and treatments for onion: challenges and progress. *Hort Science*, 2001, v. 36, no. 2, pp. 199–205.
- [24] Yadav M.S., Sharma S.K., Rajora M.P. Effect of pelleting material on seed germination and grassland productivity. *Range Management & Agroforestry*, 2000, v. 21, no. 2, pp. 121–127.
- [25] Doev S.K. *Matematicheskie metody v lesnom khozyaystve* [Mathematical methods in forestry]. Ussuriysk, PGSHA, 2001, 124 p.

Authors' information

Ostroshenko Valentina Yur'evna  — Junior Researcher at the Dendrology Laboratory, Federal Scientific Center of the East Asia Terrestrial Biodiversity, Far Eastern Branch of the Russian Academy of Sciences, OstroshenkoV@mail.ru

Ostroshenko Lyudmila Yur'evna — Cand. Sci. (Biology), Associate Professor, of the Primorskiy State Agricultural Academy, OstroshenkoV@mail.ru

Received 08.06.2021.

Approved after review 01.07.2021.

Accepted for publication 06.12.2021.

Вклад авторов: все авторы в равной доле участвовали в написании статьи
Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов
Authors' Contribution: All authors contributed equally to the writing of the article
The authors declare that there is no conflict of interest

ВЛИЯНИЕ ПОГОДНЫХ УСЛОВИЙ НА МЕДОСБОР В ПЕРИОД ЦВЕТЕНИЯ ЛИПЫ МЕЛКОЛИСТНОЙ В УДМУРТСКОЙ РЕСПУБЛИКЕ

М.В. Якимов✉, Р.Р. Абсалямов, Д.В. Якимов

ФГБОУ ВО «Ижевская ГСХА», 426069, г. Ижевск, ул. Студенческая, д. 11

lesovod27@yandex.ru

Приведены результаты исследований производительности нектара липовых древостоев на территории Удмуртской Республики, относящихся к району южно-таежных лесов таежной зоны европейской части Российской Федерации. На основании данных, полученных на учетных пасеках и контрольных ульях, выявлено изменение привеса меда в зависимости от погодных условий липовых насаждений. Проведено сравнение выхода меда в разных учетных пасеках.

Ключевые слова: древостой липы, цветение липы, привес нектара, учетные пасеки, средняя температура

Ссылка для цитирования: Якимов М.В., Абсалямов Р.Р., Якимов Д.В. Влияние погодных условий на медосбор в период цветения липы мелколистной в Удмуртской Республике // Лесной вестник / Forestry Bulletin, 2022. Т. 26. № 1. С. 41–49. DOI: 10.18698/2542-1468-2022-1-41-49

В Удмуртской Республике наибольшую значимость среди направлений по использованию лесов для осуществления сельскохозяйственной деятельности имеет пчеловодство.

Пчеловодство является важной отраслью сельского хозяйства и имеет хорошие перспективы развития при использовании лесов в соответствии со ст. 38 Лесного кодекса РФ. Успешное развитие пчеловодства, увеличение числа пчелиных семей и количества пасек наряду с высокими сборами меда возможны только в условиях хорошей и устойчивой кормовой базы для пчел [1].

Перспективы развития пчеловодства в Удмуртской Республике крайне высоки. Этот уникальный технологический процесс обладает законодательной основой, современными технологиями производства пчеловодческой продукции, сырьевым потенциалом насаждений липы мелколистной. Существующий медовый запас позволяет существенно увеличить количество пчелосемей. Тем не менее, развитие пчеловодства тормозят трудности сбыта меда [2].

Медосборные условия и медоносные ресурсы с течением времени претерпевают изменения и часто не в лучшую сторону. Успешное сохранение биоразнообразия как условие сохранения устойчивости экосистем и биосферы в целом возможно только на основе всестороннего изучения составляющих ее видов и популяций [3].

Удмуртия расположена между следующими географическими координатами 56°00' и 58°30' с. ш., 51°15' и 54°30' в. д. — в восточной части Восточно-Европейской равнины в бас-

сейнах рек Камы и Вятки. На западе и севере Удмуртия граничит с Кировской областью РФ, на востоке — с Пермским краем, на юго-востоке — с Республикой Башкортостан, а на юге граница Удмуртии проходит вдоль территории Республики Татарстан.

Среднегодовая температура воздуха составляет около +1 °С в северо-восточных районах и около +2,5 °С в юго-западных. На территории Удмуртии возможны оттепели в любой из зимних месяцев, преимущественно в ноябре и марте. Продолжительность периода без заморозков изменяется по территории Удмуртии в среднем от 110 дней на севере до 135 дней в южных районах, продолжительность безморозного периода почв на две-три недели короче.

В среднем за год на большей части территории Удмуртии выпадает 450...500 мм осадков, менее увлажнены юго-восточные районы. Почти ежегодно наблюдаются суховеи и засухи.

В течение года преобладает юго-западное направление ветра, однако летом его сменяет северо-западное. Средняя годовая скорость ветра составляет 3–4 м/с [4].

Медоносные растения лесного фонда занимают 2034,8 тыс. га покрытых лесными насаждениями площадей, т. е. 46,7 % всей площади Удмуртской Республики. Более подробное изучение видового разнообразия древесного состава покрытых лесом площадей показало разделение этих насаждений на хвойные (58,2 %) и мягколиственные (41,8 %). Важный медонос лесного фонда Удмуртской Республики — липа мелколистная, которая занимает 4 % площади республики и характеризуется возможным медовым запасом в количестве 37,89 тыс. т, что

составляет 94,4 % медового запаса всех лесных площадей [8]. Потенциальный медовый запас лесных насаждений в целом составляет 40 137 т, что позволяет содержать 111,5 тыс. пчелиных семей, хотя на сегодняшний день существует только около 50 тыс. пчелиных семей. Медоносные растения лесного фонда Удмуртской Республики составляют неотъемлемую часть медового конвейера для медоносных пчел. Как указано выше, важный медонос лесного фонда Удмуртской Республики — липа мелколистная, занимающая 39,7 % площади всех пыльценосов и медоносов, произрастающих в лесных насаждениях на территории Удмуртской Республики [5].

Липа мелколистная (*Tilia cordata* Mill.) относится к семейству Мальвовые (Malvaceae). Ранее род Липа обычно выделялся в самостоятельное семейство Липовые (Tiliaceae). В большом количестве род встречается в парках, придорожных посадках и лесопосадках [6].

Липа мелколистная занимает большой ареал в зоне широколиственных лесов европейской части РФ, распространяясь до Урала. Встречается в Крыму и на Кавказе. Порода — теплолюбивая, тем не менее, произрастает даже в условиях Ленинградской обл. [7]. Большие площади липа мелколистная (сердцевидная) занимает в Башкортостане и Среднем Поволжье.

Древостои липы мелколистной распространены на всей территории Удмуртской Республики, но при продвижении на север они редуют и перемещаются преимущественно в подлесок. Максимальные площади располагаются на юге республики — в Завьяловском и Кизнерском лесничествах [8].

Основную часть насаждений липы составляют средневозрастные особи, занимающие около 40 тыс. га, а также спелые и перестойные — около 20 тыс. га. В целом площади липняков не уменьшаются. Средний возраст древостоев липы на территории Удмуртии 47 лет, в основном это средневозрастные, спелые и перестойные насаждения [9].

На долю высокополнотных насаждений (0,8 и выше) приходится 57,6 га или 20 % площади всех липняков. Насаждения с полнотой 0,5–0,7 составляют 135 га (46,9 %). В основном преобладают липовые насаждения с полнотой 0,7 [10]. Преобладание данных полнот благоприятствует успешному развитию пчеловодства [11].

Отметим существенную разницу в цветении и нектаропродуктивности деревьев, растущих свободно и в сомкнутых естественных древостоях, откуда следует логический вывод о возможности и целесообразности создания липняков целевого назначения в зоне действия пасек [12].

На основании проведенных исследований и анализа данных по расположению насаждений

липы и их распределению по группам возраста, а также в результате изучения других медоносных ресурсов можно сделать следующие выводы:

- лесной фонд Увинского и Можгинского лесничеств располагают значительной кормовой базой для пчеловодства на основе медоносного растения липа мелколистная (*Tilia cordata* Mill);
- в исследуемом массиве преобладают средневозрастные насаждения липы, которые занимают примерно 37 % лесопокрытой площади, что является благоприятным фактором для перспективного развития пчеловодства в данной местности;
- на исследуемой территории возможно содержание 996 пчелиных семей, которые будут способны принести существенную прибыль — 11 млн руб. за один сезон [13].

На исследуемой территории широколиственные леса представлены главным образом липняками. К сожалению, от климаксовых липовых автохтонных сообществ мало что осталось. О них нам напоминают лишь отдельно растущие довольно крупные (высотой 35...40 м), деревья в южной и западной топической средах. Основная часть имеющих липняков находится в стадии демутации, на месте некогда сплошных рубок хвойно-широколиственных лесов с широколиственным подлеском и широколиственными ценозами. Возраст их примерно 40...60 лет. Часто в примеси, нередко и в первом ярусе, встречаются клен платановидный и вяз шершавый, довольно редко — вяз гладкий и даже обнаружены одиночные дубы в гослесфонде западной топической среды, приуроченные к плавным понижениям рельефа [14].

В окрестностях г. Ижевска есть небольшие липовые леса паркового типа. Следует отметить, что липа в Удмуртии распространяется до самых северных границ, причем преимущественно на повышенных участках рельефа.

Липа — очень красивое дерево, устойчивое к загазованности атмосферы диоксидом углерода CO₂, широко используется в озеленении.

Возраст деревьев этого вида ограничен обычно 150 годами, правда, отдельные особи живут до 350...500 лет. Ее цветки имеют характерный мощный аромат и богаты нектаром. Липовый мед (липец) имеет большую ценность: в нем содержится 36,5 % глюкозы, 39,3 % левулезы (фруктозы) [15].

Настоящий липец обычно бесцветный, но иногда бывает светло-желтым и даже зеленовато-серым. Липовый мед содержит много витаминов и считается лучшим лечебным медом. Ему присущ тонкий аромат и приятный вкус, в сотах он надолго сохраняет стерильность и высокие натуральные качества. Медосбор зависит от многих факторов [16, 17], в том числе и природных.

В средней полосе РФ период цветения липы приходится на июнь — июль, от 5 дней (в засушливые

годы) до 2,5 недель (во влагообеспеченные). Цвет пыльцы светло-желто-зеленый. Продолжительность цветения зависит от погоды: чем она суше, тем быстрее завершается этот период. Цветки липы выделяют нектар лучше всего на хорошо освещенных деревьях, произрастающих на богатых нормально увлажненных почвах (50...60 % относительно полной влагоемкости), при 24...26 °С и относительной влажности воздуха 60...79 % [18].

По данным В.Н. Коржа [19], выделение нектара липой лучше всего происходит при 22...24 °С и относительной влажности воздуха 54...62 %, в течение дня постепенно нарастает и к 18.00 доходит до максимума. Отмечено, что обильное выделение нектара наблюдается через 4–5 ч после грозы, когда стоит теплая и влажная погода.

Р.В. Кайгородов, Т.С. Кулешова [20] изучали аминокислотный состав медоносных растений на примере четырех аминокислот, наиболее часто присутствующих в нектаре и меде. В нектаре липы мелколистной отмечено большое содержание лейцина и минимальное количество гистидина. Аминокислоты в нектаре растений служат важным источником азота для насекомых-опылителей.

Средняя медопродуктивность одного дерева липы мелколистной в РФ составляет 3–4 кг, мощно развитое дерево может дать до 10 кг меда, а 1 га насаждений — до 1000 кг. При этом медосбор с липы неустойчив, поскольку она очень чувствительна к погодным условиям [21].

Наблюдения показали, что липа выделяет нектар даже во время дождя, но не в таком объеме, как в ясную сухую погоду, поэтому высокие медосборы можно получать только в годы с благоприятной для этого летней погодой. Влиянию абиотических факторов на липу мелколистную и опыляющих ее медоносных пчел посвящено достаточно много научных исследований [22, 23], однако особенности влияния метеорологических условий на интенсивность медосбора в условиях Удмуртии изучены недостаточно.

Цель работы

Цель работы — изучение влияния погодных факторов (температуры воздуха, осадков) на эффективность нектаросбора с липы мелколистной в Удмуртской Республике.

Материалы и методы

Исследования проводили в течение 4-х лет (2017–2020 гг.) в Увинском и Можгинском лесничествах Удмуртской Республики, на пяти стационарных и на двух перевозных пасеках.

Общая площадь Увинского лесничества составляет 148 484 га. Земли, покрытые лесной растительностью — 135 568 га [24] (табл. 1, 2).

Т а б л и ц а 1

Параметры использования лесов для развития пчеловодства в Увинском лесничестве

Parameters of the forests use for the development of beekeeping in Uvinskoye forestry

Медонос	Площадь насаждений, га	Медопродуктивность, кг/га	Возможное содержание количества пчелосемей, шт.
Липа	4575	700	24 146
Травы	1310	150	

Т а б л и ц а 2

Параметры использования лесов для развития пчеловодства в Можгинском лесничестве

Parameters of the forests use for the development of beekeeping in Mozhginsky forestry

Медонос	Площадь насаждений, га	Медопродуктивность, кг/га	Возможное содержание количества пчелосемей, шт.
Липа	2709	700	15 111
Травы	462	150	

Площадь Можгинского лесничества — 85 171 га. Земли, покрытые лесной растительностью — 77 325 га [24].

В ходе исследований проведены наблюдения за медосбором медоносных пчел (порода среднерусская) в период цветения липы мелколистной. Пчеловоды-практики утверждают, что чистый липовый мед собрать практически невозможно. Однако если вывезти пасеку в место, где массово цветут липы, то можно получить чистый липовый мед, близкий продукту, снятому с одного медоноса.

В рассматриваемом случае все пасеки максимально приближены к липнякам, а приятный характерный запах липы и обножка пчел грязновато-желто-зеленого цвета подтверждают факт, что массовый медосбор происходил именно с липы [25].

Стационарные пасеки № 3 и 4 расположены возле лесотаксационных выделов, которые отнесены к особо защитным участкам (ОЗУ) — произрастания липы медоносной, общей площадью 43,6 га. Учетные пасеки № 2 и 5 перевозного типа располагали ближе к лесным насаждениям с преобладанием липы мелколистной. Учетные пасеки № 1, 6, 7 — стационарного типа, расположены в населенных пунктах с единичными насаждениями липы. При проведении исследований по расчету и составлению кормового баланса пасеки в течение пяти лет учитывали ежедневный привес нектара.

Метеорологические показатели учитывали по собственным наблюдениям, а также использовали статистические данные метеостанций. В период цветения липы ежедневно фиксировали температуру воздуха в дневное время — в 12.00.

После определения площадей отдельных угодий, входящих в радиус продуктивного лета пчел 3 км, можно вычислить в определенных случаях медовый запас данной пасеки. При плане получения по 30 кг товарного меда и

с учетом потребления меда в течение лета и зимы около 60 кг каждая пчелиная семья должна собрать не менее 90 кг меда. Часть этого корма расходуется пчелами во время полета и в течение дня в улье, поэтому не учитывается показаниями контрольного улья [26]. По показаниям контрольных ульев, в период главного медосбора в условиях Удмуртской Республики в благоприятные годы каждая семья пчел собирает до 20...40 кг меда [27].

Т а б л и ц а 3

Привес нектара на контрольных ульях (кг) в зависимости от погодных условий в 2017 г.
Nectar gain on control hives (kg) depending on weather conditions in 2017

Дата	Погодные условия (температура, °С)	Номер контрольного улья							Всего
		№ 1	№ 2	№ 3	№ 4	№ 5	№ 6	№ 7	
Июнь									
26.06.2017	+19	2,6	2,2	2,1	3,2	2,3	3,2	2,6	18,2
27.06.2017	+17, кратковременный дождь	2,8	4,8	5,6	5,1	5,8	4,3	4,5	32,9
28.06.2017	+22	3,5	7,1	6,2	9,2	9,6	6,8	6,2	48,6
29.06.2017	+21	4,2	8,7	6,9	9,8	10,2	7,6	7,1	54,5
30.06.2017	+16	2,3	5,8	4,7	6,6	5,8	4,2	3,2	33,5
Июль									
01.07.2017	+14, ливень	—	—	—	—	—	—	—	—
02.07.2017	+17, кратковременный дождь	4,1	6,1	5,5	6,3	5,5	4,1	4,2	35,8
03.07.2017	+17, ливень	—	—	—	—	—	—	—	—
04.07.2017	+21	2,7	3,7	2,8	3,6	3,2	1,9	1,6	19,5
05.07.2017	+17, ливень	—	—	—	—	—	—	—	—
06.07.2017	+13	—	2,3	2,1	1,7	2,8	—	—	8,9
07.07.2017	+15	—	—	—	—	1,1	—	—	1,1
	Итого	23,1	40,7	35,9	45,5	46,3	32,1	29,4	253

Т а б л и ц а 4

Привес нектара на контрольных ульях (кг) в зависимости от погодных условий в 2018 г.
Nectar gain on control hives (kg) depending on weather conditions in 2018

Дата	Погодные условия (температура, °С)	Номер контрольного улья							Всего
		№ 1	№ 2	№ 3	№ 4	№ 5	№ 6	№ 7	
Июнь									
30.06.2018	+26	2,2	1,8	2,2	2	2,1	2	1,8	14,1
Июль									
01.07.2018	+30, облачно	4,7	6,1	5,2	7,2	5,6	3,2	4,2	36,2
02.07.2018	+32	4,9	6,7	5,9	6,6	4,2	3,6	3,1	35
03.07.2018	+30	5,8	6,8	5,7	4,6	5,8	3,2	2,6	34,5
04.07.2018	+24, гроза, ливень	—	—	—	—	—	—	—	—
05.07.2018	+24	2,1	3,1	2,5	2,3	3,5	3,1	2,2	18,8
06.07.2018	+24	5,2	7,2	6,9	5,6	6,1	4,2	3,8	39
07.07.2018	+23	4,7	4,7	5,8	5,6	6,2	3,9	3,6	34,5
08.07.2018	+26	3,1	4,1	3,8	4,5	5,5	3,6	3,3	27,9
09.07.2018	+24, гроза, ливень	—	—	—	—	—	—	—	—
10.07.2018	+22	1,3	2,3	2,8	3,3	4,1	1,9	2,9	18,6
11.07.2018	+20	—	1,8	1,2	2	3,2	—	—	8,2
12.07.2018	+22	—	—	—	—	1,2	—	—	—
	Итого	34	42,8	40,8	41,7	43,1	28,7	27,5	258,6

Результаты и обсуждение

Многолетний анализ продуктивности пасек, расположенных в Удмуртии, показал, что сбор меда с липы достигал 36,2 кг, а в благоприятные годы — 53,6 кг на семью. По проведенным нами исследованиям, максимальный дневной принос нектара пчелами в Удмуртской Республике достигает 10,1 кг (контрольная пасека № 5).

В 2019–2020 гг. цветение липы мелколистной начиналось в установленные сроки (с I декады июля). За учетный период цветения липы (2017–2020 гг.) общий привес меда, по данным с одного контрольного улья, варьировал от 23 до 46,6 кг. Среднесуточная температура, осадки в виде дождей, сила пчелиной семьи существенно отражались на интенсивности медосбора (табл. 3–6).

Таблица 5

Привес нектара на контрольных ульях в зависимости от погодных условий в 2019 г.

Nectar gain on control hives depending on weather conditions in 2019

Дата	Погодные условия (температура, °C)	Номер контрольного улья							Всего
		№ 1	№ 2	№ 3	№ 4	№ 5	№ 6	№ 7	
Июнь									
23.06.2019	+28	1,2	2,2	2,2	2	2,5	2,1	1,8	14
24.06.2019	+25	2,1	2,5	2,2	2,2	3,6	2,6	1,8	17
25.06.2019	+20, кратковременный дождь	2,6	3,1	2,9	2,6	3,9	2,8	2,1	20
26.06.2019	+17, кратковременный дождь	3,8	3,7	3,2	3,2	4,2	3,2	2,4	23,7
27.06.2019	+16, ливень	–	–	–	–	–	–	–	–
28.06.2019	+17, облачно	2,1	2,6	2,5	2,3	2,8	2,5	3,1	17,9
29.06.2019	+23, кратковременный дождь	5,2	4,8	4,9	5,6	4,2	4,1	3,8	32,6
30.06.2019	+15, ливень	–	–	–	–	–	–	–	–
Июль									
01.07.2019	+18	2,1	3,6	2,8	2,5	3,2	1,5	2,2	17,9
02.07.2019	+17	1,6	3,2	2,2	2,8	2,2	1,2	3,2	16,4
03.07.2019	+23	2,3	4,1	3,2	3,3	3,1	2,4	3	21,4
04.07.2019	+21	–	2,3	1,9	2,8	2,6	–	–	9,6
05.07.2019	+18	–	–	–	–	1,9	–	–	1,9
	Итого	23	32,1	28	29,3	34,2	22,4	23,4	192,4

Таблица 6

Привес нектара на контрольных ульях (кг) в зависимости от погодных условий в 2020 г.

Nectar gain on control hives (kg) depending on weather conditions in 2020

Дата	Погодные условия (температура, °C)	Номер контрольного улья							Всего
		№ 1	№ 2	№ 3	№ 4	№ 5	№ 6	№ 7	
Июль									
02.07.2020	+16	2,2	1,8	2,2	2	2,1	2	1,8	14,1
03.07.2020	+25	2,7	2,1	2,2	3,2	2,6	2,2	2,2	17,2
04.07.2020	+20, ливень	–	–	–	–	–	–	–	–
05.07.2020	+24	3,8	3,8	3,7	4,6	3,8	3,2	3,2	26,1
06.07.2020	+22, ливень	–	–	–	–	–	–	–	–
07.07.2020	+29	4,1	6,1	5,5	6,3	5,5	4,1	4,2	35,8
08.07.2020	+31	5,2	7,2	6,9	5,6	6,1	4,2	3,8	39
09.07.2020	+32	4,7	4,7	5,8	5,6	6,2	3,9	3,6	34,5
10.07.2020	+32	3,1	4,1	3,8	4,5	5,5	3,6	3,3	27,9
11.07.2020	+26	1,6	3,6	3,2	3,8	5,2	3,4	3,2	24
12.07.2020	+27	2,3	2,3	3,2	3,3	4,1	2,9	2,9	21
13.07.2020	+29	–	2	2,7	2,4	3,2	2,2	2,3	14,8
14.07.2020	+33	–	1,2	1,8	2,1	2,3	–	–	7,4
15.07.2020	+34	–	–	–	1,2	1,6	–	–	2,8
	Итого	29,7	38,9	41	44,6	48,2	31,7	30,5	263,6

В среднем в 2017 г. ежедневный привес нектара составил 4,7 кг при средней температуре днем (в 12.00) +18 °С. Минимальный привес нектара не принят в расчет, так как точно не известно, от каких цветков идет нектар. Максимальный суточный привес нектара составил 10,2 кг — учетная пасека № 5. Максимальный привес нектара учитывается в связи с тем, что в Удмуртской Республике максимальное нектаровыделение происходит во время цветения липы мелколистной. Максимальный итоговый привес составил 46,3 кг — учетная пасека № 5. Данная пасека является перевозной, а поскольку она расположена в липовом насаждении, то имеет максимальный показатель.

Во время сильных дождей учет медосбора контрольных ульев не вели, так как подъездные пути были размыты, а также ульи были сырые (что могло увеличить погрешность измерений), и медосбор был невелик.

В 2018 г. средний ежедневный привес нектара составил 3,9 кг при средней температуре днем (в 12.00 ч.) +25 °С. Максимальный привес нектара составил 7,2 кг — учетные пасеки № 2 и 4. Учетная пасека № 2 стационарного типа расположена возле таксационных выделов, отнесенных к особо защитным участкам — произрастания липы медоносной. Учетная пасека № 4 перевозного типа, расположена в липовом насаждении. Максимальный итоговый привес составил 43,1 кг — учетная пасека № 5.

В 2019 г. среднесуточный привес нектара составил 2,8 кг при средней температуре днем (в 12.00) +20,2 °С. Минимальный итоговый привес нектара составил 22,4 — учетная пасека № 6. Максимальный привес нектара — 34,2 кг на учетной пасеке № 5. Из табл. 5 видно, что в 2019 г. выпало много осадков в виде дождя. Это сказалось на итоговом привесе нектара 192,4 кг, он оказался ниже ожидаемого.

В 2020 г. среднесуточный привес нектара составил 3,9 кг при средней температуре днем (в 12.00) +26,6 °С. Минимальный итоговый привес нектара составил 29,7 на учетной пасеке № 1. Максимальный итоговый привес нектара составил 48,2 кг на учетной пасеке № 5. Общий итоговый привес семи контрольных ульев составил 263,6 кг.

Выводы

В результате проведенных нами исследований можно сделать вывод, что погодные условия имеют важное значение в нектароносности липы мелколистной. При благоприятной погоде (в теплые дни и ночи) липа цветет определенный период времени, обычный для региона. Во время сильных проливных дождей учет нектара


не проводили, так как из-за сырых, мокрых ульев был малый привес, и повышалась возможность ошибки в измерениях. Наибольший итоговый привес получился в 2020 г., минимальный — в 2019 г. Это объясняется дождливой погодой в 2019 г. Однако по данным рынка средняя цена за 1 кг меда в 2019 г. составила 550 руб., в 2020 г. — 370 руб. Поэтому эффективность ведения пчеловодства не могут снизить плохие погодные условия. В Удмуртской Республике липа мелколистная является одним из лучших медоносов даже при неблагоприятных условиях и дает до 80 % товарного меда.

Список литературы

- [1] Самсонова И.Д. Оценка медоносных ресурсов на землях лесного фонда Ростовской области // ИВУЗ Лесной журнал, 2015. № 1 (343). С. 45–53.
- [2] Якимов М.В., Бусоргина Н.А. Использование лесов для ведения сельского хозяйства (пчеловодства) // Научные инновации в развитии отраслей АПК: матер. Междунар. науч.-практ. конф. В 3 т. Ижевск, 18–21 февраля 2020 г. Ижевск: Изд-во Ижевской ГСХА, 2020. С. 154–156.
- [3] Самсонова И.Д. Медопродуктивность растительных формаций на землях лесного фонда степного Придонья // ИВУЗ Лесной журнал, 2017. № 4. С. 69–83.
- [4] Непейвода С.Н. Хозяйственно-полезные и биологические особенности медоносных пчел Удмуртской Республики: автореф. дис. ... канд. с.-х. наук. Ижевск: Изд-во Ижевской ГСХА, 2008. 22с.
- [5] Любимов А.И., Колбина Л.М., Кислякова Е.М., Воробьева С.Л. Медовый запас лесных насаждений Удмуртской Республики // Известия Горского государственного аграрного университета, 2015. Т. 52. № 3. С. 101–104.
- [6] Золотухин А.И. Лесная растительность и эколого-биологическая характеристика наиболее распространенных растений окрестностей г. Балашова // Балашовский край: краеведческий альманах, 2001. № 1 (2). С. 49–58.
- [7] Нгуен Тхи Тху Ха, Грязькин А.В., Беляева Н.В. Медоносы Ленинградской области // Научное обозрение, 2013. № 6. С. 18–21.
- [8] Якимов М.В., Абсалямов Р.Р. Анализ липняков в Удмуртской Республике // Современному АПК — эффективные технологии: матер. Междунар. науч.-практ. конф. Ижевск, 11–14 декабря 2018 г. Ижевск: Изд-во Ижевской ГСХА, 2019. С. 345–348.
- [9] Якимов М.В., Бусоргина Н.А. Основы ведения специального хозяйства в липняках целевого лесопользования // Аграрная наука — сельскохозяйственному производству: матер. Междунар. науч.-практ. конф. Ижевск, 12–15 февраля 2019 г. Ижевск: Изд-во Ижевской ГСХА, 2019. С. 205–208.
- [10] Якимов М.В. Лесоводственные методы формирования нектарных липняков в Удмуртской Республике // Инженерные кадры — будущее инновационной экономики России, 2019. № 2. С. 117–121.
- [11] Соколов П.А. Состояние и теоретические основы формирования липняков. Йошкар-Ола: Мар. кн. изд-во, 1978. 208 с.
- [12] Котов М.М., Кузнецова Е.И., Суханова Л.В. Семенная продуктивность липы мелколистной как показатель нектаропродуктивности // ИВУЗ Лесной журнал, 1997. № 4. С. 34–37.

- [13] Якимов М.В., Абсалямов Р.Р. Липняки, как медопродуктивная база для пчеловодства в Удмуртской Республике // Интеграционные взаимодействия молодых ученых в развитии аграрной науки: матер. Междунар. науч.-практ. конф. молодых ученых, Ижевск, 04–05 декабря 2019 г. В 3 т. Ижевск: Изд-во Ижевской ГСХА, 2020. С. 370–375.
- [14] Шадрин В.А. Проявление зональности растительного покрова Удмуртской Республики через ее локальные флоры // Развитие сравнительной флористики в России: вклад школы А.И. Толмачева: матер. VI рабоч. совещ. по сравнит. флористике, Сыктывкар: Коми научный центр УрО Российской АН, 2004. С. 69–77.
- [15] Хайретдинов А.Ф., Султанова Р.Р. Минеральный состав липового меда // Пчеловодство и апитерапия, 2004. № 3. С. 34–35.
- [16] Ларионова О.С., Маннапов А.Г. Влияние микробиологического препарата апик на микробиоценоз пчел, биологические показатели и результаты зимовки // Вестник Саратовского госагроуниверситета им. Н.И. Вавилова, 2011. № 10. С. 24–28.
- [17] Легочкин О.А., Ларионова О.С., Маннапов А.Г. Организация семей-медовиков при запланированном роении пчел // Вестник Саратовского госагроуниверситета им. Н.И. Вавилова, 2012. № 4. С. 26–29.
- [18] Мадебейкин И.Н., Мадебейкин И.И. Еще раз о липе // Пчеловодство, 2012. № 7. С. 20–21.
- [19] Корж В.Н. Основы пчеловодства. Ростов-на-Дону: Феникс, 2008. 192 с.
- [20] Кайгородов Р.В., Кулешова Т.С. Видовые эколого-биохимические особенности нектара медоносных растений // Современные проблемы науки и образования, 2015. № 3. С. 586.
- [21] Пчеловодство / сост. И.Д. Еськов, Е.Е. Критская. Саратов: Саратовский государственный аграрный университет им. Н.И. Вавилова, 2013. 164 с.
- [22] Воробьева С.Л. Влияние абиотических факторов на продуктивность пчел в условиях Удмуртской Республики. URL: <http://www.science-education.ru/121-17806> (дата обращения 06.05.2021).
- [23] Панков Д.М. Зависимость опыления медоносов от погодных условий // Современные проблемы науки и образования, 2008. № 6. С. 75–79.
- [24] Лесохозяйственный регламент Увинского лесничества, 2018. URL: http://www.minpriroda-udm.ru/index.php?option=com_content&view=article&id=126&Itemid=233 (дата обращения 06.05.2021).
- [25] Мельников А.В., Еськов И.Д., Критская Е.Е. Влияние абиотических факторов на медосбор в период цветения липы мелколистной в степной зоне нижнего Поволжья // Аграрный научный журнал, 2016. № 10. С. 24–30.
- [26] Якимов М.В., Абсалямов Р.Р., Якимов Д.В., Воробьева С.Л. Состояние естественных медоносных ресурсов Удмуртской Республики // Пчеловодство, 2019. № 3. С. 30–32.
- [27] Корепанов Д.А., Абсалямов Р.Р., Абсалямова С.Л., Альков Н.К., Украинцев В.С. Недревесные ресурсы леса Удмуртской Республики: монография. Ижевск: Изд-во Ижевской ГСХА, 2008. 79 с.

Сведения об авторах

Якимов Михаил Витальевич  — аспирант кафедры лесоустройства и экологии, ФГБОУ ВО «Ижевская ГСХА», lesovod27@yandex.ru

Абсалямов Рафаэль Рамзиевич — канд. с.-х. наук, доцент, заведующий кафедрой лесоустройства и экологии, ФГБОУ ВО «Ижевская ГСХА», lesovod27@yandex.ru

Якимов Дмитрий Витальевич — канд. с.-х. наук, ФГБОУ ВО «Ижевская ГСХА»

Поступила в редакцию 01.09.2021.

Одобрено после рецензирования 13.10.2021.

Принята к публикации 06.12.2021.

INFLUENCE OF WEATHER CONDITIONS ON HONEY YIELD DURING FLOWERING PERIOD OF SMALL-LEAVED LINDEN IN UDMURT REPUBLIC

M.V. Yakimov✉, R.R. Absalyamov, D.V. Yakimov

Izhevsk State Agricultural Academy, 11, Studentskaya st., Izhevsk, 426069, Udmurt Republic, Russia

lesovod27@yandex.ru

The study results of honey-leaf stands productivity in the Udmurt Republic, belonging to the area of the southern taiga forests of the taiga zone of the European part of the Russian Federation, are presented. Based on the data obtained at the accounting apiaries and control hives, the change in the honey weight gain was revealed depending on the weather conditions, the composition coefficient and the age of the linden stand.

Keywords: linden stands, linden flowering, nectar gain, apiary records, weather conditions, average temperature


Suggested citation: Yakimov M.V., Absalyamov R.R., Yakimov D.V. *Vliyanie pogodnykh usloviy na medosbor v period tsveteniya lipy melkolistnoy v Udmurtskoy Respublike* [Influence of weather conditions on honey yield during flowering period of small-leaved linden in Udmurt Republic]. *Lesnoy vestnik / Forestry Bulletin*, 2022, vol. 26, no. 1, pp. 41–49. DOI: 10.18698/2542-1468-2022-1-41-49

References

- [1] Samsonova I.D. Samsonova I.D. *Otsenka medonosnykh resursov na zemlyakh lesnogo fonda Rostovskoy oblasti* [Assessment of honey-bearing resources on the lands of the forest fund of the Rostov region]. *Lesnoy Zhurnal (Russian Forestry Journal)*, 2015, no. 1 (343), pp. 45–53.
- [2] Yakimov M.V., Busorgina N.A. *Ispol'zovanie lesov dlya vedeniya sel'skogo khozyaystva (pchelovodstva)* [The use of forests for agriculture (beekeeping)]. *Nauchnye innovatsii v razvitiy otrasley APK: mater. Mezhdunarodnoy nauchno-prakticheskoy konferentsii* [Scientific innovations in the development of agricultural sectors: mater. International Scientific and Practical Conference]. In 3 v. Izhevsk, February 18–21, 2020. Izhevsk: Izhevsk State Agricultural Academy, 2020, pp. 154–156.
- [3] Samsonova I.D. *Medoproduktivnost' rastitel'nykh formatsiy na zemlyakh lesnogo fonda stepnogo Pridon'ya* [Honey productivity of plant formations on the lands of the forest fund of the steppe Pridonya]. *Lesnoy Zhurnal (Russian Forestry Journal)*, 2017, no. 4, pp. 69–83.
- [4] Nepeyvoda S.N. *Khozyaystvenno-poleznye i biologicheskie osobennosti medonosnykh pchel Udmurtskoy Respubliki* [Economic-useful and biological features of honeybees of the Udmurt Republic]. *Dis. Cand. Sci. (Agric.)*. Izhevsk: Izhevsk State Agricultural Academy, 2008, 22 p.
- [5] Lyubimov A.I., Kolbina L.M., Kislyakova E.M., Vorob'eva S.L. *Medovyy zapas lesnykh nasazhdeniy Udmurtskoy Respubliki* [Honey reserve of forest plantations of the Udmurt Republic]. *Izvestiya Gorskogo gosudarstvennogo agrarnogo universiteta* [News of the Gorsk State Agrarian University], 2015, t. 52, no. 3, pp. 101–104.
- [6] Zolotukhin A.I. *Lesnaya rastitel'nost' i ekologo-biologicheskaya kharakteristika naibolee rasprostranennykh rasteniy okrestnostey g. Balashova* [Forest vegetation and ecological and biological characteristics of the most common plants in the vicinity of Balashov]. *Balashovskiy kray: kraevedcheskiy al'manakh* [Balashov Territory: Almanac of Local Lore], 2001, no. 1 (2), pp. 49–58.
- [7] Nguen Tkhi Tkhua Kha, Gryaz'kin A.V., Belyaeva N.V. *Medonosy Leningradskoy oblasti* [Honeybees of the Leningrad region]. *Nauchnoe obozrenie* [Scientific Review], 2013, no. 6, pp. 18–21.
- [8] Yakimov M.V., Absalyamov R.R. *Analiz lipnyakov v Udmurtskoy Respublike* [Analysis of lipnyaks in the Udmurt Republic]. *Sovremennomu APK — effektivnye tekhnologii: materialy Mezhdunarodnoy nauchno-prakticheskoy konferentsii* [Modern agro-industrial complex — effective technologies: materials of the International scientific-practical conference]. Izhevsk, December 11–14, 2018. Izhevsk: Izhevsk State Agricultural Academy, 2019, pp. 345–348.
- [9] Yakimov M.V., Busorgina N.A. *Osnovy vedeniya spetsial'nogo khozyaystva v lipnyakakh tselevogo lesopol'zovaniya* [Fundamentals of special farming in lipnyaks of target forest use]. *Agrarnaya nauka — sel'skokhozyaystvennomu proizvodstvu: materialy Mezhdunarodnoy nauchno-prakticheskoy konferentsii* [Agrarian science for agricultural production: materials of the International scientific and practical conference], Izhevsk, February 12–15, 2019. Izhevsk: Izhevsk State Agricultural Academy, 2019, pp. 205–208.
- [10] Yakimov M.V. *Lesovodstvennye metody formirovaniya nektarnykh lipnyakov v Udmurtskoy Respublike* [Lesovodstvennye metody formirovaniya nektarnykh lipnyakov v Udmurt Republic]. *Inzhenernye kadry — budushchee innovatsionnoy ekonomiki Rossii* [Engineering personnel — the future of the innovative economy of Russia], 2019, no. 2, pp. 117–121.
- [11] Sokolov P.A. *Sostoyanie i teoreticheskie osnovy formirovaniya lipnyakov* [The state and theoretical foundations of the formation of lipnyaks]. *Yoshkar-Ola: Mar. book publishing house*, 1978, 208 p.
- [12] Kotov M.M., Kuznetsova E.I., Sukhanova L.V. *Semennaya produktivnost' lipy melkolistnoy kak pokazatel' nektaroproduktivnosti* [Seed productivity of small-leaved linden as an indicator of nectar productivity]. *Lesnoy Zhurnal (Russian Forestry Journal)*, 1997, no. 4, pp. 34–37.
- [13] Yakimov M.V., Absalyamov R.R. *Lipnyaki, kak medoproduktivnaya baza dlya pchelovodstva v Udmurtskoy Respublike* [Lipnyaki, as a honey-producing base for beekeeping in the Udmurt Republic]. *Integratsionnye vzaimodeystviya molodykh uchenykh v razvitiy agrarnoy nauki: materialy Natsional'noy nauchno-prakticheskoy konferentsii molodykh uchenykh* [Integration interactions of young scientists in the development of agricultural science: materials of the National Scientific and Practical Conference of Young Scientists], Izhevsk, December 04–05, 2019. In 3 v. Izhevsk: Izhevsk State Agricultural Academy, 2020, pp. 370–375.

- [14] Shadrin V.A. *Proyavlenie zonal'nosti rastitel'nogo pokrova Udmurtskoy Respubliki cherez ee lokal'nye flory* [Manifestation of the zonality of the vegetation cover of the Udmurt Republic through its local flora]. *Razvitie sravnitel'noy floristiki v Rossii: vklad shkoly A.I. Tolmacheva: materialy VI raboch. soveshch. po sravnit. floristike* [Development of comparative floristry in Russia: the contribution of the school of A.I. Tolmachev: materials of the VI worker. meeting. by compare floristry]. Syktyvkar, 2004, pp. 69–77.
- [15] Khayretdinov A.F., Sultanova R.R. *Mineral'nyy sostav lipovogo meda* [Mineral composition of lime honey]. *Pchelovodstvo i apiterapiya* [Beekeeping and apitherapy], 2004, no. 3, pp. 34–35.
- [16] Larionova O.S., Mannapov A.G. *Vliyanie mikrobiologicheskogo preparata apik na mikrobiotsenoz pchel, biologicheskie pokazateli i rezul'taty zimovki* [Influence of the microbiological preparation apik on the microbiocenosis of bees, biological indicators and wintering results]. *Vestnik Saratovskogo gosagrouniversiteta im. N.I. Vavilova* [Bulletin of the Saratov State Agrarian University. N.I. Vavilova], 2011, no. 10, pp. 24–28.
- [17] Legochkin O.A., Larionova O.S., Mannapov A.G. *Organizatsiya semey-medovikov pri zaplanirovannom roenii pchel* [Organization of families of honey in the planned the bees swarming]. *Vestnik Saratovskogo gosagrouniversiteta im. N.I. Vavilova* [Bulletin of the Saratov State Agrarian University. N.I. Vavilova], 2012, no. 4, pp. 26–29.
- [18] Madebeykin I.N., Madebeykin I.I. *Eshche raz o lipe* [Once again about the lime tree]. *Pchelovodstvo* [Beekeeping], 2012, no. 7, pp. 20–21.
- [19] Korzh V.N. *Osnovy pchelovodstva* [Fundamentals of beekeeping]. Rostov-on-Don: Feniks [Phoenix], 2008, 192 p.
- [20] Kaygorodov R.V., Kuleshova T.S. *Vidovye ekologo-biokhicheskije osobennosti nektara medonosnykh rasteniy* [Specific ecological and biochemical features of honey plant nectar]. *Sovremennye problemy nauki i obrazovaniya* [Modern problems of science and education], 2015, no. 3, pp. 586.
- [21] *Pchelovodstvo* [Beekeeping]. Comp. I.D. Es'kov, E.E. Kritskaya. Saratov: Saratov: Saratov State Agrarian University. N.I. Vavilova, 2013, 164 p.
- [22] Vorob'eva S.L. *Vliyanie abioticheskikh faktorov na produktivnost' pchel v usloviyakh Udmurtskoy Respubliki* [Influence of abiotic factors on the productivity of bees in the conditions of the Udmurt Republic]. Available at: <http://www.science-education.ru/121-17806> (accessed 06.05.2021).
- [23] Pankov D.M. *Zavisimost' opyleniya medonosov ot pogodnykh usloviy* [Dependence of pollination of me-denos on weather conditions]. *Sovremennye problemy nauki i obrazovaniya* [Modern problems of science and education], 2008, no. 6, pp. 75–79.
- [24] *Lesokhozyaystvennyy reglament Uvinskogo lesnichestva* [Forestry regulations of the Uvinsky forestry], 2018. Available at: http://www.minpriroda-udm.ru/index.php?option=com_content&view=article&id=126&Itemid=233 (accessed 06.05.2021).
- [25] Mel'nikov A.V., Es'kov I.D., Kritskaya E.E. *Vliyanie abioticheskikh faktorov na medosbor v period tsveteniya lipy melkolistnoy v stepnoy zone nizhnego Povolzh'ya* [Influence of abiotic factors on honey collection during the flowering of small-leaved linden in the steppe zone of the lower Volga region]. *Agrarnyy nauchnyy zhurnal* [Agrarian scientific journal], 2016, no. 10, pp. 24–30.
- [26] Yakimov M.V., Absalyamov R.R., Yakimov D.V., Vorob'eva S.L. *Sostoyanie estestvennykh medonosnykh resursov Udmurtskoy Respubliki* [State of natural honey-bearing resources of the Udmurt Republic]. *Pchelovodstvo* [Beekeeping], 2019, no. 3, pp. 30–32.
- [27] Korepanov D.A., Absalyamov R.R., Absalyamova S.L., Al'kov N.K., Ukraintsev V.S. *Nedrevesnye resursy lesa Udmurtskoy Respubliki* [Non-wood resources of the forest of the Udmurt Republic]. *Izhevsk: Izhevsk State Agricultural Academy*, 2008, 79 p.

Authors' information

Yakimov Mikhail Vital'evich  — Post-graduate student of the Department of Forest management and ecology, Izhevsk State Agricultural Academy, lesovod27@yandex.ru

Absalyamov Rafael Ramzievich — Cand. Sci. (Agriculture), Associate Professor, Head of the Department of Forest management and ecology, Izhevsk State Agricultural Academy, lesovod27@yandex.ru

Yakimov Dmitriy Vital'evich — Cand. Sci. (Agriculture), Izhevsk State Agricultural Academy

Received 01.09.2021.

Approved after review 13.10.2021.

Accepted for publication 06.12.2021.

Вклад авторов: все авторы в равной доле участвовали в написании статьи

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов

Authors' Contribution: All authors contributed equally to the writing of the article

The authors declare that there is no conflict of interest

АЛГОРИТМ МОДЕЛИРОВАНИЯ И ВИЗУАЛИЗАЦИИ РОСТА ДЕРЕВА

Л.В. Щеголева, Д.В. Гудач, А.В. Кабонен✉

ФГБОУ ВО «Петрозаводский государственный университет», 185910, Республика Карелия, г. Петрозаводск, ул. Ленина, д. 33

alexkabonen@mail.ru

Приведен разработанный алгоритм моделирования роста дерева на примере ели европейской (*Picea abies*) для трехмерной визуализации развития растения. Предложена особая структура классов, формирующих внутреннюю структуру дерева в виде набора соединенных между собой побегов, которые вырастают из почек. В них хранятся числовые значения характеристик структуры (возраста, диаметра ствола, длины побегов и объема фотосинтетической биомассы дерева) и пространственные координаты расположения конструктивных элементов на родительском объекте (прошлогоднем побеге). Алгоритм моделирования роста дерева ели включает генерацию случайных значений для характеристик побегов и почек. Предложенный алгоритм позволяет реализовать структурное разнообразие ветвящихся процессов и стохастический характер развития в условиях произрастания деревьев в Республике Карелия.

Ключевые слова: *Picea abies*, архитектура кроны, модель роста дерева, стохастическое моделирование, структура классов

Ссылка для цитирования: Щеголева Л.В., Гудач Д.В., Кабонен А.В. Алгоритм моделирования и визуализации роста дерева // Лесной вестник / Forestry Bulletin, 2022. Т. 26. № 1. С. 50–57.
DOI: 10.18698/2542-1468-2022-1-50-57

Моделирование роста растений востребовано в различных областях науки и, как правило, имеет прикладное значение. Модели роста и развития растений представляют собой эффективные инструменты для успешного решения задач повышения урожайности в сельскохозяйственном секторе экономики [1], а также имеют значительный потенциал и в других сферах экономической деятельности [2]. Использование моделей может способствовать увеличению производительности, оказывать содействие при снижении антропогенной нагрузки на окружающую среду [3]. Кроме того, такие модели служат инструментом для оценки роста биомассы [4], в частности, в лесном хозяйстве и на лесозаготовках.

Для достоверного понимания и визуальной проверки текущих и прогнозируемых биологических процессов развития растений указанные модели можно представить не только в виде математических выражений, но и с помощью построения трехмерных графиков роста и развития не только отдельных растений, но и насаждений, состоящих из их многочисленных видов. Для трехмерной визуализации роста растения важно составить достоверное описание структуры развития архитектуры его кроны [5]. При этом возникают методические трудности при описании пространственной организации отдельного дерева, обусловленные структурным разнообразием процессов ветвления, которые определяются его генотипом и фенотипической пластичностью роста, которая зависит от воздействия внешних факторов. Использование

междисциплинарных подходов и современных достижений в области компьютерных технологий позволит преодолеть эти трудности.

В настоящее время разработано большое количество различных моделей в области исследования роста деревьев. Большинство моделей — это S-образные функции, которые отражают динамику изменения какого-либо показателя (высоты, объема ствола и др.) в зависимости от времени (возраста) [6] или в зависимости от изменений других показателей, например, объема древесины от диаметра ствола. В моделях, представленных в работах [7–10], учтено влияние таких внешних условий, как характер дренажа, расстояние между деревьями и др. Параметры таких моделей рассчитываются на основе эмпирических данных и различаются для разных видов деревьев, климатических и иных условий их произрастания. В некоторые модели добавлены случайные значения [12]. В работе [11] сформулированы аспекты, которые следует учитывать при разработке подобных моделей, в частности, биологию развития деревьев, статистические свойства и характеристики ранее допущенных ошибок построения моделей, методы проверки адекватности модели реальным условиям, анализ чувствительности модели к изменению исходных данных.

Для реализации трехмерного моделирования разработаны специальные программные комплексы [8, 10]. В работе [13] рассматривается возможность применения современных информационных технологий для оценки роста деревьев, которые опираются на нейронные сети, онтологию и технологии экспертных систем.

Современные технологии моделирования пространственных объектов включают в себя не только расчет значений заданных показателей, но и визуализацию объектов. При этом моделирование дерева должно включать в себя структуру хранения данных, алгоритмы преобразования исходных данных, алгоритмы статистической оценки параметров модели и алгоритмы визуализации дерева.

В работе [14] представлен метод сопоставления цифровых изображений и абстракции ветвей на основе скелета дерева. Согласно алгоритму моделирования создаются трехмерные модели деревьев и визуализируются процессы их роста на основе одного реального изображения дерева.

Виртуальные модели деревьев, построенные с помощью бинокулярной системы стерео зрения и реконструирующие ветвление цитрусовых деревьев, используются для помощи роботам — сборщикам плодов для распознавания препятствий и их преодоления в реальной обстановке [15].

В настоящем исследовании представлен вероятностный подход для моделирования роста дерева на примере произрастания ели европейской (*Picea abies* L.) в климатических условиях Республики Карелия. Предложена структура данных и построены оценки распределений для некоторых характеристик ели.

Цель работы

Цель работы — разработка алгоритма моделирования роста ели европейской на основе вероятностного подхода с возможностью ее трехмерной визуализации при изменяющихся влияющих параметрах.

Материалы и методы

Объектами исследования служили 10 разновозрастных деревьев ели европейской (5 деревьев в возрасте 15 лет, 5 деревьев в возрасте 34 года), естественно произрастающих на заповедной территории Ботанического сада Петрозаводского государственного университета. В международном лесорастительном районировании территория исследования относится к бореальной зоне; в России в действующей системе лесозащитного районирования — к подзоне среднетаежных лесов. Географические координаты участка исследования — 61° 84' с. ш., 34° 41' в. д. Тип леса — ельник черничный.

Выбор объектов обоснован необходимостью установления разной интенсивности роста в зависимости от возраста дерева. У каждого дерева отобраны и измерены по 30 побегов. Длина побегов измерена с помощью сантиметровой линейки, толщина побегов — штангенциркулем, диаметр стволов — мерной вилкой, углы расположения почек относительно поверхности на побеге — угломерами. Количество почек считали визуально.

В основу модели положен теоретический подход моделирования развития хвойных деревьев, основанный на терминальной модели роста «почка → побег → почка → ...», представленный в работе [16].

Для визуализации трехмерной модели дерева был разработан программный комплекс, основанный на стандарте OpenGL. Комплекс состоит из двух модулей. Первый модуль выполняет подготовку исходных данных и реализует процесс моделирования роста растения на языке программирования C++ с использованием библиотек *glew*, *glfw*, *glm*, *boost*, *free_type*, выполняется на CPU. Второй модуль выполняет отрисовку модели с использованием возможностей GPU на языке программирования GLSL.

Результаты и их обсуждение

Биология развития ели. Биологический рост дерева ели европейской для последующего трехмерного моделирования можно описать следующим образом. Через прорастающее семя появляется всход (первый росток; первый побег), который позднее становится главным стволом дерева. На этом побеге имеется фотосинтезирующая биомасса (хвоя), которая будет расти вместе с побегом. Когда сезонный рост побега заканчивается, на его поверхности образуются новые почки, из которых впоследствии (в следующем году) будут образовываться новые побеги, где снова появятся новые почки. Поскольку ель европейская относится к моноподиальным хвойным, определена ее иерархическая структура ветвления роста побегов (главная ось, оси 2-го, 3-го порядка и т. д.), а сам рост побегов данного дерева всегда детерминирован апикальной почкой, что способствует непрерывному росту новых побегов. Почки образуются преимущественно на молодых побегах, обычно в количестве 3 шт. на концах побегов, одна из которых (верхушечная почка) становится продолжением главной оси родительского побега, а остальные — оси 2-го порядка.

Почки данного дерева подразделяются на два типа: вегетативные и генеративные. Вегетативные почки дают только новые побеги. Генеративные почки, в свою очередь, подразделяются на два подтипа: микростробилы (мужские колоски) и мегастробилы (женские шишки). Первые умирают после процесса пыления. Вторые растут в виде шишек и опадают. Оба типа генеративных почек с точки зрения визуализации можно охарактеризовать как видоизмененные побеги. В этом случае есть общее правило: генеративные почки образуются спустя 10...15 лет жизни дерева. Таким образом, ствол — это набор побегов, растущих один за другим. Таким же образом каждая ветка

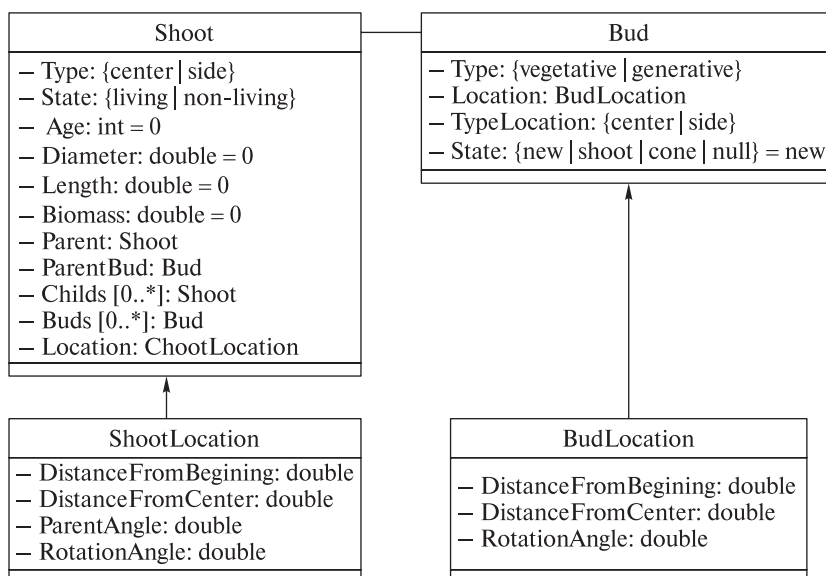


Рис. 1. Диаграмма классов для представления структуры и состояния дерева
 Fig. 1. Class diagram for the structure representation and state of a tree

дерева представляет собой набор растущих один за другим побегов. Главный побег в диаметре ежегодно добавляет одно годовое кольцо, другие побеги также имеют тенденцию к годовому увеличению диаметра. Хвоя растет на каждом новом побеге и остается на нем на 4...7 лет. Помимо роста может быть запущен и механизм отмирания побегов, если на дочерних побегах нет фотосинтетической биомассы и почек.

Вероятностный рост растений во многом зависит от климатических условий места произрастания. Годовое начало и конец роста побега, а также его длина обычно определяются и зависят от погодных условий каждого года и возраста растения. Среди основных вероятностных погодных факторов, влияющих на рост дерева, выделяют температуру, влажность и осадки. Вероятностное влияние оказывает и солнечная активность. Эти факторы определяют вероятностный характер процессов роста каждого дерева.

Алгоритм индивидуального развития дерева ели. Определим два основных элемента для роста ели: почки и побег. Как указывалось ранее, почки данного дерева подразделяются на два типа. По истечении какого-либо времени вегетативная почка превращается в побег. Каждый новый побег связан с одним родительским побегом и является родительским побегом для нескольких дочерних побегов. Этот факт позволяет использовать структуру графа для описания состояния объекта в каждый момент времени.

Определим следующую объектную структуру для хранения информации о модели дерева. Основным классом является класс Shoot (побег) со свойствами: тип, состояние, возраст, диаметр, длина, объем биомассы, расположение на роди-

тельском побеге, ссылка на родительский побег, массив ссылок на дочерние побеги и массив ссылок на почки. Класс Bud (почка), в свою очередь, включает в себя свойства: тип и расположение на побеге. Дополнительные классы ShootLocation и BudLocation хранят информацию об относительном расположении побегов и почек и выделены в отдельные классы для обеспечения процесса визуализации. Диаграмма классов приведена на рис. 1.

Эта структура данных объединяет содержательную информацию о дереве, которая необходима для принятия решений, и пространственную информацию, необходимую для визуализации дерева в виртуальном пространстве.

На основе этой структуры данных был смоделирован тестовый вариант трехмерной модели 8-летнего дерева ели европейской. На рис. 2 представлено сравнение визуализации трехмерной модели дерева (рис. 2, б) с прототипом (рис. 2, а), на основе которого создавалась трехмерная модель для визуализации.

Всего в тестовой трехмерной модели представлено 313 побегов. Высота всей модели — 31,5 см, диаметр ствола у основания — 1,5 см, диаметр кроны — 45 см, длина нижних боковых побегов в сумме (по центральному побегу) — 22 см. Данные характеристики модели согласуются с исследуемым прототипом дерева.

Для моделирования роста дерева с учетом случайной природы роста и влияния различных факторов были разработаны функции, решающие следующие задачи:

- генерация типа почки — $f_{т.п.}$;
- генерация расположения почки на побеге — $f_{л.п.}$;
- генерация количества почек на побеге — $f_{к.п.}$;



Рис. 2. Сравнение дерева ели европейской (возраст 8 лет) с усредненной трехмерной моделью: *а* — исследуемая ель; *б* — трехмерная модель
Fig. 2. Comparison of the studied common spruce tree with a three-dimensional model at the age of 8 years: *a* — investigated spruce; *b* — 3D-model

- генерация побегов — $f_{п}$;
- генерация диаметра годового кольца — $f_{г.д}$;
- генерация длины побега — $f_{д.п}$;
- генерация прироста фотосинтезирующей биомассы побегов — $f_{бм}$;
- генерация смертности побега — $f_{г.пб}$;
- генерация смертности почки — $f_{г.пч}$.

Функция $f_{т.п}$ определяет одно из двух значений типа почки: «вегетативная» или «генеративная». Значение типа почки генерируется случайным образом на основе следующего распределения (P): $P(\text{вегетативная}) = 0,9$; $P(\text{генеративная}) = 0,1$; при возрасте дерева менее 10 лет: $P(\text{вегетативная}) = 1,0$. Данное распределение было получено на основе подсчета вегетативных и генеративных почек на исследуемых деревьях; распределение $P(\text{вегетативная}) = 1,0$ для дерева в возрасте менее 10 лет согласуется с правилом образования генеративных почек на данном дереве (спустя 10...15 лет жизни дерева).

Функция $f_{к.п}$ определяет целое численное значение количества почек из диапазона [1, 17]. Значение количества почек зависит от возраста и длины побега. Если возраст побега один год, то на его конце генерируется до 5 почек (преимущественно 3). Помимо концевых почек на побегах образуются и другие почки. Таким образом, значение, определяемое функцией $f_{к.п}$ — это сумма случайно сгенерированного числа концевых почек и случайно сгенерированного количества неконцевых почек.

На рис. 3 представлена гистограмма плотности распределения числа почек на побеге в зависимости от возраста исследуемых деревьев. Так, на более молодых деревьях образуется больше почек,

количество которых с возрастом сокращается. У 15-летнего дерева на одном побеге в среднем образуется 7 почек, максимум — 17, а у 34-летнего дерева — в среднем 3, максимум — 6. Вероятно, это связано не только с возрастом дерева, но и с длиной самих побегов. Соответственно, на более длинных побегах (в молодом возрасте) образуется большее количество почек, чем на коротких (у взрослых деревьев).

Функция $f_{г.д}$ определяет случайно сгенерированное значение прироста годового кольца дерева из диапазона (0, 10]. Выбранный диапазон прироста диаметра (в миллиметрах) характерен для рассматриваемого вида дерева в условиях Республики Карелия.

Функция $f_{д.п}$ определяет случайно сгенерированное действительное значение длины побега из диапазона [2, 30]. Значение длины побега зависит от возраста дерева. Как правило, наибольшая интенсивность роста побегов у деревьев данного вида характерна в возрасте до 25 лет. Так, в 15-летнем возрасте максимальный годовой прирост составил 300 мм, а средний прирост — 90 мм в год (рис. 4). У деревьев в возрасте 34 года максимальный прирост составил 70 мм, а средний — 50 мм.

Функция $f_{бм}$ определяет величину изменения значения фотосинтезирующей биомассы, зависящее от длины побега; $f_{п}$ — экземпляр класса побег на основе существующих почек; $f_{г.пб}$ — логическое значение состояния побега, зависящее от дочерних побегов (значение «истина» означает гибель побега); $f_{г.пч}$ — случайно сгенерированное логическое значение состояния почки (значение «истина» означает гибель почки).

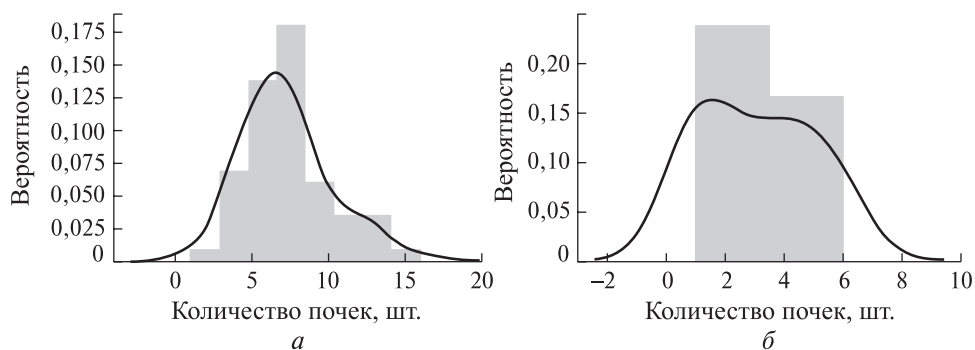


Рис. 3. Гистограмма плотности распределения числа почек: *a* — для деревьев в возрасте 15 лет; *b* — для деревьев в возрасте 34 года

Fig. 3. Histogram of the density bud distribution: *a* — for trees aged 15 years; *b* — for trees aged 34 years

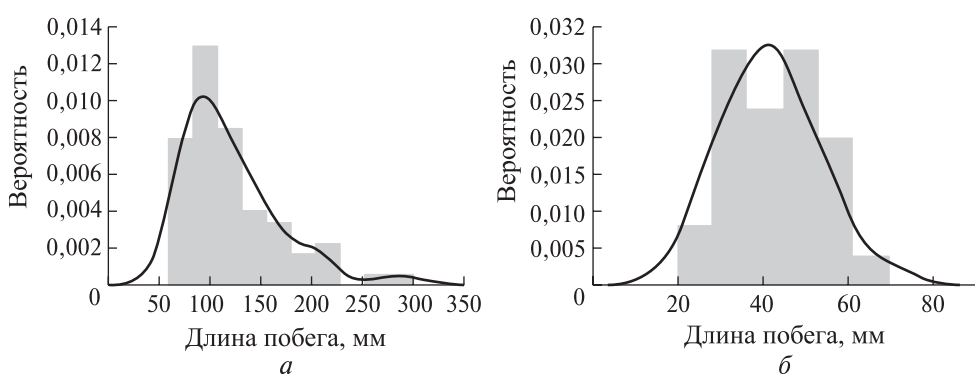


Рис. 4. Гистограмма плотности распределения длины побегов: *a* — для деревьев в возрасте 15 лет; *b* — для деревьев в возрасте 34 года

Fig. 4. Histogram of the density shoots length distribution: *a* — for trees aged 15 years; *b* — for trees aged 34 years

Функция $f_{л.п}$ генерирует два значения расположения почки: расстояние от начала побега (в мм) и угол поворота вокруг побега (в градусах).

Границы диапазонов, представленные в описаниях функций, указаны для условий произрастания в Республике Карелия. Они могут различаться по регионам и в зависимости от условий произрастания в пределах регионов. Поэтому выбор параметров работы функций должен проводиться в зависимости от условий региона, для которого выполняется моделирование.

Кроме того, распределения вероятностей перечисленных ранее случайных величин зависят от погодных условий конкретного модельного года. Следовательно, параметры распределений должны рассматриваться в контексте погодных условий.

Алгоритм моделирования зависит от дискретности моделирования времени. Рассмотрим моделирование состояния дерева на следующий год.

Алгоритм:

Для каждой почки с `Bud.Type = «вегетативный»` выполняются следующие действия:

1. Используя функцию $f_{г.пч}$, генерируется логическое значение, которое определяет станет ли почка побегом или погибнет;

2. Если почка умирает, выполняется операция: `Bud.State = «null»`, и осуществляется переход к следующей почке;

3. Иначе: выполняется операция: `Bud.State = «Shoot»`;

4. Создается новый побег;

5. Для нового побега `Shoot` выполняются следующие действия:

5.1. `Shoot.Age = 0`;

5.2. `Shoot.Length = $f_{д.п}$` ;

5.3. `Shoot.Diameter = $f_{г.д}$` ;

5.4. `Shoot.Biomass = $f_{б.м}$` ;

5.5. `Shoot.Parent = Bud.Parent`;

5.6. `Shoot.ParentBud = Bud`;

5.7. `Shoot.Location.DistancefromBeginning = Bud.Location.DistancefromBeginning`;

5.8. `Shoot.Location.DistancefromCenter = Bud.Location.DistancefromCenter`;

5.9. `Shoot.Location.RotationAngle = Bud.Location.RotationAngle`;

5.10. `Shoot.Type = Bud.Type`;

5.11. Если `Shoot.Type = «center»`, то `Shoot.Location.ParentAngle = 0`;

5.12. Иначе: `Shoot.Location.ParentAngle = 0,785398`;

5.13. `Shoot.State = «living»`.

Для каждого побега с $\text{Shoot.State} = \langle \text{living} \rangle$ выполняются следующие действия:

1. $\text{Shoot.Age} = \text{Shoot.Age} + 1$;
2. Если все дочерние побеги умерли и почек нет, с использованием функции $f_{\text{гл}}$ генерируется логическое значение, определяющее останется ли побег живым;
3. Если побег погибнет, то выполняются следующие действия:
 - 3.1. $\text{Shoot.State} = \langle \text{unliving} \rangle$;
 - 3.2. $\text{Shoot.Biomass} = 0$;
 - 3.3. Выполняется переход к следующему побегу;
4. $\text{Shoot.Diameter} = \text{Shoot.Diameter} + f_{\text{гд}}$;
5. $\text{Shoot.Biomass} = \text{Shoot.Biomass} + f_{\text{бм}}$;
6. Если $\text{Shoot.Age} < 15$:
 - 6.1. Используя функцию $f_{\text{к.п}}$, генерируется целочисленное значение, определяющее сколько почек будет на побеге;
 - 6.2. Для каждой новой почки:
 - 6.2.1. Для первой почки выполнить $\text{Bud.Type} = \langle \text{center} \rangle$, для остальных $\text{Bud.Type} = \langle \text{side} \rangle$;
 - 6.2.2. Добавить почку в массив почек текущего побега;
 - 6.2.3. $\text{Bud.Type} = f_{\text{т.п}}$;
 - 6.2.4. $\text{Bud.Location.DistanceFromBeginning}$, $\text{Location.RotationAngle} = f_{\text{л.п}}$;
 - 6.2.5. $\text{Bud.Location.DistanceFromCenter} = \text{Shoot.Diameter} / 2$;
 - 6.2.6. $\text{Bud.State} = \langle \text{new} \rangle$.

Таким образом, в результате работы алгоритма в структуру данных, описывающую состояние дерева на текущий год, будут добавлены новые элементы, которые описывают состояние дерева в следующем году, и будут изменены значения некоторых характеристик дерева, такие как возраст, диаметр, объем биомассы, которые меняются ежегодно.

Выводы

Построенная структура классов подходит для моделирования роста ели европейской и последующей ее визуализации в виртуальном пространстве. Подробное представление о местонахождении побега по отношению к родительскому побегу позволяет моделировать одновременный рост нескольких побегов и учитывать влияние побегов друг на друга, например, в получении солнечного света.

Алгоритм моделирования состояния ели в следующем году включает в себя случайно генерируемые величины, эмпирические распределения которых получены на основе наблюдений для района произрастания в Республике Карелия. Таким образом, предложенная модель роста дерева позволяет получить разные варианты развития

отдельного дерева или лесного массива, что делает визуализацию более естественной, чем набор одинаковых объектов.

Функции, генерирующие случайные значения, должны учитывать не только характеристики самого объекта, а также внешние воздействия на объект, например, погодные условия.

Дальнейшие исследования будут включать в себя оценку влияния погодных условий на сезонные характеристики роста дерева и использование этих результатов в описанных функциях, которые выполняют генерацию случайных значений.

Исследование выполнено при финансовой поддержке РФФИ в рамках научного проекта № 20-316-90044.

Список литературы

- [1] Добрачев Ю.П., Соколов А.Л. Модели роста и развития растений и задача повышения урожайности // Природообустройство, 2016. № 3. С. 90–96.
- [2] Zhu X.G., Zhang G.L., Tholen D. The next generation models for crops and agro-ecosystems // Sci. China Inf Sci., 2011, v. 54, pp. 589–597
- [3] Беленков А.И. Перспективы использования точного земледелия при производстве растениеводческой продукции // Нивы Зауралья, 2014. № 5 (116). С. 61–63.
- [4] Ruiz-Ramos M., M'inguez M.I. ALAMEDA, a structural-functional model for Faba Bean crops: morphological parameterization and verification // Annals of Botany, 2006, v. 97(3), pp. 377–388
- [5] Henke M., Huckemann S., Kurth W., Sloboda B. Reconstructing leaf growth based on non-destructive digitizing and low-parametric shape evolution for plant modelling over a growth cycle // Silva Fennica, 2014, v. 48, no. 2, p. 23.
- [6] Vanclay J.K. Growth models for tropical forests: A synthesis of models and methods // Forest Science, 1995, v. 41, no. 1, pp. 4–42.
- [7] Miina J. Spatial growth model for Scots Pine on drained peatland // Silva Fennica, 1994, v. 28(1), pp. 15–27.
- [8] Schröder J., Röhle H., Gerold D. Modeling individual-tree growth in stands under forest conversion in East Germany // Eur J Forest Res, 2007, v. 126, pp. 459–472.
- [9] Lee W.-K., Gadow K., Chung D.-J., Lee J.-L., Shind M.-Y. DBH growth model for Pinus densiflora and Quercus variabilis mixed forests in central Korea // Ecological Modelling, 2004, v. 176, iss. 1–2, pp. 187–200.
- [10] Pan Y., Raynal D.J. Decomposing tree annual volume increments and constructing a system dynamic model of tree growth // Ecological Modelling, 1995, v. 82, iss. 3, pp. 299–312.
- [11] Vanclay J.K., Skovsgaard J.P. Evaluating forest growth models // Ecological Modelling, 1997, v. 98, no. 1, pp. 1–12.
- [12] Garcia O. A stochastic differential equation model for height growth of forest stands // Biometrics, 1983, v. 39, pp. 1059–1072.
- [13] Li Y., Zhang W.-Q., Liu H., Yang H.-Q., Liu X.-N. Research of Modern Information Technology on Tree Growth Management Decision Making Model // Applied Mechanics and Materials, 2013, v. 347–350, p. 2418.
- [14] Kim J., Jeong I. Single Image-Based 3D Tree and Growth Models Reconstruction // ETRI Journal, 2014, v. 36, iss. 3, pp. 450–459.

- [15] Li Y., Li X., Tian S. Real-Time Construction of Fruit Tree Model Based on Images // Eurasia J. of Mathematics, Science and Technology Education, 2017, v. 13(7), pp. 4035–4047.
- [16] Gavrikov V.L., Karlin I.V. A dynamic model of tree terminal growth // Canadian Journal of Forest Research, 1993, v. 23, pp. 326–329.
- [17] Zhu X.G., Zhang G.L., Tholen D. The next generation models for crops and agro-ecosystems // Sci. China Inf Sci., 2011, v. 54, pp. 589–597.

Сведения об авторах

Щеголева Людмила Владимировна — д-р техн. наук, профессор кафедры прикладной математики и кибернетики Петрозаводского государственного университета, schegoleva@petsu.ru

Гудач Даниил Васильевич — аспирант кафедры прикладной математики и кибернетики Петрозаводского государственного университета, daniil-gudach@rambler.ru

Кабонен Алексей Валерьевич ✉ — аспирант кафедры технологии и организации лесного комплекса Петрозаводского государственного университета, alexkabonen@mail.ru

Поступила в редакцию 01.06.2021.

Одобрено после рецензирования 01.09.2021.

Принята к публикации 06.12.2021.

ALGORITHM FOR TREE GROWTH MODELING AND VISUALIZATION

L.V. Shchegoleva, D.V. Gudach, A.V. Kabonen ✉

Petrozavodsk State University, 33, Lenin av., 185640, Petrozavodsk, Karelia, Russia

alexkabonen@mail.ru

The developed algorithm for modeling the growth of a tree using the example of European spruce (*Picea abies*) for three-dimensional visualization of plant development is presented. A special structure of classes is proposed that form the internal structure of a tree by a set of interconnected shoots that grow from buds. They store the numerical characteristics of the structure (age, trunk diameter, shoots length and the volume of tree photosynthetic biomass) and the spatial coordinates of structural elements on the parent object (last year's shoot). The algorithm for modeling the growth of a spruce tree includes the generation of random values for the characteristics of shoots and buds. The proposed algorithm makes it possible to realize the structural diversity of branching processes and the stochastic nature of development under the conditions of tree growth in the Republic of Karelia.

Keywords: *Picea abies*, crown architectonics, tree growth model, stochastic modeling, class structure

Suggested citation: Shchegoleva L.V., Gudach D.V., Kabonen A.V. *Algoritm modelirovaniya i vizualizatsii rosta dereva* [Algorithm for tree growth modeling and visualization]. Lesnoy vestnik / Forestry Bulletin, 2022, vol. 26, no. 1, pp. 50–57. DOI: 10.18698/2542-1468-2022-1-50-57

References

- [1] Dobrachev Yu.P., Sokolov A.L. *Modeli rosta i razvitiya rasteniy i zadacha povysheniya urozhaynosti* [Models of plant growth and development and the problem of increasing yields]. Prirodoobustroystvo [Prirodoobustroystvo], 2016, no. 3, pp. 90–96.
- [2] Zhu X.G., Zhang G.L., Tholen D. The next generation models for crops and agro-ecosystems. Sci. China Inf Sci., 2011, v. 54, pp. 589–597
- [3] Belenkov A.I. *Perspektivy ispol'zovaniya tochnogo zemledeliya pri proizvodstve rastenievodcheskoy produkcii* [Prospects for the use of precision farming in the production of crop products]. Nivy Zaural'ya [Niva Zauralia], 2014, no. 5 (116), pp. 61–63.
- [4] Ruiz-Ramos M., M'inguez M.I. ALAMEDA, a structural-functional model for Faba Bean crops: morphological parameterization and verification. Annals of Botany, 2006, v. 97(3), pp. 377–388
- [5] Henke M., Huckemann S., Kurth W., Sloboda B. Reconstructing leaf growth based on non-destructive digitizing and low-parametric shape evolution for plant modelling over a growth cycle. Silva Fennica, 2014, v. 48, no. 2, p. 23.
- [6] Vanclay J.K. Growth models for tropical forests: A synthesis of models and methods. Forest Science, 1995, v. 41, no. 1, pp. 4–42.
- [7] Miina J. Spatial growth model for Scots Pine on drained peatland. Silva Fennica, 1994, v. 28(1), pp. 15–27.
- [8] Schröder J., Röhle H., Gerold D. Modeling individual-tree growth in stands under forest conversion in East Germany. Eur J Forest Res, 2007, v. 126, pp. 459–472.
- [9] Lee W.-K., Gadow K., Chung D.-J., Lee J.-L., Shind M.-Y. DBH growth model for *Pinus densiflora* and *Quercus variabilis* mixed forests in central Korea. Ecological Modelling, 2004, v. 176, iss. 1–2, pp. 187–200.
- [10] Pan Y., Raynal D.J. Decomposing tree annual volume increments and constructing a system dynamic model of tree growth. Ecological Modelling, 1995, v. 82, iss. 3, pp. 299–312.
- [11] Vanclay J.K., Skovsgaard J.P. Evaluating forest growth models. Ecological Modelling, 1997, v. 98, no. 1, pp. 1–12.
- [12] Garcia O. A stochastic differential equation model for height growth of forest stands. Biometrics, 1983, v. 39, pp. 1059–1072.

- [13] Li Y., Zhang W.-Q., Liu H., Yang H.-Q., Liu X.-N. Research of Modern Information Technology on Tree Growth Management Decision Making Model. *Applied Mechanics and Materials*, 2013, v. 347–350, p. 2418.
- [14] Kim J., Jeong I. Single Image-Based 3D Tree and Growth Models Reconstruction. *ETRI Journal*, 2014, v. 36, iss. 3, pp. 450–459.
- [15] Li Y., Li X., Tian S. Real-Time Construction of Fruit Tree Model Based on Images. *Eurasia J. of Mathematics, Science and Technology Education*, 2017, v. 13(7), pp. 4035–4047.
- [16] Gavrikov V.L., Karlin I.V. A dynamic model of tree terminal growth. *Canadian Journal of Forest Research*, 1993, v. 23, pp. 326–329.
- [17] Zhu X.G., Zhang G.L., Tholen D. The next generation models for crops and agro-ecosystems. *Sci. China Inf Sci.*, 2011, v. 54, pp. 589–597.

The research was carried out with the financial support of the RFBR as part of a scientific project № 20-316-90044.

Authors' information

Shchegoleva Lyudmila Vladimirovna — Dr. Sci. (Tech.), Professor of the Department of Applied Mathematics and Cybernetics, Petrozavodsk State University, schegoleva@petsu.ru

Gudach Daniil Vasilievich — Pg. of the Department of Applied Mathematics and Cybernetics, Petrozavodsk State University, daniil-gudach@rambler.ru

Kabonen Aleksey Valerievich — Pg. of the Department of Technology and Organization of the Forestry Complex of Petrozavodsk State University, alekxabonen@mail.ru

Received 01.06.2021.

Approved after review 01.09.2021.

Accepted for publication 06.12.2021.

Вклад авторов: все авторы в равной доле участвовали в написании статьи

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов

Authors' Contribution: All authors contributed equally to the writing of the article

The authors declare that there is no conflict of interest

ИННОВАЦИОННЫЙ ВОРОНЕЖСКИЙ МЕЖДУНАРОДНЫЙ ФЕСТИВАЛЬ САДОВ И ЦВЕТОВ «ГОРОД-САД»

В.В. Кругляк¹✉, Е.И. Гурьева², Н.П. Карташова³, А.В. Царегородцев³

¹ФГБОУ ВО «Воронежский государственный аграрный университет имени императора Петра I», 394087, г. Воронеж, ул. Мичурина, д. 1

²ФГБОУ ВО «Воронежский государственный технический университет», 394006, г. Воронеж, ул. 20-летия Октября, д. 84

³ФГБОУ ВО «Воронежский государственный лесотехнический университет имени Г.Ф. Морозова», 394087, г. Воронеж, ул. Тимирязева, д. 8

Kruglyak_vl@mail.ru

Рассмотрены принципы проведения Воронежского международного фестиваля садов и цветов «Город-сад». Изложены результаты научных и экспериментальных исследований, проведенных на территории городского округа г. Воронежа. Охарактеризованы экспозиции Ботанического сада им. проф. Б.М. Козо-Полянского Воронежского государственного университета. Приведено распределение территории Центрального парка г. Воронежа по баллам санитарно-гигиенического состояния по 9 кварталам на площади 101,0 га для насаждений и открытого пространства. Проанализирована и приведена структура Воронежского международного фестиваля садов и цветов «Город-сад» с 2011 по 2020 гг.

Ключевые слова: ежегодный фестиваль, цветоводство, ландшафтное искусство

Ссылка для цитирования: Кругляк В.В., Гурьева Е.И., Карташова Н.П., Царегородцев А.В. Инновационный Воронежский Международный фестиваль садов и цветов «Город-сад» // Лесной вестник / Forestry Bulletin, 2022. Т. 26. № 1. С. 58–68. DOI: 10.18698/2542-1468-2022-1-58-68

Теория художественного садоводства возникла не в замкнутом уединении кабинета ученого и не путем научных или философских заключений, а явилась плодом бесконечного ряда практических опытов и наблюдений, продолжавшихся веками [1]. В США в 1901 г. в г. Гарварде открылась первая школа по подготовке ландшафтных архитекторов. В 1960 г. Международная организация труда при ООН утвердила новую номенклатуру профессий, включив в нее профессию «ландшафтный архитектор». Впервые в России термин «ландшафтная архитектура» ввела профессор Московского архитектурного института (МАРХИ) Л.С. Залеская, которая организовала в Союзе архитекторов СССР в 1960 г. секцию ландшафтной

архитектуры [2]. Декоративные растения по биологическим свойствам и требованиям к приемам агротехники подразделяются на несколько групп: деревья и кустарники, многолетники, двулетники, летники, злаки, луковичные [3].

Ботанические сады с момента своего возникновения активно включились в процесс изучения и освоения растительного мира. В течение длительного исторического периода ведущим направлением в их деятельности была интродукция и акклиматизация растений, в результате чего были накоплены богатейшие коллекционные фонды. В последние годы ботанические сады и дендрарии приобретают все большее значение в области охраны растительного мира [4].

В настоящее время коллекционный фонд роз в Центральном ботаническом саду (ЦБС) НАН Белоруссии насчитывает 275 сортов и представлен семью садовыми группами: чайно-гибридные, флорибунда, полуплетистые, крупноцветковые плетистые, миниатюрные, парковые и английские [5].

Регулярная планировочная структура Выставки достижений народного хозяйства (ВДНХ), ограниченная строго очерченным периметром, характерна для идеального города, моделью которого и является выставка. Ее прямолинейные улицы-лучи сходятся к особо важным планировочным узлам. Они превращаются в архитектурно оформленные перспективы, которые своим масштабом, богатой пластикой форм, обилием и вычурностью архитектурного декора демонстрируют магическую власть идеального над реальным.



Композиция «Птица»



Композиция «Самолет»

Центральная аллея — ось и главная эспланада, на которую нанизаны главные компоненты ВДНХ — самые парадные выставочные павильоны — дворцы, фонтаны и общественные пространства [6, 7].

Ботанический сад им. Б.М. Козо-Полянского является научным подразделением Воронежского государственного университета. Это — научно-исследовательский, учебный и просветительский центр площадью 72,3 га [8]. Здесь коллекции и экспозиции природной флоры и растительности Центрального Черноземья представлены следующими объектами [9]:

- систематикум флоры Центрального Черноземья;
- растения Красной книги России;
- папоротники флоры региона;
- кустарниковые биоморфы флоры региона;
- формы, разновидности, сорта и гибриды растений природной флоры;
- экспозиция «Дубравы Центрального Черноземья»;
- экспозиция «Степи Центрального Черноземья»;
- экспозиция «Сниженные Альпы Среднерусской возвышенности»;
- коллекция декоративно-травянистой растительности;
- дендрологические коллекции.

Декоративные растения — это наиболее обширная группа культивируемых растений, в которой только травянистые декоративные многолетники открытого грунта представлены примерно 6000 видами и несколькими десятками тысяч сортов. Ассортимент декоративных растений непрерывно расширяется за счет интродукции диких видов и создания новых сортов [10]. Одно из важнейших свойств декоративных травянистых растений — широкая цветовая гамма, которую они приносят в окружающую среду на объектах озеленения и в интерьере, поэтому при использовании цветочных растений необходимо учитывать воздействие цвета на человека и законы цветоповедения [11]. С законом пропорциональности тесно

Т а б л и ц а 1

Мировые выставочные центры садов и цветов

World Exhibition Centers of Gardens and Flowers

Страна	Наименование выставки, местонахождение	Экспозиция, год открытия
Великобритания	Chelsea Flower Show, Лондон, с 1922 г.	Ландшафтный дизайн и цветоводство, с 1862 г.
Германия	Bluhendes Barock, Цветущее барокко, Людвигсбург	Садовая выставка, с 1954 г.
Нидерланды	Кекенхоф, г. Лиссе, Парад цветов Bloemencorso	Цветочный сад, с 1950 г.
Испания	La Fiesta de los Patios de Cordoba, Кордоба, Всемирное культурное наследие ЮНЕСКО с 2012 г.	Фестиваль Лос-Патио-де-Кордоба, с 1932 г.
Франция	Сады Версаля. Всемирное культурное наследие ЮНЕСКО с 1979 г.	Цветочный фестиваль, с 1661 г.
Япония	Кавати Фудзи, г. Китакоюсю	Цветочный парк глицинии Асикага, с 1997 г.
Китай	Flower Expo, Гуанчжоу, China	Выставочный садовый комплекс, с 1953 г.
Америка	Flower & Garden Show, Сан-Франциско	Консерватория цветов, с 1878 г.
Австралия	Jacaranda Park, Графтон, Новый Южный Уэльс,	Фестиваль жакаранды, с 1910 г.
Колумбия	Feria de Las Flores, Медельин	Цветочный фестиваль, с 1957 г.



Композиция «Сбербанк»

Т а б л и ц а 2

Российские выставочные центры садов и цветов

Russian exhibition centers of gardens and flowers

Город, регион	Наименование выставки	Экспозиция
Москва	Международный фестиваль садов и цветов (Moscow Flower Show)	Конкурс садов, арт-объекты, ландшафтный дизайн
Санкт-Петербург	Императорские сады России (Imperial Gardens of Russia)	Конкурс садов, ландшафтный дизайн, флористика
Республика Крым	Ялта, Никитский ботанический сад	сад розы, сад тюльпанов
Волгоград	Волгоград ЭКСПО	Фестиваль садов
Нижний Новгород	«Сад Ехро», Нижегородская ярмарка	Ландшафтный дизайн, цветоводство
Сочи	Жемчужина	Ландшафтный дизайн
Краснодар	Кубань Экспоцентр	Ландшафтный дизайн, цветоводство
Екатеринбург	МВЦ «Екатеринбург ЭКСПО»	Ландшафтный дизайн, флористика
Казань	ОАО «Казанская ярмарка»	Цветочная палитра, цветоводство
Уфа	ВДНХ – ЭКСПО	Ландшафтный дизайн, садовое искусство

связан закон трехкомпонентности, смысл которого состоит в следующем. Для убедительности выражения движения в орнаментах и в других композициях достаточно и необходимо показать в композиции три фазы этого движения — три размера, три разных поворота, три интервала между ними и периодически их повторять [12].

Развитие ландшафтной архитектуры в мире способствует научной обоснованности проектирования и ландшафтно-экологическому обоснова-



Цветочная композиция

нию специализированных парков. Особый интерес представляют парки-выставки цветоводства и садоводства. Большой интерес представляют Национальные фестивали садов и цветов (табл. 1).

Выставка садов и цветов в Челси (Chelsea Flower Show) проводится с 1922 г. Территориально она располагается на месте садов Королевского госпиталя в районе Челси г. Лондона. Конкурсные сады представляются в разных номинациях: Show Gardens (выставочные сады); Artisan Gardens (природные сады); Fresh Gardens (новаторские сады). Ассортимент растений для международных выставок в районе Челси и составление конкурсных ландшафтных композиций имеет особое значение. В дальнейшем они формируют мировую садовую моду на предстоящий сезон.

Нидерланды являются одним из признанных мировых лидеров в развитии цветоводства и организации выставок цветов и ландшафтного дизайна. Парк цветов Кёкенхоф, карнавал цветов в Лиссе и выставка ландшафтного дизайна Флориада в г. Харлем — выдающиеся события в мире садов и цветов. Конкурс садов и цветов проходит в различных номинациях:

- релаксация и исцеление;
- экологически чистая зона;
- образование и инновации;
- окружающая среда;
- сцена всемирного шоу.

Особое значение имеют выставочные центры садов и цветов внесенные в список Всемирного культурного наследия ЮНЕСКО — сады Версаля (с 1979 г.) и Лос-Патио-де-Кордоба (с 2012 г.).

На территории России выставочная деятельность в области садоводства имеет продолжительный исторический период. Российские выставочные центры садов и цветов представлены в табл. 2.

Московский Международный фестиваль садов и цветов «Moscow Flower Show» является крупнейшим в России и мире. Первый фестиваль проходил в 2012 г. на территории Центрального парка культуры и отдыха имени Горького. В 2016 г. фестиваль проходил в Парке искусств «Музеон». Жюри фестиваля возглавлял аккредитованный судья Королевского общества садоводов Джеймс Александр-Синклер из Лондона.

Первый Международный фестиваль садово-паркового искусства «Императорские сады России» проходил с 30 мая по 3 июня 2008 г. в Михайловском саду, входящего в структуру Русского музея Санкт-Петербурга. Тема была определена 110-летним юбилеем Русского музея. На Втором Международном фестивале садово-паркового искусства в 2009 г. проходила выставка-конкурс «Лабиринт — Орнамент — Символ». Третий фестиваль этого направления



Рис. 1. План территории Воронежского центрального парка
Fig. 1. Plan of Voronezh Central Park



Рис. 2. Ландшафтная организация территории Воронежского центрального парка
Fig. 2. Landscape organization of Voronezh Central Park

был включен в программу празднования года Франции в России. Основная его тема была определена как «Французский сад на берегах Невы». В 2011 г. фестиваль был посвящен «Году Италии в России и России в Италии» и носил название «Итальянский полдень».

«Императорские сады России» в Санкт-Петербурге — одно из крупнейших мероприятий выставочной деятельности в России и мире.

Никитский ботанический сад является крупнейшим объектом выставочной деятельности по самому широкому спектру направлений биологической науки, декоративного садоводства, ландшафтной архитектуры, цветоводства и экологии. Круглогодично на его территории проходят выставки и экспозиции:

- Террасный сад тюльпанов — апрель;
- Парад тюльпанов — апрель;



Рис. 3. Эмблема фестиваля «Воронеж — Город-сад-2019»
Fig. 3. The emblem of the festival «Voronezh — Garden City-2019»

- Сирень Победы — апрель — май;
- Карнавал Ирисов — май — июнь;
- Розовый вальс — май — декабрь;
- Клематисы — июнь — август;
- Лилейники — июнь — август;
- Канны — июль — октябрь;
- Балл Хризантем — октябрь — ноябрь;
- Выставка орхидей — май — ноябрь;
- Цветущий Крым — круглогодично;
- Фестиваль кактусов — круглогодично;
- Модные сезоны в Никитском ботаническом саду — круглогодично.

С 2014 г. количество выставок и их наименование значительно изменилось и увеличилось.

Т а б л и ц а 3

Распределение насаждений на территории Воронежского центрального парка по баллам санитарно-гигиенического состояния
Distribution of plantings in Voronezh Central Park by points of sanitary and hygienic state

Номер квартала	Площадь, га	Насаждения, баллы			Открытые пространства, баллы		
		1	2	3	1	2	3
1	21,8	15,2	0,6	—	6,0	—	—
2	11,1	7,1	—	—	3,7	—	0,3
3	23,0	13,1	—	—	0,5	5,2	4,2
4	10,1	7,2	—	—	0,3	0,7	1,9
5	4,4	3,8	0,6	—	—	—	—
6	10,0	3,1	—	—	—	0,9	6,0
7	4,6	2,6	0,7	—	0,7	0,1	0,5
8	10,6	8,7	0,2	—	0,6	0,1	1,0
9	5,4	4,4	0,2	—	0,3	—	0,5
Итого, га	101,0	65,2	2,3	—	12,1	7,0	14,4
Итого, %	100,0	64,5	2,3	—	12,0	6,9	14,3

Цель работы

Цель работы — обоснование формирования Воронежского международного фестиваля садов и цветов «Город-сад» на основе инновационных технологий мирового уровня.



Рис. 4. Схема инновационного Воронежского Международного фестиваля садов и цветов «Город-сад»
Fig. 4. Scheme of the innovative Voronezh International Festival of Gardens and Flowers «Garden City»



Рис. 5. Водная экспозиция фестиваля «Воронеж — Город-сад»
 Fig. 5. Water display of the festival «Voronezh — Garden City»

Методология и методы исследований

Воронежский центральный парк (далее — Парк) — самый крупный парковый объект в структуре рекреационных территорий города. Он расположен в северной части города в сложной балочной системе. Первоначально в состав земель Парка входили территории с лесными насаждениями и луговыми пространствами. Общая площадь Парка на момент проектирования составляла 101,0 га. Климат района расположения Парка характеризуется жарким и сухим летом и умеренно-холодной зимой. Годовая сумма осадков в среднем составляет 504 мм. Балочная система Парка врезается в водораздел на расстояние 3,5 км. Почвенный покров Парка представлен 11 типами почв. Почвы черноземного типа расположены в северо-западной части Парка. Лесопокрытая площадь Парка представлена участками леса по склонам балок и оврагов (рис. 1–5).

Т а б л и ц а 4

Распределение насаждений Воронежского центрального парка по классам жизнеустойчивости
Distribution of plantings in Voronezh Central Park by vitality classes

Номер квартала	Площадь, га	Классы жизнеустойчивости		
		I	II	III
1	15,8	0,6	15,2	—
2	7,1	2,8	4,3	—
3	13,1	—	12,8	0,3
4	7,2	—	7,1	0,1
5	4,4	1,5	2,9	—
6	3,1	0,6	2,5	—
7	3,3	—	3,3	—
8	8,9	—	7,9	1,0
9	4,6	—	4,4	0,2
Итого, га	67,5	5,5	60,4	1,6
Итого, %	100,0	8,1	89,5	2,4

Т а б л и ц а 5

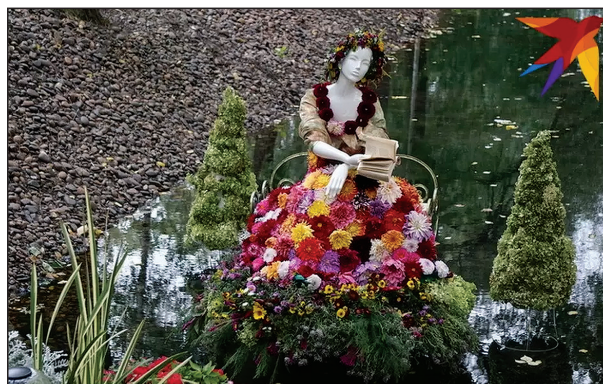
Инновационная структура Воронежского Международного фестиваля садов и цветов «Город-сад»

Innovative structure of the Voronezh International Festival of Gardens and Flowers «Garden City»

Дата проведения выставки	Наименование выставки	Посещаемость, тыс./чел
03–04.09.2011	I Воронежская выставка-ярмарка «Воронеж — Город-сад»	6
08.09.2012	II Воронежская выставка-ярмарка «Воронеж — Город-сад»	10
07–08.09.2013	III Международная Воронежская выставка-ярмарка «Воронеж — Город-сад»	18
06–07.09.2014	IV Международная Воронежская выставка-ярмарка «Воронеж — Город-сад»	40
05–06.09.2015	V Международная Воронежская выставка-ярмарка «Воронеж — Город-сад»	108
08–11.09.2016	VI Международная Воронежская выставка-ярмарка «Город-сад»	150
07–10.09.2017	VII Воронежский международный фестиваль садов и цветов «Город-сад»	220
30–02.09.2018	VIII Воронежский международный фестиваль садов и цветов «Город-сад»	280
05–08.09.2019	IX Воронежский международный фестиваль садов и цветов «Город-сад»	308
25–26.09.2020	X Воронежский международный фестиваль садов и цветов «Город-сад»	online



Композиция «Воронеж»



Композиция «Русалка»



Композиция «Балет»

Методология проведенных научных исследований базируется на системном подходе и комплексных принципах оценки [13]. Инновационные композиции составлены с учетом требований ГОСТ 25769–83 [14], ГОСТ 28329–89 [15]. При проведении работ были использованы типовые и усовершенствованные методики, которые применяются в биологических направлениях научных исследований [16]. На основании кадастровых данных на объектах закладывались ключевые участки с пробными площадями, где были определены количественный, видовой и возрастной составы, дана оценка состояния древесных насаждений методами ландшафтной таксации [17, 18].

Оценку общего состояния зеленых насаждений определяли методами детальной и ландшафтной инвентаризации с использованием правил создания, содержания и охраны зеленых насаждений, инструкций по проведению инвентаризации и паспортизации городских озелененных территорий [19–33].

Распределение насаждений на территории Парка по баллам санитарно-гигиенического состояния представлено в табл. 3.

Санитарно-гигиеническое состояние насаждений Парка оценивается по трем классам. При этом учитывается состав насаждений, полнота, фитонцидность пород, бонитет, рельеф местности, избыточное увлажнение почвы, факторы антисанитарного состояния (замусоренность, загазованность, шумовые помехи). Санитарно-гигиеническая оценка состоит из суммы баллов, характеризующих качественные показатели выделов. Основная часть территории Парка относится к 1-му классу санитарно-гигиенического состояния и благоприятна для рекреации.

Распределение насаждений Парка по классам жизнеустойчивости представлено в табл. 4.

Под жизнеустойчивостью насаждений понимают способность противостоять неблагоприятным условиям роста. Насаждения парка здоровы, но с признаками замедленного роста, вызванного влиянием антропогенных факторов.

Воронеж — столица Черноземья, в которой проводятся фестивали различной направленности, форумы, конкурсы, соревнования, выставки международного уровня. Такие мероприятия являются знаковыми событиями для города и способствуют привлечению большого количества участников — жителей Центрального Черноземья, России и мира (табл. 5).

В состав Воронежского Международного фестиваля садов и цветов «Город-сад» входили экспозиции: Сад большой; Сад малый; Сад в городе; Арт-объекты; Планета цветов; Арт-река; Автобукет; Вторая жизнь вещей; Дар земли Воронежской; Сад на вкус; Стоп-кадр; Атрлэнд. Искусство в саду; Городской сад; Загородный сад; Сады наследия; Креативный город; Сады содружества; Сады и кино.

Наименование и количество экспозиций меняется в соответствии с лейтмотивом фестиваля, который определяется темой года, установленной Постановлением Правительства и Указом Президента Российской Федерации.

Выводы

1. Российские международные фестивали садов и цветов демонстрируют инновационные технологии и уникальные традиции народов России по направлениям ландшафтной архитектуры, ландшафтного дизайна, декоративного садоводства, флористики и цветоводства.

2. Инновационный Воронежский Международный фестиваль садов и цветов «Город-сад» сочетает в себе современные мировые тенденции, европейские технологии и Российские традиции проведения садово-парковых фестивалей. Многофункциональный «Город-сад» способствует увеличению



Композиция «Птицы»

количества мероприятий, проводимых на всей территории Воронежского центрального парка, увеличению предоставляемых услуг. Фестиваль становится визитной карточкой города, что способствует привлечению инвестиций и инновационному развитию региона, его устойчивому развитию.

3. Воронежский центральный парк является многофункциональной базой для творческой, познавательной, образовательной, спортивной, выставочной, театральной и рекреационной деятельности (рис. 6).

4. Интродукционные испытания растений различного эколого-географического и фитоценологического происхождения Ботанического сада им. Б.М. Козо-Полянского Воронежского государственного университета выявили высокую экологическую пластичность и интродукционную устойчивость этих видов для экспонирования на Международной выставке садов и цветов «Город-сад».



Рис. 6. Зеленый театр Воронежского центрального парка (фото Е. Бичева, 2016 г.)
Fig. 6. Green Theater in Voronezh Central Park (photo by E. Bichev, 2016)

Список литературы

- [1] Регель А.Э. Изящное садоводство и художественные сады. М.: Фитон+, 2007. 312 с.
- [2] Храпач В.В. Ландшафтный дизайн. СПб.: Лань, 2019. 312 с.
- [3] Галдина Т.Е., Чернодубов А.И. Инновационные технологии выращивания декоративных растений. Воронеж: Изд-во ВГЛУ, 2018. 178 с.
- [4] Растения Красной книги России в коллекциях ботанических садов и дендрариев. М.: Изд-во ГБС РАН; Тула: ИПП «Гриф и К», 2005. 144 с.
- [5] Володько И.К. Центральный ботанический сад НАН Беларуси: коллекции и экспозиции / под ред. В.В. Титка. Минск: Беларуская навука, 2019. 254 с.
- [6] Нефедов П.В. Путеводитель по ВДНХ. М.: Типография «PNB Print», 2014. 336 с.
- [7] Киреева М.Ф., Пугачева Г.М., Мартынова В.В., Иванова Н.В., Кузичева О.А., Кузичев Б.А. В мире цветов. Лилии, гладиолусы, астры. Сорты селекции ВНИИС им. И.В. Мичурина. Мичуринск-наукоград: Тамбовская типография «Пролетарский светоч», 2008. 128 с.
- [8] Воронин А.А., Комова А.В., Муковнина З.П., Сафонова О.Н. Ботанический сад им. Б.М. Козо-Полянского Воронежского госуниверситета и его интродукционные ресурсы в публикациях сотрудников (1937–2016). Воронеж: Научная книга, 2017. 196 с.
- [9] Воронин А.А., Муковнина З.П., Комова А.В., Николаев Е.А. Ботанический сад им. проф. Б.М. Козо-Полянского Воронежского госуниверситета: научный, образовательный и экскурсионно-просветительский ресурсы / под ред. В.Н. Калаева. Воронеж: Роза ветров, 2014. 140 с.
- [10] Соколова Т.А., Бочкова И.Ю. Декоративное растениеводство: Цветоводство. М.: Академия, 2004. 432 с.
- [11] Соколова Т.А. Цветоводство для открытого грунта. М.: МГУЛ, 2001. 115 с.
- [12] Соколова Т.А. Цветочное оформление. Цветовые характеристики растений и пропорции. М.: МГУЛ, 1999. 64 с.
- [13] Методика системных исследований лесоаграрных ландшафтов. М.: Изд-во ВАСХНИЛ, 1985. 112 с.
- [14] ГОСТ 25769–83. Саженьцы деревьев хвойных пород для озеленения городов. Технические условия от 23 июня 2009 г. М.: Росстандарт, 2009. 10 с.
- [15] ГОСТ 28329–89. Озеленение городов. Термины и определения. М.: Изд. Стандартов, 1990. 13 с.
- [16] Биоразнообразие города Воронежа / под ред. О.П. Негрובה. Воронеж: Изд-во Воронежского государственного университета, 2004. 98 с.
- [17] Кадастр особо охраняемых территорий Воронежской области / под ред. О.П. Негрובה. Воронеж: Изд-во Воронежского государственного университета, 2001. 146 с.
- [18] Гальперин М.И. Организация хозяйства в пригородных лесах. М.: Лесная пром-сть, 1971. 231 с.
- [19] Теодоронский В.С., Боговая И.О. Объекты ландшафтной архитектуры. М.: МГУЛ, 2001. 330 с.
- [20] Правила создания, содержания и охраны зеленых насаждений города Москвы. М.: Изд-во Департамента природопользования и охраны окружающей среды, 2002. 140 с.
- [21] Инструкция по проведению инвентаризации и паспортизации городских озелененных территорий. М.: Прима-Пресс-М, 2002. 23 с.
- [22] Кругляк В.В., Гурьева Е.И. Ландшафтная архитектура и садово-парковое строительство парков санаториев и курортов Воронежской области. Воронеж: Изд-во Воронежского государственного университета, 2010. 156 с.
- [23] Кругляк В.В. Лесомелиорация агроландшафтов. Воронеж: Изд-во Воронежского ГАУ, 2018. 144 с.
- [24] Young G. Walking Londons parks and gardens. London (UK): New Holland Publishers, 1998, p. 222.
- [25] Newbury T. The Ultimate Garden designer. London (UK): Word Losk, 1995, p. 256.
- [26] Кругляк В.В., Сокольская О.Б., Терешкин А.В. Рекреационные ресурсы провинций России. Воронеж: Научная книга, 2011. 174 с.
- [27] Машкин С.И. Дендрология Центрального Черноземья. Систематика, кариология, география, генезис, экология и использование местных и интродуцированных деревьев и кустарников. Воронеж: Изд-во Воронежского государственного университета, 1971. 344 с.
- [28] Негрбов В.К., Русинов П.С. Шкала цветовых тонов. Вып. 1. Воронеж: Истоки, 2002. 52 с.
- [29] Московские цветы и ландшафтный дизайн. Каталог. М.: Белый город, 2006. 272 с.
- [30] Карпун Ю.Н. Декоративная дендрология Северного Кавказа. СПб.: Изд-во Инновационного центра защиты растений, 2006. 392 с.
- [31] V Международный фестиваль «Императорские сады России». Выставка ландшафтного дизайна «С чего начинается Родина...» Каталог: СПб.: Изд-во АФК «Система», 2012. 332 с.
- [32] Кругляк В.В., Гурьева Е.И. Древодводство. Воронеж: Изд-во ВГЛУ, 2011. 144 с.
- [33] Григорьевская А.Я., Зелепукин Д.С. Флора дубрав городского округа город Воронеж: биогеографический, экологический, природоохранный аспекты. Воронеж: Воронежская областная типография. Изд-во им. Е.А. Болховитинова, 2013. 260 с.

Сведения об авторах

Кругляк Владимир Викторович [✉] — д-р с.-х. наук, профессор ФГБОУ ВО «ВГАУ имени императора Петра I», kruglyak_vl@mail.ru

Гурьева Елена Ивановна — канд. с.-х. наук, доцент ФГБОУ ВО «Воронежский государственный технический университет», qurjeva_el@mail.ru

Карташова Нелли Павловна — канд. с.-х. наук, доцент ФГБОУ ВО «Воронежский государственный лесотехнический университет имени Г.Ф. Морозова», Kartashova_73@mail.ru

Царегородцев Алексей Васильевич — канд. с.-х. наук, доцент ФГБОУ ВО «Воронежский государственный лесотехнический университет имени Г.Ф. Морозова», tsar.ru@qmail.com

Поступила в редакцию 06.09.2021.

Одобрено после рецензирования 30.09.2021.

Принята к публикации 06.12.2021.

INNOVATIVE VORONEZH «GARDEN CITY» INTERNATIONAL FESTIVAL OF GARDENS AND FLOWERS

V.V. Kruglyak¹✉, E.I. Guryeva², N.P. Kartashova³, A.V. Tsaregorodtsev³

¹Voronezh State Agrarian University after Emperor Peter the Great, 1, Michurina st., 394087, Voronezh, Russia

²Voronezh State Technical University, 20 th anniversary of October, 84, st., 394006, Voronezh, Russia

³Voronezh State Forestry University named after G.F. Morozov, 8, Timiryazeva st., 394087, Voronezh, Russia

kruglyak_vl@mail.ru

The principles of the Voronezh International Festival of Gardens and Flowers «Garden City» are considered. The results of scientific and experimental research carried out on the territory of the urban district of Voronezh are presented. The displays of the Botanical Garden named after professor B.M. Kozo-Polyansky in Voronezh State University are described. The distribution of the territory of Voronezh Central Park by points of sanitary and hygienic state for 9 quarters on an area of 101.0 hectares for plantings and open space is given. The structure of the Voronezh International Festival of Gardens and Flowers «Garden City» from 2011 to 2020 is analyzed and presented.

Keywords: International festival, floriculture, landscape art


Ссылка для цитирования: Kruglyak V.V., Guryeva E.I., Kartashova N.P., Tsaregorodtsev A.V. *Innovatsionnyy Voronezhskiy Mezhdunarodnyy festival' sadov i tsvetov «Gorod-sad»* [Innovative Voronezh «Garden City» International Festival of Gardens and Flowers]. *Lesnoy vestnik / Forestry Bulletin*, 2022, vol. 26, no. 1, pp. 58–68. DOI: 10.18698/2542-1468-2022-1-58-68

References

- [1] Regel' A.E. *Izlyashchnoe sadovodstvo i khudozhestvennyye sady* [Fine gardening and artistic gardens]. Moscow: Fiton+, 2007, 312 p.
- [2] Khrapach V.V. *Landshaftnyy dizayn* [Landscaping]. St. Petersburg: Lan', 2019, 312 p.
- [3] Galdina T.E., Chernodubov A.I. *Innovatsionnyye tekhnologii vyrashchivaniya dekorativnykh rasteniy* [Innovative technologies for growing ornamental plants]. Voronezh: VGLTU, 2018, 178 p.
- [4] *Rasteniya Krasnoy knigi Rossii v kollektsiyakh botanicheskikh sadov i dendrariyev* [Plants of the Red Book of Russia in the collections of botanical gardens and arboretums]. Moscow: GBS RAS; Tula: IPP «Grif and K», 2005, 144 p.
- [5] Volod'ko I.K. *Tsentral'nyy botanicheskiy sad NAN Belarusi: kolleksii i ekspozitsii* [Central Botanical Garden of the National Academy of Sciences of Belarus: collections and expositions]. Ed. V.V. Titok. Minsk: Belaruskaya Navuka, 2019, 254 p.
- [6] Nefedov P.V. *Putevoditel' po VDNKh* [Guide to VDNKh]. Moscow: Printing house «PNB Print», 2014, 336 p.
- [7] Kireeva M.F., Pugacheva G.M., Martynova V.V., Ivanova N.V., Kuzicheva O.A., Kuzichev B.A. *V mire tsvetov. Lili, gladiolusy, astrы. Sorta selektsii VNIIS im. I.V. Michurina* [In the world of flowers. Lilies, gladioli, asters. Varieties of the VNIIS them I.V. Michurin]. Michurinsk-Naukograd: Tambov Printing House «Proletarskiy Svetoch», 2008, 128 p.
- [8] Voronin A.A., Komova A.V., Mukovnina Z.P., Safonova O.N. *Botanicheskiy sad im. B.M. Kozo-Polyanskogo Voronezhskogo gosuniversiteta i ego introduktsionnye resursy v publikatsiyakh sotrudnikov (1937–2016)* [Botanical Garden named after B.M. Kozo-Polyansky Voronezh State University and its introduction resources in the publications of employees (1937–2016)]. Voronezh: Scientific book, 2017, 196 p.
- [9] Voronin A.A., Mukovnina Z.P., Komova A.V., Nikolaev E.A. *Botanicheskiy sad im. prof. B.M. Kozo-Polyanskogo Voronezhskogo gosuniversiteta: nauchnyy, obrazovatel'nyy i ekskursionno-prosvetitel'skiy resursy* [Botanical Garden named after prof. B.M. Kozo-Polyansky Voronezh State University: scientific, educational and excursion-educational resources]. Ed. V.N. Kalaev. Voronezh: Rose of the Winds, 2014, 140 p.
- [10] Sokolova T.A., Bochkova I.Yu. *Dekorativnoe rastenievodstvo: Tsvetovodstvo* [Ornamental plant growing: Floriculture]. Moscow: Academy, 2004, 432 p.
- [11] Sokolova T.A. *Tsvetovodstvo dlya otkrytogo grunta* [Floriculture for open ground]. Moscow: MSFU, 2001, 115 p.
- [12] Sokolova T.A. *Tsvetochnoe oformlenie. Tsvetovye kharakteristiki rasteniy i proporsii* [Floral decoration. Color characteristics of plants and proportions]. Moscow: MSFU, 1999, 64 p.
- [13] *Metodika sistemnykh issledovaniy lesoagrarnykh landshaftov* [Methodology for systemic studies of forest agricultural landscapes]. Moscow: VASKHNIL, 1985, 112 p.
- [14] GOST 25769–83 *Sazhentsy derev'ev khvoynnykh porod dlya ozeleneniya gorodov* [Saplings of coniferous trees for landscaping cities]. Specifications of June 23, 2009. Moscow: Rosstandart, 2009, 10 p.
- [15] GOST 28329–89 *Ozelenenie gorodov. Terminy i opredeleniya* [Greening of cities. Terms and Definitions]. Moscow: Ed. Standards, 1990, 13 p.
- [16] *Bioraznoobrazie goroda Voronezha* [Biodiversity of the city of Voronezh]. Ed. O.P. Negrobov. Voronezh: Voronezh State University, 2004, 98 p.
- [17] *Kadastr osobo okhranyaemykh territoriy Voronezhskoy oblasti* [Cadastre of Specially Protected Areas of the Voronezh Region]. Ed. O.P. Negrobov. Voronezh: Voronezh State University, 2001, 146 p.
- [18] Gal'perin M.I. *Organizatsiya khozyaystva v prigorodnykh lesakh* [The organization of the economy in the suburban forests]. Moscow: Lesnaya promyshlennost, 1971, 231 p.
- [19] Teodoronskiy V.S., Bogovaya I.O. *Ob'ekty landshaftnoy arkhitektury* [Objects of landscape architecture]. Moscow: MGUL, 2001, 330 p.
- [20] *Pravila sozdaniya, soderzhaniya i okhrany zelenykh nasazhdeniy goroda Moskvy* [Rules for the creation, maintenance and protection of green spaces in the city of Moscow]. Moscow: Department of Nature Management and Environmental Protection, 2002, 140 p.
- [21] *Instruktsiya po provedeniyu inventarizatsii i pasportizatsii gorodskikh ozelenennykh territoriy* [Instructions for inventory and certification of urban green areas]. Moscow: Prima M, 2002, 23 p.

- [22] Kruglyak V.V., Gur'eva E.I. *Landshaftnaya arkhitektura i sadovo-parkovoe stroitel'stvo parkov sanatoriev i kurortov Voronezhskoy oblasti* [Landscape architecture and landscape gardening of parks of sanatoriums and resorts of the Voronezh region]. Voronezh: Voronezh State University, 2010, 156 p.
- [23] Kruglyak V.V. *Lesomelioratsiya agrolandshaftov* [Forest reclamation of agricultural landscapes]. Voronezh: Voronezh GAU, 2018, 144 p.
- [24] Young G. *Walking Londons parks and gardens*. London (UK): New Holland Publishers, 1998, p. 222.
- [25] Newbury T. *The Ultimate Garden designer*. London (UK): Word Losk, 1995, p. 256.
- [26] Kruglyak V.V., Sokol'skaya O.B., Tereshkin A.V. *Rekreatsionnye resursy provintsiy Rossii* [Recreational resources of the provinces of Russia]. Voronezh: Scientific book, 2011, 174 p.
- [27] Mashkin S.I. *Dendrologiya Tsentral'nogo Chernozem'ya. Sistematika, kariologiya, geografiya, genezis, ekologiya i ispol'zovanie mestnykh i introdutsirovannykh derev'ev i kustarnikov* [Dendrology of the Central Black Earth Region. Taxonomy, karyology, geography, genesis, ecology and the use of native and introduced trees and shrubs]. Voronezh: Voronezh State University, 1971, 344 p.
- [28] Negrobov V.K., Rusinov P.S. *Shkala tsvetovykh tonov* [Color scale]. Issue 1. Voronezh: Istoki, 2002, 52 p.
- [29] *Moskovskie tsvety i landshaftnyy dizayn. Katalog* [Moscow flowers and landscape design. Catalog]. Moscow: Bely Gorod, 2006, 272 p.
- [30] Karpun Yu.N. *Dekorativnaya dendrologiya Severnogo Kavkaza* [Decorative dendrology of the North Caucasus]. St. Petersburg: Innovation center for plant protection, 2006, 392 p.
- [31] *V Mezhdunarodnyy festival' «Imperatorskie sady Rossii». Vystavka landshaftnogo dizayna «S chego nachinaetsya Rodina...» Katalog* [V International Festival «Imperial Gardens of Russia». Exhibition of landscape design «Where does the Motherland begin...». Catalog]. St. Petersburg: AFK Sistema, 2012, 332 p.
- [32] Kruglyak V.V., Gur'eva E.I. *Drevovodstvo* [Tree breeding]. Voronezh: VGLTA, 2011, 144 p.
- [33] Grigor'evskaya A. Ya., Zelepukin D.S. *Flora dubrav gorodskogo okruga gorod Voronezh: biogeograficheskiy, ekologicheskiy, prirodookhrannyi aspekty* [Flora of oak forests of the city district of Voronezh: biogeographic, ecological, nature conservation aspects]. Voronezh: Voronezh regional printing house. Publishing house im. E.A. Bolkhovitinova, 2013, 260 p.

Authors' information

Kruglyak Vladimir Viktorovich  — Dr. Sci. (Agriculture), Professor of the Voronezh State Agrarian University named after Emperor Peter the Great, kruglyak_vl@mail.ru

Gur'eva Elena Ivanovna — Cand. Sci. (Agriculture), Associate Professor of Voronezh State Technical University, qurjeva_el@mail.ru

Kartashova Nelli Pavlovna — Cand. Sci. (Agriculture), Associate Professor of the Voronezh State Forestry University named after G.F. Morozova, Candidate of Agricultural Sciences, Kartashova_73@mail.ru

Tsaregorodtsev Aleksey Vasil'evich — Cand. Sci. (Agriculture), Associate Professor of Voronezh State Forestry University named after G.F. Morozova, tsar.ru@qmail.com

Received 06.09.2021.

Approved after review 30.09.2021.

Accepted for publication 06.12.2021.

Вклад авторов: все авторы в равной доле участвовали в написании статьи
Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов
Authors' Contribution: All authors contributed equally to the writing of the article
The authors declare that there is no conflict of interest

ОСОБЕННОСТИ ЛАНДШАФТНОГО ПРОЕКТИРОВАНИЯ ОБЪЕКТОВ Г. ЕРЕВАНА

В.А. Леонова¹, В.Е. Чатинян², Н.Т. Ефремян²

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

²МНКО «Озеленение и охрана окружающей среды», 0010, Республика Армения, г. Ереван, ул. П. Бюзанда, д. 1/3

chat1992@bk.ru

Приведена современная структура организаций, отвечающих за озеленение и эксплуатацию древесных насаждений г. Еревана, проведено сравнение с советскими аналогичными учреждениями. Рассмотрены условия и ландшафтное проектирование первого весеннего сезона посадки 2021 г., выполненное новой организацией «Озеленение и охрана окружающей среды». Проанализированы результаты ландшафтного проектирования различных городских объектов и дано краткое описание эскизного проектирования по реконструкции озелененных территорий (на примере семи объектов г. Еревана).

Ключевые слова: Ергорзеленстрой, Кетрон, сквер им. Мартироса Сарьяна, Ахтанак, Ераблур, Малатия, жилой микрорайон Нор-Норк, церковь Сурб Григор Лусаворич

Ссылка для цитирования: Леонова В.А., Чатинян В.Е., Ефремян Н.Т. Особенности ландшафтного проектирования объектов г. Еревана // Лесной вестник / Forestry Bulletin, 2022. Т. 26. № 1. С. 69–83.

DOI: 10.18698/2542-1468-2022-1-69-83

В советский период истории в столице Армении — г. Ереване, как и в других крупных городах страны, существовала организация, отвечающая за озеленение города под названием «Ергорзеленстрой». Структура организации была представлена административной и кадровой службами, проектно-сметной группой, отделом эксплуатации и совхозом декоративных культур. Деревья, кустарники, луковицы растений и рассада цветов, рулонный газон — все это выращивалось в нескольких отделениях совхоза, расположенных в самом городе и в его пригородах. Качество материала было достаточно высоким, так как оно регламентировалось государственным стандартом СССР, а эксплуатация объектов озеленения находилась под постоянным контролем и подвергалась строгой отчетности. В то время в Ереване была создана научно обоснованная система озеленения с учетом сложных климатических условий, существующая до ныне [1–4]

После развала Советского Союза единая организация по ведению зеленого хозяйства Еревана была распущена (ее архивы не сохранились), а функции озеленения и эксплуатации зеленых насаждений были переданы 12 административным районам города. Однако ведение городского хозяйства частным образом и отсутствие единой государственной стратегии развития зеленых ресурсов города отрицательно сказались на общем состоянии деревьев и кустарников, отразилось на их количестве [5, 6]. Поэтому в 2019 г.

решением Ереванского городского совета (Совета старейшин) было принято решение о создании организации «Озеленение и охрана окружающей среды» при мэрии города [7]. Она должна была иметь следующую структуру: административную и кадровую службы, управление ландшафтной архитектуры и дизайна, управление геодезии, 10 административных районных служб по эксплуатации и городской питомник по выращиванию посадочного материала. В январе 2020 г. такая организация была создана, и фактически она воссоздавала структуру советского «Ергорзеленстроя», однако с более широкими функциями [8].

Управление ландшафтной архитектуры приступило к работе в сентябре 2020 г. Впрочем, вторая карабахская война (сентябрь — ноябрь 2020 г.) задержала реализацию многих планов, в том числе и подбор кадрового состава, поиск помещений и оборудования до конца января 2021 г., поэтому проектирование ландшафтных объектов проходило в сложных и нестандартных условиях. К началу весны 2021 г. была подготовлена проектно-сметная документация (в разной степени готовности) на проектирование семи объектов площадью около 9 га и реконструкцию цветников центрального района города (Кетрон) площадью более 4000 м².

Цель работы

Цель работы — проведение анализа процесса ландшафтного проектирования и подготовки городских территорий к весенней посадке 2021 г.

Методика исследования

Процесс ландшафтного проектирования и реконструкции существующих озелененных территорий включал в себя четыре этапа:

- 1) создание или получение готовой геодезической подосновы (геоподосновы);
- 2) выход в натуральные условия для проведения предпроектного анализа;
- 3) выполнение рабочего проектирования;
- 4) вынесение проекта в натуральные условия.

Первый этап включал в себя три варианта получения геоподосновы:

а) получение готовых материалов от управления геодезической службы организации «Озеленение и охрана окружающей среды» (два объекта — скверы имени Мартироса Сарьяна и в жилом микрорайоне Б в Малатии);

б) самостоятельные замеры выровненного участка вдоль тоннеля по ул. Егише Чаренца и вычерчивание его геоподосновы (один объект);

в) использование общедоступных космических снимков для создания эскизных вариантов относительно свободных от древесной растительности участков (четыре объекта).

К последним можно отнести три участка в Парке Победы «Ахтанак», склон в Ераблуре, сквер в II жилом массиве Нор-Норк, центральная часть территории по обе стороны от главной лестницы церкви Сурб Григор Лусаворич.

Второй этап предусматривал проведение инвентаризации древесных насаждений сквера имени Мартироса Сарьяна (октябрь — ноябрь 2020 г.). Визуальная оценка биологического состояния деревьев проводилась по методике Академии коммунального хозяйства им. А.К. Памфилова (далее — АКХ) на основании трехбалльной шкалы.

На остальных пяти объектах инвентаризация существующей древесной растительности не проводилась по причине нехватки времени.

Третий этап основывался на разработке генпланов по реконструкции территории, в том числе по выявлению свободного пространства для посадки деревьев и кустарников (сквер имени Мартироса Сарьяна и полоса озеленения по ул. Егише Чаренца), созданию планов-схем посадок на основании космических снимков (остальные пять объектов), определению их площади и подбору древесного ассортимента.

Четвертый этап заключался в выносе генпланов или планов-схем в натуральные условия, а также в отбивке территории с помощью кольев для мест посадки деревьев и кустарников, что определяло различную пространственную структуру спроектированных объектов и формировало структуру будущих древесных насаждений.

Результаты и обсуждение

Первая группа объектов. Сквер имени Мартироса Сарьяна (далее — Сквер), созданный в 1970-е годы [9], располагается в центральной части города напротив Концертного зала имени Арама Хачатуряна и представляет собой мемориальное место, посвященное одному из великих представителей армянского народа — Мартиросу Сергеевичу Сарьяну. Это одно из излюбленных мест отдыха горожан, где еженедельно проходят вернисажи любительского искусства Армении. Он отличается сложной геометрической формой и классической крестообразной планировкой в своей центральной части. Вдоль пяти сторон (из шести) проходит интенсивное городское транспортное движение, и поэтому антропогенная нагрузка на природную составляющую Сквера огромна.

Границей Сквера на севере и северо-востоке служит пр-т Маршала Баграмяна, на востоке и юго-востоке — пр-т Месропа Маштоца, на западе — ул. Степана Зоряна. В центре его находится белоснежно-мраморная скульптура великого художника (1986, скульптор Левон Грачевич Токмаджян) [9], размещенная на трехступенчатом постаменте, который вписан в круг. Круг расположен на пересечении двух крестообразных осей, образующих планировку Сквера и оформлен газоном с цветниками (рис. 1, а).

Функции Сквера многозначны: транзитная и мемориальная, по выходным дням в течение года он превращается в площадку для вернисажа. В юго-западной части сквера располагается еще один памятник, установленный в 2007 г. в честь 70-летия режиссера Эдмонда Гарегиновича Кеосаяна и 35-летия выхода его кинофильма «Мужчины» (рис. 1, б), — это композиция скульптора Давида Юрьевича Минасяна. Он представляет собой скульптурную группу из четырех персонажей — главных героев фильма, роли которых исполнили советские актеры Фрунзе (Мгер) Мкртчян, Азат Шеренц, Авет Геворкян и Армен Айвазян [10]. Несмотря на то что памятник находится в тени высоких платанов и не заметен для пешеходов, тем не менее он привлекает внимание отдыхающих и особенно туристов как один из лучших памятников Еревана.

Главный вход в Сквер находится на востоке, от него формируется короткая ось на запад, именно на эту ось ориентирована скульптура М.С. Сарьяна. Вторая длинная ось проходит с севера на юг, имеет ширину более 5 м и заканчивается двумя круглыми площадками с цветниками в их центрах. Все площадки и основная композиционная ось предназначены для проведения вернисажа художников-любителей. По ул. Степана Зоряна



а



б

Рис. 1. Скульптурные композиции — памятник Мартиросу Сарьяну (а) и памятник «Мужчины» (б)
 Fig. 1. Sculptural compositions — a monument to Martiros Saryan (a) and a monument to «Men» (б)

и пр-та Месропа Маштоца имеется по три выхода. Ранее площадь Сквера составляла 1,1 га, но часть территории на севере, юге и в центральной части были отданы под аренду, теперь на них располагаются кафе, соответственно, современная площадь составляет несколько более 0,8 га.

Территорию Сквера можно разделить на две части: северную и южную. В северной части расположено двухэтажное закрытое кафе. Здесь сосредоточена максимальная транспортная нагрузка от движения по пр-ту Маршала Баграмяна и ул. Московян. У кафе находится хозяйственный участок, он не ухожен, поэтому территория не используется по назначению, т. е. для отдыха горожан.

В южной части Сквера в одноэтажном здании находится кафе с широкой открытой летней верандой, активно использующее прилегающее пространство. Территория около кафе ухожена и достаточно гармонично вписывается в ландшафт Сквера.

В центральной части Сквера есть еще одно маленькое кафе (на востоке, рядом со входом с проспекта Месропа Маштоца) с прилегающим участком, который имеет выход на Концертный зал имени Арама Хачатуряна. На его территории сохранились старые насаждения.

Таким образом, участки перечисленных трех кафе существенно уменьшили площадь важного и монументального городского ландшафтного объекта, а окружающая их озелененная территория отличается и по состоянию и по качеству (рис. 2, а, б).

Сквер имеет сложную структуру со зданиями и строениями, тремя большими площадками для отдыха. Его активно посещают горожане разных возрастов и это одно из любимых мест отдыха ереванцев.

В 2020 г. в Сквере проводили работы по благоустройству и озеленению в связи с 140-летием

М.С. Сарьяна [11]. Инвентаризация насаждений показала, что на его территории произрастает 35 видов деревьев и кустарников, что является большим дендрологическим перенасыщением для такого типа городского объекта, поэтому его растительность мало запоминается, за исключением больших 70-летних платанов, которые имеют возможность нормально развиваться, но все остальные древесные растения в их тени достаточно угнетены.

Пространственная структура Сквера уже сложилась — преобладает закрытый тип пространства, что благоприятно для условий Еревана, практически во всем Сквере в первом ярусе доминируют *платаны*, во втором — встречаются *белая акация* и *ясень*, в третьем — *шелковица*, *клен ясенелистный*, *вяз мелколистный*, *туя западная*. Однако ни второй, ни третий ярусы в структуре насаждений ярко не выражены, так как представлены одиночными деревьями.

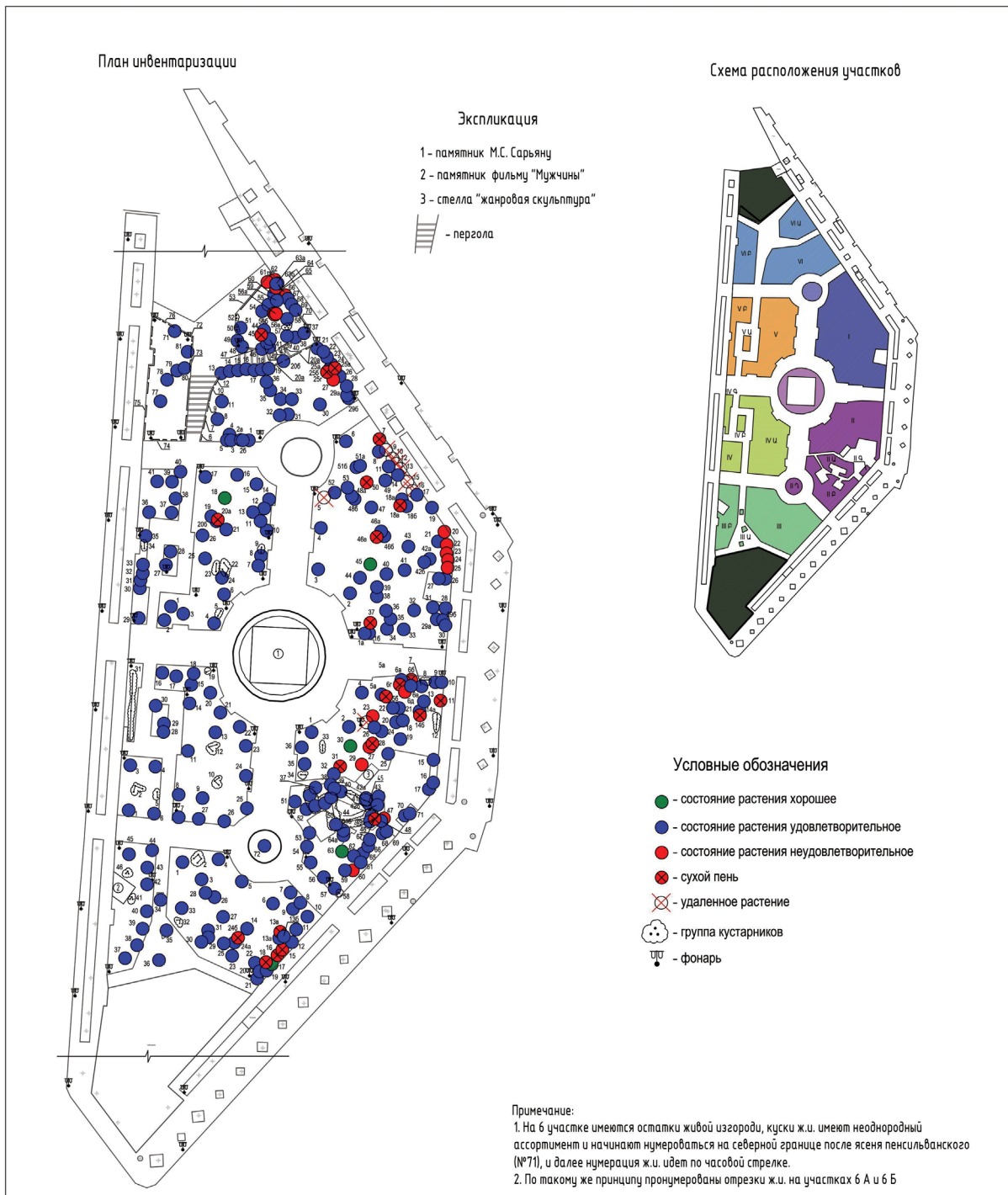
Кустарники в пределах Сквера находятся в ослабленном состоянии, поскольку закончился их биологический срок жизни, за исключением очень мощных единичных экземпляров *чубушника*, *сирени*, *дерена*, *боярышника*. Встречаются молодые посадки *форзиции*, *розы сирийской*, *калины бульденеж*. По причине отсутствия многоярусности, которая повышает природную устойчивость городских насаждений, их структура нуждается в реконструкции, прежде всего, в создании кустарникового яруса.

Травостой также практически отсутствует вследствие сплошного затенения почвы. Цветники на круглых площадках повторяют их форму и представлены хризантемой мелкоцветной и туей западной шаровидной формы, произрастающей по центру. Располагаясь в области большого затенения, эти цветники они не привлекают внимания посетителей. Баланс территории представлен в таблице.



a

Рис. 2. Топографические карты нынешнего положения сквера имени Мартироса Сарьяна (а) и план его инвентаризации (б)
Fig. 2. Topographic maps of the current position of the garden square named after Martiros Saryan (a) and the plan of its inventory (b)



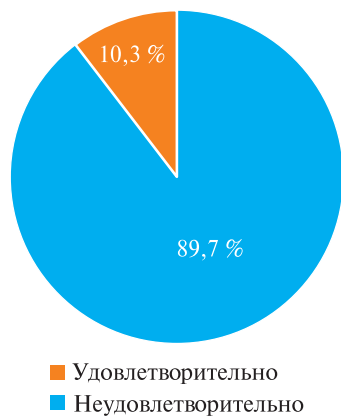


Рис. 3. Анализ состояния деревьев
Fig. 3. Analysis of the trees state

Баланс территории сквера имени Мартироса Сарьяна
Balance of the garden square named after Martiros Saryan

Конструктивный элемент	Площадь, S	
	м ²	%
Здания и сооружения	389,5	4,8
Дорожно-тропиночная сеть	2973,0	36,4
Озелененные территории	4807,0	58,8
под деревьями	4153,5	86,4
под кустарниками	446,2	9,3
под цветниками	76,3	1,6
под газоном	131,0	2,7
Итого:	8169,5	100

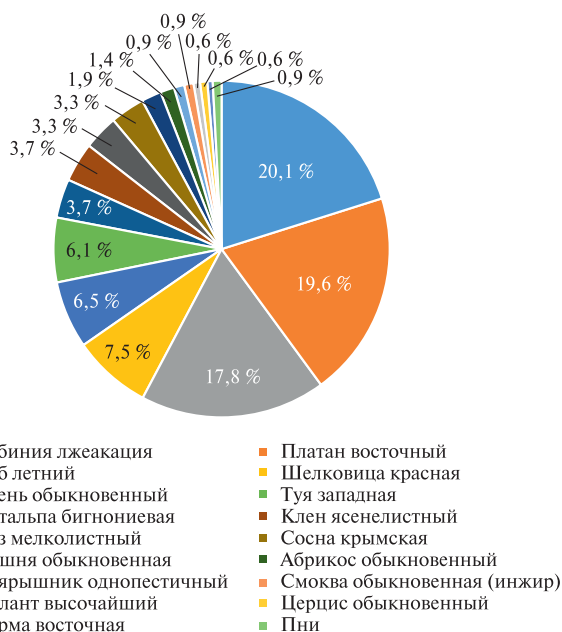


Рис. 4. Анализ ассортимента деревьев
Fig. 4. Analysis of the trees assortment



Рис. 5. Анализ сортамента кустарников
Fig. 5. Analysis of the shrubs assortment

Инвентаризация насаждений Сквера проводилась осенью 2020 г. и показала, что в настоящее время в нем произрастает 214 деревьев и 384 кустарника. По причине повышенной затененности (посадки старые) деревьев в хорошем состоянии нет (рис. 3). Преобладают деревья в удовлетворительном состоянии с различными пороками (почти 90 %), 20 из них требуют санитарной рубки, а два больших пня — выкорчевки или дробления (для проведения дальнейших посадок).

Анализ ассортимента показал, что на территории Сквера произрастает 19 видов деревьев (рис. 4). К основному ассортименту, который и

определяет художественный образ, относятся три вида: *платаны*, *робиния лжеакация* и *дуб летний*, занимающие более 57,5 % общей площади. К дополнительному ассортименту можно отнести 10 видов: *шелковицу*, *ясень*, *катальпу*, *вяз*, *клен*, *сосну*, *вишню* и *абрикос*, занимающие 38,8 % соответственно.

На территории Сквера произрастает достаточно обширный ассортимент кустарников 16 видов, три из которых доминируют — это *бирючина*, *чубушник*, *сирийская роза* и занимают более 59,3 % от общего количества (рис. 5). На 10 видов приходится 38,4 % площади — это *форзиция*, *дерен*, *сирень*,

жимолость, клен ясенелистый, калина бульденеж, спирея вангутта, робиния лжеакация, вяз (вяз и клен ясенелистый — естественный подрост).

Кустовидная форма липы и боярышник занимают около 0,6 % и встречаются в одиночных экземплярах от 1 до 2 шт. Имеется 14 экземпляров сухих кустарников.

В настоящее время преобладают кустарники солидного возраста (более 50 лет), остальные погибли по естественным причинам. Недостаток кустарников выражается в практическом отсутствии нижнего яруса, который выполняет в условиях города максимальную функцию по очистке воздуха от пыли и выхлопных газов, а также по снижению шума.

Концепция реконструкции озелененных территорий. На основании проведенного предпроектного анализа и результатов инвентаризации сделан вывод, что насаждения нуждаются в реконструкции с помощью метода досадки кустарников. Они должны сформировать нижний ярус насаждений, выполняющий не только декоративную, но и санитарно-гигиеническую функцию. Поскольку ассортимент кустарников достаточно богатый и включает в себя 16 видов, на его основании был разработан проектируемый ассортимент для реконструкции насаждений. При этом был введен только один вид хвойного дерева — туя восточная, которой в количестве 130 шт. планируется обсадить круглую площадку со скульптурой М.С. Сарьяна для большей выразительности в различные сезоны года.

Нижний ярус насаждений следует сформировать из 10 видов кустарников, увеличив существующие группы в размерах. Планируется посадить 678 кустарников, из которых пять видов, в частности *форзиция промежуточная, сирийская роза, спирея Вангутта, дерен белый и калина бульденеж*, составят почти 70 % всех кустарников.

Таким образом, основное внимание уделено красивоцветущим кустарникам (78 % общего количества), включающим также *чубушник обыкновенный, сирень обыкновенную и айву японскую*. На декоративно-лиственные кустарники будут приходиться три вида (22 %): *жимолость татарская, дерен белый* (при необходимости его можно заменить на *свидину кроваво-красную*) и *боярышник однопестичный*.

Большое количество красивоцветущих кустарников украсит Сквер в весенне-летний период (на весенний период будет приходиться 1/3 всех цветущих кустарников). Таким образом, если соотношение деревьев и кустарников в настоящее время составляет 1:1,8, то после реконструкции древесных насаждений, соотношение составит почти 1:5, что будет соответствовать норме для скверов.

Озеленение полосы по ул. Корюна. Озелененная полоса вдоль автотуннеля длиной 81,8 м располагается напротив здания бывшего Министерства внутренних дел, имеет площадь более 489 м², газон в удовлетворительном состоянии и остатки от рядовой посадки туи западной (3 шт.). Туи находятся практически в центре полосы, поэтому было решено к ним досадить еще одну, чтобы создать полноценную группу из 4 шт. Оставшееся пространство было равномерно разбито на 13 кустарниковых групп двух типов: декоративно-лиственную и смешанную чередующиеся между собой. Первый тип — это *боярышник однопестичный* в сочетании с *барбарисом Тунберга (форма краснолистная)*, второй тип — *боярышник однопестичный и роза сирийская* двух цветов (розового и фиолетового) (рис. 6). За смешанной группой вдоль подпорной стены туннеля были посажены плющи.

Вторая группа объектов

Ераблур (дословный перевод с арм. яз. — три холма) — военное кладбище, расположенное в предместьях Еревана, на котором захоронены герои Армении, а с 1988 г. здесь покоятся армянские герои Карабахской войны [12]. Под озеленение был отнесен склон вдоль основного въезда на кладбище: полоса шириной от 20 до 40 м и длиной около 700 м, общей площадью 4,5 га [13]. На ней уже имеются посадки *биоты восточной*, поэтому целью композиционного решения было создание защитно-декоративной полосы из *тополя пирамидального и белого, платана восточного, сосны обыкновенной, миндаля обыкновенного и абрикоса обыкновенного, церциса европейского* и досадки (в выпавшие места) *биоты восточной* (рис. 7).

Парк Победы «Ахтанак» (далее — Парк). Создание Парка начали еще в 1930-х годах. Тогда он носил название *Городской парк в Арабкире*. После окончания Великой Отечественной войны его переименовали в *Парк Победы*. Изначально под него было выделено 48 га сомкнутого леса [14]. К началу XXI в. в ведении компании, ответственной за благоустройство Парка, осталось всего 33 га.

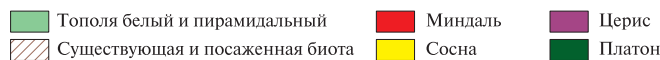
В 1950 г. в Парке был установлен памятник И.В. Сталину (скульптор С.Д. Меркуров, архитектор Р.С. Исраэлян) высотой 50 м [15], после чего Парк стали неофициально называть Монументом. В 1962 г. скульптура Сталина была снята с постамента, а в 1967 г. на ее месте была установлена скульптура Мать Армения (скульптор А.А. Арутюнян). Часть лесных участков Парка была вырублена в 1990-х на растопку «буржук» горожанами, часть была распродана городскими властями под строительство элитных особняков. Участки парка с аттракционами сдаются в аренду, остальные (с насаждениями) являются городской территорией [16].



Рис. 6. Концепция реконструкции полосы озеленения вдоль ул. Корюна
Fig. 6. The concept of reconstruction of the green planting zone along the street Koryun



Рис. 7. План-схема посадок на склоне в Ераблуре
Fig. 7. Plan-scheme of plantings on a slope in Yerablur



В 1958–1961 гг. по проекту архитектора О.А. Акопяна в Парке было устроено искусственное озеро — Аревик. Оно сформировано в форме оз. Севан, а его максимальная глубина составляет 8,5 м. Первоначально на берегах оз. Аревик были пляжи, и оно было открыто для купания, для чего вода в нем подвергалась хлорированию. При этом она использовалась для оросительных работ в Парке, а хлор оказывал негативное влияние на состояние растительности. С 1969 г. озеро не хлорируют и его закрыли для купания. В 1983–1985 гг. Парк был закрыт для реконструкции и на тот период воду из озера спускали. В настоящее время на озере открыт прокат лодок и катамаранов [17].

Участок 1. В северной части Парка находится аллея Пограничников России, открытая в 2000 г. Более восьми десятилетий русские пограничники охраняют в Армении южные границы прежде — СССР, ныне — СНГ. На севере Еревана (административный округ Канакер — Зейтун) в старинном здании расположилась русская община с русской церковью в честь Покрова Пресвятой Богоро-

дицы, построенной в 1913–1916 гг. Это бывшее селение Кенакиры, в котором был расквартирован 1-го Полтавский полк Кубанского казачьего войска (архитектор — Федор Михайлович Вержбицкий). Этот казачий полк стоял в пригороде Еревана с 1828 г., когда русские войска победоносно освободили Ереван от персидского ига [18, 19].

Открытие аллеи Пограничников России стало данью уважения русским пограничникам и признания их боевой славы, поэтому было принято решение возвести монумент в их честь [20]. К сожалению, участок Парка вдоль этой аллеи пришел в упадок, и в апреле 2021 г. было принято решение его реконструировать. На рис. 8 приведена план-схема, в соответствии с которой были созданы рябиновая аллея и березово-рябиновая роща площадью 0,51 га как символ России.

Участок 2 (рис. 9). Располагается на юго-западе Парка. В верхней его части, прилегающей к аллее влюбленных, насаждения представлены *ясенем обыкновенным*, *акацией белой* и *кленом ясенелистным*. Реконструкцией предусмотрены



Рис. 8. План-схема посадок на участке 1 в Парке Победы «Ахтанак»
Fig. 8. Plan-scheme of plantings on site 1 in Victory Park «Akhtanak»

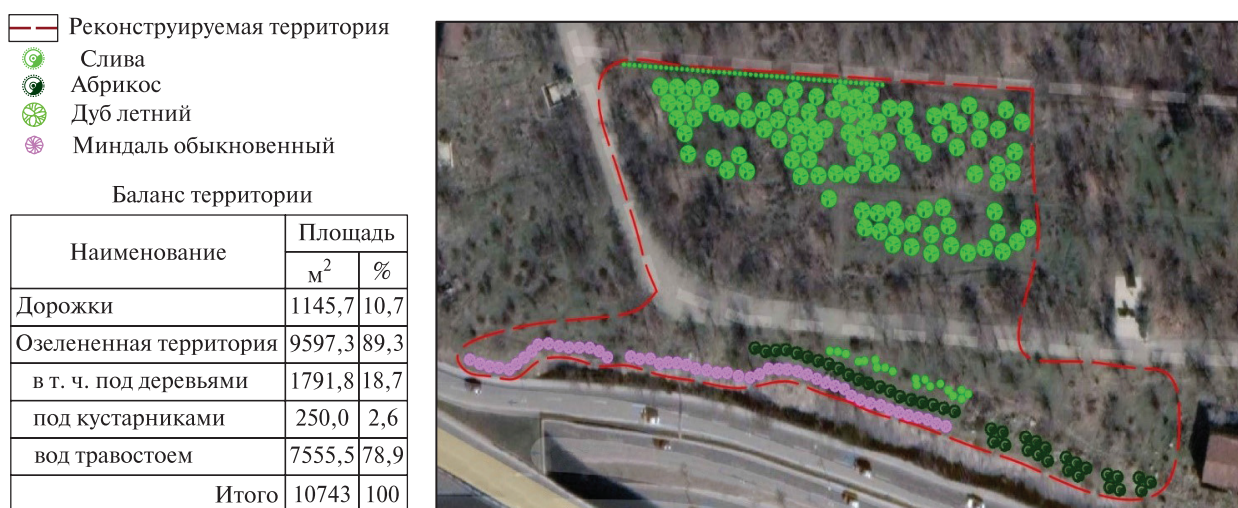


Рис. 9. План-схема посадок участка 2 в Парке Победы «Ахтанак»
Fig. 9. Plan-scheme of plantings on site 2 in Victory Park «Akhtanak»

санитарная рубка имеющегося древостоя и удаление поросли, а также досадка 100 экземпляров дуба летнего в целях создания в дальнейшем дубравы, обладающей более высокими декоративными качествами и более долговечной. Вдоль аллеи спланирована живая изгородь из боярышника однопестичного. Таковы первичные посадки для формирования новой структуры насаждений, которые в дальнейшем будут продолжены.

Юго-западная часть участка 2 решена в другом ключе: вдоль склона на пустых местах первым рядом будет посажен миндаль обыкновенный, вторым — абрикос обыкновенный, а внутри существующие насаждения дополнит слива домашняя.

Посадки плодовых по высокой кромке Парка рассчитаны на весенний декоративный эффект во время цветения, который позволит подчеркнуть юго-западную границу Парка для хорошего просмотра из нижней части города.

Сквер в жилом районе Малатия (далее Сквер). Он является одним из самых крупных в административном округе Малатия — Себастья и располагается в жилом микрорайоне Б2, имеет практически квадратную форму и площадь около 1 га. На севере он граничит со школой № 11, на западе — со школой № 190 им. Г. Гюльбенкяна, на востоке — с гаражами прилегающего жилого дома, на юге — с детским садом № 47.



a

Планировка Сквера геометрическая и представляет собой продольную композиционную ось, протянувшуюся с востока на запад между двумя главными входами, которую пересекают две поперечные оси — с севера на юг, разбивая территорию Сквера на шесть прямоугольников. В центральном, юго-восточном и прилегающем к детской площадке участках имеются различные малые архитектурные формы (МАФ). На севере и юге есть входы второстепенного значения. Северные участки меньше южных, а крайний юго-западный участок сдан в аренду. В центре Сквера располагаются две связанные между собой площадки для отдыха. Озелененные территории между ними разделены короткой поперечной осью, которая на юге заканчивается входом на детскую площадку. В юго-восточном участке располагается спортивная площадка, а в северо-западном — площадка с беседкой (рис. 10, a).



- Будлея Давида (фиолетовая/розовая/белая)
- Спирея Вангутта/японская
- Барбарис Тунберга
- Форзиция средняя
- Бирючина обыкновенная
- ▨ Существующие растения
- Платан
- Биота
- Кatalьпа
- Софора
- Можжевельник казацкий
- Бирючина обыкновенная (поштучно)
- Необходимые безопасные расстояния для деревьев
- Необходимые безопасные расстояния для кустарников
- ≡ Коммуникации

б

Рис. 10. Современное состояние сквера в жилом районе Малатия (a), план-схема посадок (б)
Fig. 10. The current state of the park in the residential area of Malatya (a), the plan of planting (б)

Современное состояние Сквера удовлетворительное, в нем произрастают деревья: *тополь пирамидальный* (остались старые одиночные посадки); *ясень обыкновенный*; *софора японская*; *кельрейтерия метельчатая*; *кatalьпа бигониевидная*, *можжевельник виргинский* (в единичных экземплярах). Однако преобладают плодовые деревья, посаженные жителями: *абрикос* (более

половины всех деревьев); *яблоня*; *груша*; *слива*; *орех грецкий*. Кустарники практически отсутствуют. При этом древесная растительность произрастает хаотично: на севере больше, чем на юге, и Сквер создает впечатление незаконченного объекта.

Концепция реконструкции насаждений Сквера включает в себя новые посадки в открытые пространства, которые позволят создать практически

- Дуб пушистый
- Сосна обыкновенная
- Береза черная
- Ель колючая ф. серебристая
- Форзиция средняя

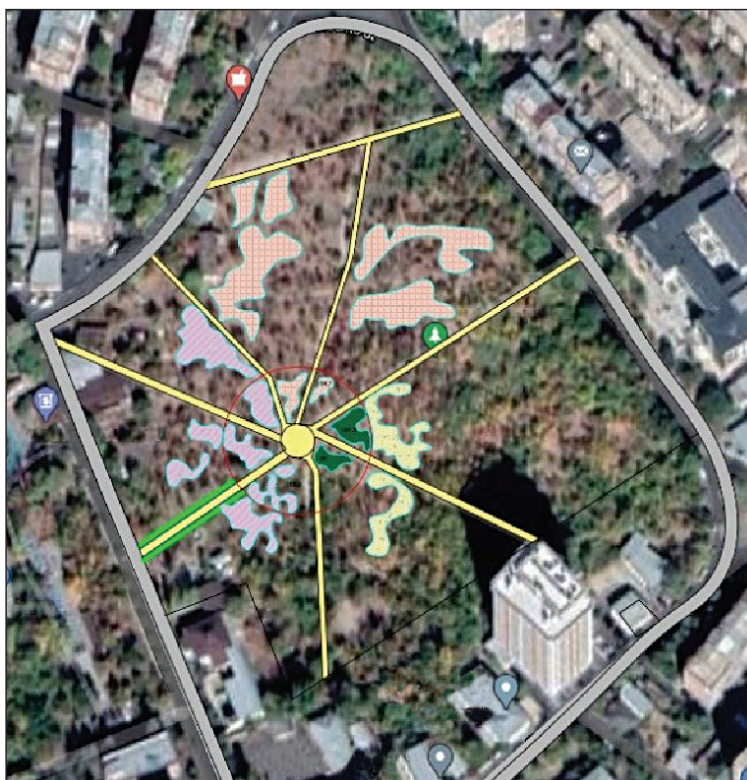


Рис. 11. План-схема посадок в сквере микрорайона Нор-Норк

Fig. 11. Scheme of planting in the public garden of the Nor-Nork microdistrict

полную периметральную обсадку вдоль границ Сквера и детской площадки, которые должны обеспечить максимальную тень во второй половине дня (рис. 10, б). Для этого запланированы следующие мероприятия:

- на юго-западных участках, включая детскую площадку, по периметру разместить рядовые посадки *платана* в сочетании с *бирючиной обыкновенной*;

- северные и восточные участки обсадить *можжевельником виргинским*, который сочетается на востоке с *барбарисом Тунберга ф. краснолистная*;

- оформить один из участков на западе рядовой посадкой из *лоха узколистного* в сочетании с *барбарисом Тунберга ф. краснолистная*;

- высадить вдоль дорожек живые изгороди из *будлеи розовой*, вокруг скамей — *кизильник блестящий*, а вокруг спортивной площадки группы из *будлеи розовой* и *айвы японской*;

- высадить живую изгородь из *барбариса Тунберга* и группу из *форзиции средней* в центральных площадках, в их западных участках с пятью *платанами*, в восточных участках с хвойными композициями — из *можжевельников виргинского* и *казацкого* в сочетании с *калиной бульденеж*;

- осуществить дополнительные групповые посадки во внутренних квадратах из *катальпы бигнониевидной*, *лоха узколистного*, *биоты восточной*.

Данные мероприятия позволят дополнить Сквер древесной растительностью и придать ему законченный вид.

Сквер во II жилом районе Нор-Норк. Сквер имеет сложную геометрическую форму, расположен в жилом микрорайоне, на северо-западе и северо-востоке граничит с ул. Тотовенца, на юго-востоке — с ул. Н. Степаняна, а на юго-западе — с переулком П. Сафаряна.

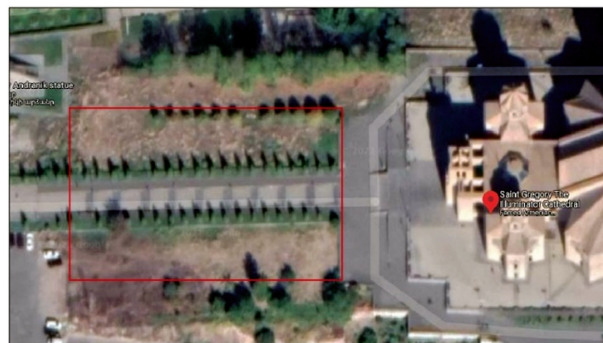
Сквер принадлежит церкви и посвящен Вознесению Иисуса Христа, поэтому на пересечении двух основных крестообразных дорог имеется круглая площадка с памятным камнем высотой около 2 м, олицетворяющим данный исторический евангелический сюжет. Основу планировки представляют две дороги в виде георгиевского креста, служащие композиционными осями с запада на восток и северо-запада на юго-восток. Вокруг камня имеется подковообразная озелененная полоса шириной около 1 м.

В северо-западной части есть две тропы, сокращающие жителям дорогу из магазинов до дома. Остальная территория имеет довольно развитую сеть мелких тропинок — от остановки городского транспорта к жилым домам и в поперечнике между ними — для пешеходных прогулок (рис. 11).

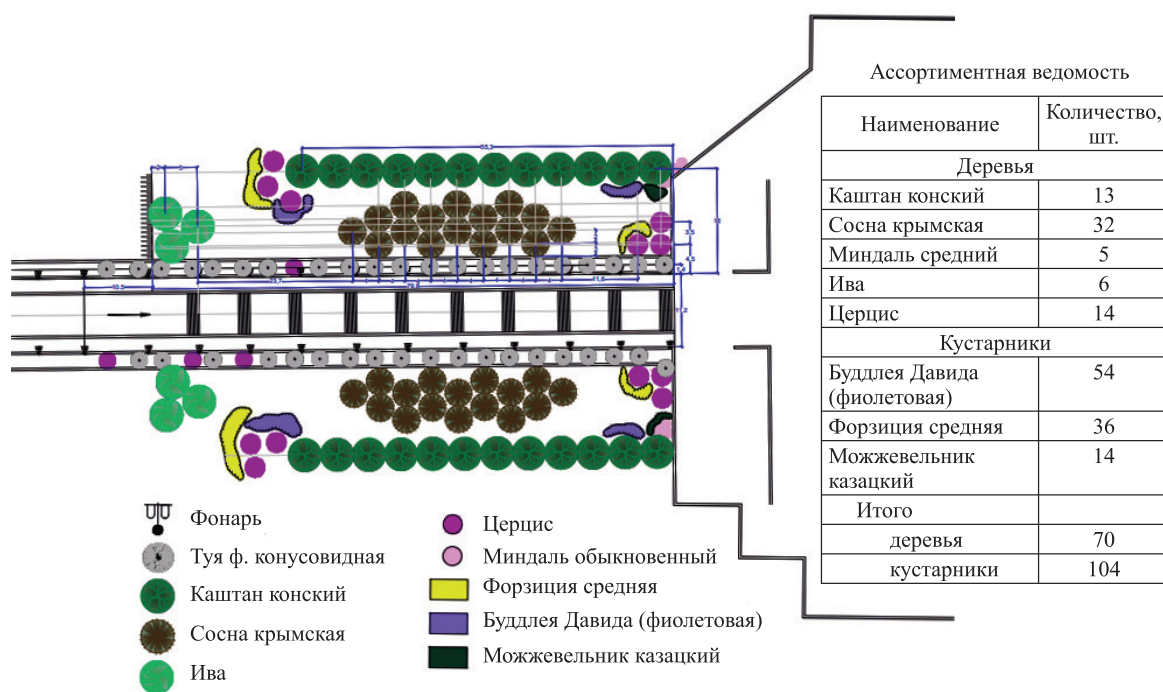
В настоящее время данная часть Сквера не имеет должного ухода, основной растительный ассортимент представлен лиственными видами: *ясенем обыкновенным* и *кленом ясенелистным*. Территория заросла их порослью, поэтому используется в основном как место выгула собак.



Рис. 12. Вид на церковь Сурб Григор Лусаворич с главной лестницей и посадками туй
 Fig. 12. View of the Surb Grigor Lusavorich church with the main staircase and arborvitae trees



a



б

Рис. 13. Центральная часть территории церкви Сурб Григор Лусаворич (а); план-схема посадки (б)
 Fig. 13. The central part of the territory of the Surb Grigor Lusavorich church (a); planting plan (b)

В связи с тем, что появился спонсор, пожелавший осуществить новые посадки, насаждения Сквера расчистили от поросли, а открывшиеся пространства подготовили для посадок дуба пушистого (50 шт. — в юго-западной части), сосны обыкновенной (150 шт. — в северо-восточной), чубушника венечного (100 шт. — вдоль основной дороги) и можжевельника казацкого (15 шт. — около памятного камня).

Посадочный материал приобрели достаточно быстро, и в связи с краткими сроками высадки проводили по измененному эскизу. В итоге

было высажено 50 дубов, 150 сосен, 16 елей колючих (ф. серебристая), 50 берез черных и 70 форзиций средних. Посадки проведены 1–3 мая, затем проложена поливочная сеть. Такая поспешная реконструкция возможна, однако результат посадок, особенно приживаемость растений, будут видны только к осени.

Центральная часть склона храма Сурб Григор Лусаворич. Храм располагается на вершине холма, перед ним — площадка с центральным входом в него и главная лестница, которая выходит на пр-т Тиграна Меца. Лестница делит склон на

две части — восточную и западную. В настоящее время на склоне произрастают одиночные деревья, вокруг входной площадки, в основном, *клен ясенелистный* и *айлант высочайший* (самосев), в западной части есть рядовая посадка *каштана конского обыкновенного* и рядовые посадки *туи западной* вдоль обеих сторон лестницы [21] (рис. 12).

В связи с тем, что появился спонсор, пожелавший оплатить реконструкцию центральной части склона, была разработана план-схема весенних посадок, с учетом существующих насаждений. Реконструкция склона предполагалась по двум участкам: восточному и западному (с двух сторон лестницы), шириной 40 м и длиной 80 м. В западной его части имеется однорядная посадка *каштана конского* в качестве 11 деревьев (одно растение погибло), очевидно, с символическим значением — в честь 12 апостолов Иисуса Христа. Симметрично ему был запланирован ряд *каштана конского* из 12 деревьев на восточной части склона. Оба ряда снизу планировалось подбить двумя группами *церциса европейского* в сочетании с *форзицией* (по 9 шт.) и *тамариксом* (по 9 шт.), а сверху — только *тамариксами* (рис. 13).

Вдоль лестницы нынешние посадки представлены одной *биотой* и 52 *туями западными*, среди которых имеются выпады (14 шт.) и на место которых планируется посадить *церцис европейский*. На проектируемых участках (в их нижней части) запланированы две группы *ивы белой* (*ф. плакучая*), по 3 шт., а выше — две группы *сосны обыкновенной*, по 16 шт., поднимающиеся к верхней площадке. Последняя, в свою очередь, с каждой стороны оформляется группами из *миндаля обыкновенного*, по 3 шт., в сочетании с *можжевельником казацким*, по 7 шт., и *церциса европейского*, по 3 шт., с *форзицией средней*, по 9 шт.

Общее количество деревьев, запланированное на весеннюю посадку, составило 70 шт., кустарников — 158 шт. Посадки выполнены 10 апреля 2021 г.

Выводы

Предпроектный анализ и инвентаризация деревьев и кустарников на первой группе объектов показали возможность подготовить полноценный проект реконструкции по формированию нижнего кустарникового яруса (сквер имени Мартироса Сарьяна) или провести озеленение территории с учетом современных требований (по ул. Корюна).

При наличии на объектах открытого пространства большого размера и отсутствии необходимости детальной проработки территорий (Ераблур, Сурб Григор Лусаворич) или потребности в первичной реконструкции насаждений («Ахтанак», Нор-Норк) возможно составление планов-схем для посадки основной группы деревьев, которые

в дальнейшем (через 10–15 лет) позволят сформировать основу новых древесных насаждений.

Сквер в жилом районе Малатия представляет собой пример реконструкции, которая включала в себя посадку деревьев и кустарников в существующие открытые пространства, что позволило завершить формирование его насаждений. Такие варианты эскизного проектирования допускаются, однако несут в себе некоторые риски вследствие приблизительности расчета посадочного материала и возникновения проблем с обнаружением коммуникаций.

Список литературы

- [1] Казарян В.О., Арутюнян Л.В., Хуршудян П.А. Научные основы облесения и озеленения Армянской ССР. Ереван: Изд-во АН АрмССР, 1974. 348 с.
- [2] Мкртчян С.А. Озеленение городов на юге СССР. Киев: Изд-во АН УССР, 1959. С. 161–167.
- [3] Петросян О.Х. О зеленом строительстве Еревана // Бюл. Ботанического сада АН АрмССР, 1959. № 17. С. 43–48.
- [4] Даниелян Н.Б. Опыт создания зеленых поясов вокруг городов Армянской ССР // Бюл. Ботанического сада АН АрмССР, 1959. № 17. С. 49–52.
- [5] Петросян С. Ереван превращается в пустыню // Вестник Кавказа, 2009. URL: <https://vestikavkaza.ru/articles/3558.html> (дата обращения 01.06.2021).
- [6] Джангиров П. Массовое уничтожение «зеленых легких» Еревана // Вне строк, 21 апреля 2017. URL: <https://vstrokax.net/avtorskaya-kolonka/massovoe-unichtozhenie-zelenyih-legkih/> (дата обращения 01.06.2021).
- [7] При мэрии Еревана будет создана ГНКО «Озеленение и охрана окружающей среды», 16.12.2019. URL: <https://news.am/rus/news/549997.html> (дата обращения 25.05.2021).
- [8] Обещают озеленение столицы. Ереван-инфо // Construction.am, 22 января 2020. URL: <https://www.construction.am/rus/news/764-yerevan-greenery-landscaping-program-2020/> (дата обращения 01.06.2021).
- [9] Раздольская В.И. Мартирос Сарьян. Л.: Аврора, 1998, 160 с.
- [10] Ереван: статуя «Мужчины», Армянское наследие. URL: <http://www.armenianheritage.org/ru/monument/Menstatue/1179> (дата обращения 31.05.2021).
- [11] Благоустройство сквера им. М. Сарьяна. Мэрия Еревана, Официальный сайт 27.07.2020 г. URL: <http://www.yerevan.am/ru/news/barekargovwm-e-m-saryani-anvanprowtake/> (дата обращения 20.10.2020).
- [12] Исторический очерк на официальном сайте Министерства обороны Республика Армения (на арм. языке). URL: <https://mil.am/ru> (дата обращения 20.10.2020).
- [13] В столице дан старт весенней посадке деревьев. Мэрия Еревана, Официальный сайт 26.03.2021 г. URL: <https://www.yerevan.am/ru/news/erewanowm-meknarkel-egarnayin-tsarhatownke/> (дата обращения 08.05.2021).
- [14] Краткая история лесного хозяйства России // Центр независимой экспертизы состояния зеленых насаждений — Новости. URL: <https://vitusltd.ru/blog/news/les/319> (дата обращения 08.05.2021 г.).
- [15] Цаленко М. П. О реалистических основах советской архитектуры. М.: Гос. изд-во лит-ры по строительству и архитектуре, 1952. С. 330.
- [16] Осипян Л.Л., Саркисян К.Ш.. История озеленения г. Еревана // Биологический журнал Армении, 2004. № 3–4 (56). С. 285–293.

- [17] Парк «Победа» или «Монумент»: живая история // Media Max, 2 октября 2012. URL: https://mediamax.am/ru/news/yerevan-XX-century/5963/?_cf_chl_managed_tk__=pmd_w4YO6YBK_kUP9TL0_Mp_NpWo-04Ce24PZzza19L2.QM0-1632313039-0-gqNtZGzNAx-CjcnBszQa9 (дата обращения 08.05.2021).
- [18] Григорян А. Покровский храм. URL: <http://hrampokrovsky.cerkov.ru/> (дата обращения 02.06.2021).
- [19] Кертох С. История русской православной церкви в Армении. Ереван: НАН РА «ГИГУТЮН», 2018. С. 3
- [20] Оганян З. Префект, гражданин, патриот // Ноев ковчег, 2000. № 11(33). URL: <https://old.noev-kovcheg.ru/article.php?n=56&a=6> (дата обращения 08.05.2021).
- [21] Вокруг кафедрального собора в Ереване разбит «Парк мира» // Благовест, 5 июня 2009. URL: www.blagovest-info.ru (дата обращения 08.05.2021).

Сведения об авторах

Леонова Валентина Алексеевна — канд. с.-х. наук, доцент МГТУ им. Н.Э. Баумана (Мытищинский филиал)

Чатинян Вероника Ервандовна — инженер садово-паркового и ландшафтного строительства, МНКО «Озеленение и охрана окружающей среды» г. Еревана, chat1992@bk.ru

Ефремян Нарине Тирановна — инженер садово-паркового строительства, МНКО «Озеленение и охрана окружающей среды» г. Еревана, narae@ya.ru

Поступила в редакцию 01.07.2021.

Одобрено после рецензирования 14.07.2021.

Принята к публикации 03.12.2021.

FEATURES OF LANDSCAPE DESIGN OF URBAN OBJECTS IN YEREVAN

V.A. Leonova¹, **V.E. Chatinyan**², **N.T. Efremyan**²

¹BMSTU (Mytishchi branch), 1, 1st Institut'skaya st., 141005, Mytishchi, Moscow reg., Russia

²Greening and environmental protection, 1/3 Build., Pavstos Buzandi st., 0010, Yerevan, Armenia

chat1992@bk.ru

Information is provided on the structure of organizations responsible for landscaping and operation of tree stands in Yerevan during the Soviet period and at the present time. Special attention is paid to the conditions of landscape design of the first planting season in 2021 of the new organization «Greening and Environmental Protection». The results of landscape design of various urban objects are analyzed and the results of preliminary design for the reconstruction of green areas are briefly described (using the example of 7 objects in Yerevan).

Keywords: Yargorzelenstroy, Ketron, Martiros Saryan Square, Akhtanak, Yerablur, Malatia, Nor-Nork residential district, St. Grigor Lusavorich Church

Suggested citation: Leonova V.A., Chatinyan V.E., Efremyan N.T. *Osobennosti landshaftnogo proektirovaniya ob'ektov g. Erevana* [Features of landscape design of urban objects in Yerevan]. *Lesnoy vestnik / Forestry Bulletin*, 2022, vol. 26, no. 1, pp. 69–83. DOI: 10.18698/2542-1468-2022-1-69-83

Reference

- [1] Kazaryan V.O., Arutyunyan L.V., Khurshudyan P.A. *Nauchnye osnovy obleseniya i ozeleneniya Armyanskoy SSR* [Scientific bases of afforestation and planting of greenery in the Armenian SSR]. Yerevan: AN ArmSSR, 1974, 348 p.
- [2] Mkrtychyan S.A. *Ozelenenie gorodov na yuge SSSR* [Greening of cities in the south of the USSR]. Kiev: An UkrSSR, 1959, pp. 161–167.
- [3] Petrosyan O.Kh. *O zelenom stroitel'stve Erevana* [About green building in Yerevan]. Byull. Botanical Garden of the Academy of Sciences of the Armenian SSR, 1959, no. 17, pp. 43–48.
- [4] Danielyan N.B. *Opyt sozdaniya zelenykh poyasov vokrug gorodov Armyanskoy SSR* [Experience of creating green belts around the cities of the Armenian SSR]. Byull. Botanicheskogo sada AN ArmSSR [Bull. Botanical Garden of the Academy of Sciences of the Armenian SSR], 1959, no. 17, pp. 49–52.
- [5] Petrosyan S. *Erevan prevrashchaetsya v pustynyu* [Yerevan turns into a desert]. *Vestnik Kavkaza*, 2009. accessed 08.05.21: <https://vestnikavkaza.ru/articles/3558.html> (accessed 01.06.2021).
- [6] Dzhangirov P. *Massovoe unichtozhenie «zelenykh legkikh» Erevana* [Mass destruction of the «green lungs» of Yerevan]. *Vne strok* [Outside the lines], April 21, 2017. Available at: <https://vstrokax.net/avtorskaya-kolonka/massovoe-unichtozhenie-zelenyih-legkih/> (accessed 01.06.2021).
- [7] *Pri merii Erevana budet sozdana GNKO «Ozelenenie i ohrana okruzhayushchey sredy»* [«Greening and Environmental Protection» SNCO will be established at the City Hall of Yerevan], 16.12.2019. Available at: <https://news.am/rus/news/549997.html> (accessed 25.05.2021).

- [8] *Obeshchayut ozelenenie stolitsy. Erevan-info* [They promise greening of the capital. Yerevan-info]. Constrution.am, January 22, 2020. Available at: <https://www.construction.am/rus/news/764-yerevan-greenery-landscaping-program-2020/> (accessed 01.06.2021).
- [9] Razdol'skaya V.I. *Martiros Sar 'yan* [Martiros Sarian]. Leningrad: Aurora, 1998, 160 p.
- [10] *Erevan: statuya «Muzhchiny», Armyanskoe nasledie* [Yerevan: «Men» statue, Armenian heritage]. Available at: <http://www.armenianheritage.org/ru/monument/Menstatue/1179> (accessed 31.05.2021).
- [11] *Blagoustroystvo skvera im. M. Sar 'yana. Meriya Erevana* [Improvement of the park to them. M. Saryan]. Yerevan Municipality, Official website 27.07.2020 Available at: <http://www.yerevan.am/ru/news/barekargvowm-e-m-saryani-anvan-powrake/> (accessed 20.10.2020).
- [12] *Istoricheskiy ocherk na ofitsial'nom sayte Ministerstva oborony Respublika Armeniya (na arm. yazyke)* [Historical sketch on the official website of the Ministry of Defense of the Republic of Armenia (in Armenian)]. Available at: <https://mil.am/ru> (accessed 20.10.2020).
- [13] *V stolitse dan start vesenney posadke derev'ev. Meriya Erevana* [Spring tree planting has started in the capital. Yerevan Municipality]. Available at: <https://www.yerevan.am/ru/news/erewanowm-meknarkel-e-garnanayin-tsarhatownke/> (accessed 08.05.2021).
- [14] *Kratkaya istoriya lesnogo khozyaystva Rossii* [Brief history of forestry in Russia]. Center for independent examination of the state of green spaces – News. Available at: <https://vitusltd.ru/blog/news/les/319> (accessed 08.05.2021).
- [15] Tsapenko M. P. *O realisticheskikh osnovakh sovetskoy arkhitektury* [On the realistic foundations of Soviet architecture]. Moscow: State. publishing house of literature on construction and architecture, 1952, p. 330
- [16] Osipyanyan L.L., Sarkisyan K.Sh. *Istoriya ozeleneniya g. Erevana* [The history of landscaping in Yerevan]. Biologicheskii zhurnal Armenii [Biological Journal of Armenia], 2004, № 3–4 (56), pp. 285–293.
- [17] *Park «Pobeda» ili «Monument»: zhivaya istoriya* [Park «Pobeda» or «Monument»: a living history]. Media Max, October 2, 2012. Available at: https://mediamax.am/ru/news/yerevan-XX-century/5963/?__cf_chl_managed_tk__=pmd_w4YO6YBK_kUP9TL0_Mp4CNpW2.QM0-1632313039-0-gqNtZGzNAXCjcnBszQa9 (accessed 08.05.2021).
- [18] Grigoryan A. *Pokrovskiy khram* [Intercession Church]. Available at: <http://hrampokrovsky.cerkov.ru/> (date of treatment 06/02/2021).
- [19] Kertokh S. *Istoriya russkoy pravoslavnoy tserkvi v Armenii* [History of the Russian Orthodox Church in Armenia]. Yerevan: NAS RA «Gigutyun», 2018, p. 3
- [20] Oganyan Z. *Prefekt, grazhdanin, patriot* [Prefect, citizen, patriot]. Noev kovcheg [Noah's Ark], 2000, no. 11 (33). Available at: <https://old.noev-kovcheg.ru/article.php?n=56&a=6> (accessed 08.05.2021).
- [21] *Vokrug kafedral'nogo sobora v Erevane razbit «Park mira»* [Around the cathedral in Yerevan «Peace Park» is laid out]. Blagovest, June 5, 2009. Available at: www.blagovest-info.ru (accessed 08.05.2021).

Authors' information

Leonova Valentina Alekseevna — Cand. Sci. (Agriculture), Associate Professor of the BMSTU (Mytishchi branch)

Chatinyan Veronika Ervandovna — Engineer of Landscape and landscape construction, MNPO «Greening and Environmental Protection» of Yerevan, chat1992@bk.ru

Efremyan Narine Tiranovna — Engineer of Garden and park construction, MNPO «Greening and Environmental Protection» of Yerevan, narae@ya.ru

Received 01.07.2021.

Approved after review 14.07.2021.

Accepted for publication 03.12.2021.

Вклад авторов: все авторы в равной доле участвовали в написании статьи
 Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов
 Authors' Contribution: All authors contributed equally to the writing of the article
 The authors declare that there is no conflict of interest

ИССЛЕДОВАНИЕ МИКРОГЕОМЕТРИИ ПОВЕРХНОСТИ БУМАГИ ИЗ ЦЕЛЛЮЛОЗЫ, ПОЛУЧЕННОЙ ИЗ КОРЫ ВЕТОК ТУТОВОГО ДЕРЕВА

Х.А. Бабаханова^{1✉}, А.А. Садриддинов¹, З.К. Галимова¹, И.И. Исмаилов²

¹Ташкентский институт текстильной и легкой промышленности, 100100, Республика Узбекистан, г. Ташкент, ул. Шохжахон, д. 5

²Наманганский технологический институт, 160115, Республика Узбекистан; г. Наманган, ул. Касансай, д. 7

halima300@inbox.ru

Представлены результаты исследования микрогеометрии поверхности бумаги из целлюлозы, полученной из внутреннего слоя коры веток тутового дерева, и бумаги, полученной из хлопковой целлюлозы, взятой для сравнения. Установлена связь между параметрами технологического процесса отливок бумаги, в частности каландрирования, и поверхностных свойств бумаги. Исследованы поверхностные свойства образцов бумаги при использовании прямого метода атомно-силовой микроскопии, являющегося универсальным при изучении топографии поверхности в наноразмерном масштабе. На сканирующем зондовом микроскопе Solver HV исследована микрогеометрия поверхности бумаги в наноразмерном масштабе и получены прямое изображение профиля перепадов рельефа на топографических изображениях. Выявлено, что параметры шероховатости *Ra* поверхности образца бумаги из целлюлозной массы, полученной из внутреннего слоя коры веток тутового дерева, после каландрирования по трем кадрам составили от 4,86 до 26,34 нм. Установлено, что прямой метод атомно-силовой микроскопии позволил оперативно и объективно оценить микрогеометрию поверхности по параметрам шероховатости в наноразмерном масштабе и по прямому изображению профиля перепадов рельефа на топографических изображениях.

Ключевые слова: целлюлозная масса, кора веток тутового дерева, структура бумаги, шероховатость, атомно-силовая микроскопия, профиль перепадов рельефа

Ссылка для цитирования: Бабаханова Х.А., Садриддинов А.А., Галимова З.К., Исмаилов И.И. Исследование микрогеометрии поверхности бумаги из целлюлозы, полученной из коры веток тутового дерева // Лесной вестник / Forestry Bulletin, 2022. Т. 26. № 1. С. 84–90. DOI: 10.18698/2542-1468-2022-1-84-90

Микрогеометрия поверхности — одно из важнейших свойств структуры бумаги, от которого зависит степень контакта ее с печатной формой и возможность воспроизведения печатных элементов без потерь и искажений.

Фундаментальные работы в области целлюлозно-бумажной промышленности посвящены исследованию структуры волокнистых материалов, способам производства бумаги и их влиянию на поверхностные свойства и качество печати [1–3]. В частности, Л.А. Козаровицкий отмечает, что при исследовании поверхностной микрогеометрии с практической точки зрения, в зависимости от назначения бумаги, целесообразно рассматривать такие ее свойства, как шероховатость или гладкость [3].

Как известно, шероховатость поверхности бумаги способствует получению на печатном оттиске различной толщины красочного слоя, что отражается на значениях оптической плотности [4, 5]. Объясняется это накоплением печатной краски в местах с большей шероховатостью, в результате чего размер растровой точки изображения искажается, и, как следствие, приводит к растискиванию, т. е. информация передается неточно и не в полном объеме.

Для воспроизведения печатной продукции с высокой графической точностью следует использовать бумагу, шероховатость которой известна или определена известными методами.

Для контроля шероховатости поверхности бумаги используются стандартные методы, позволяющие отобразить и измерить рельеф ее поверхности с различной точностью и широким диапазоном измеряемых размеров [6–10].

Используемые для определения гладкости косвенные «воздушные» методы, характеризующие структурную гладкость по времени прохождения воздуха над поверхностью листа, позволяют оценить две принципиально различные категории неровности: 1) неоднородность макроструктуры бумажного листа; 2) микрошероховатость поверхности листа [11]. Косвенные методы, такие как метод по Бекку (ГОСТ 12795–89 (ISO 5627)), методы Бендтсена (ГОСТ 30022.2–93 (ISO 8791-2-2013), Шеффилда (ISO 8791-3.2005), Паркера (PPS) (DINISO 8791-4.2008-05) определяют состояние поверхности, обусловленное механической отделкой, однако не позволяют изучить рельеф поверхности с высоким разрешением.

Изучение рельефа поверхности количественными методами основано на измерении шероховатости поверхности бумаги специальными приборами, которые по принципу работы подразделяются

на бесконтактные и контактные [12, 13]. Контактный механический метод предназначен для анализа шероховатости поверхности бумаги с помощью щуповых приборов. Принцип их работы заключается в перемещении алмазной иглы, которая сканирует исследуемую поверхность бумаги, а ее колебания преобразуются оптическим или электрическим способом в сигналы. Контакт иглы с поверхностью бумаги вызывает выдергивание волокон, в связи с чем данный метод не информативен для получения числовых значений шероховатости поверхности бумаги. В отличие от щуповых приборов профилометры фиксируют числовое значение шероховатости, изображая профиль шероховатой поверхности листа бумаги [14, 15].

Бесконтактные оптические приборы позволяют одновременно исследовать профиль поверхности бумаги и измерить параметры ее шероховатости по ГОСТ 2789–73 [6].

В 1986 г. был изобретен атомно-силовой микроскоп (АСМ), к одним из основных достоинств которого можно отнести высокое (до 0,1 нм) разрешение [17].

В настоящей работе использован сканирующий зондовый микроскоп (СЗМ) Solver HV (ЗАО NT-MDT, Зеленоград, Россия) для получения профиля рельефа поверхности листа бумаги и параметров шероховатости в наноразмерном масштабе на примере образцов бумаги из целлюлозы, полученной из коры веток тутового дерева, что невозможно при использовании косвенных «воздушных» методов диагностики поверхности бумаги. При сканировании кантилевер (зонд) только касается поверхности, не повреждая образец бумаги волокнистого состава. Простота и несложность обслуживания СЗМ не требует для работы на нем подготовленных в области методов силовой зондовой микроскопии специалистов [5, 18].

Цель работы

В данной работе исследована микрогеометрия поверхности бумаги из целлюлозы, полученной из внутреннего слоя коры веток тутового дерева.

Объекты и методы исследования

Для изучения микрогеометрии поверхности бумаги для печати были решены следующие задачи:

– получены бумажные отливки на основе целлюлозной массы из внутреннего слоя коры веток тутового дерева;

– с помощью АСМ Solver HV проведено профилирование рельефа поверхности образцов бумаги и с помощью специального программного обеспечения выполнен расчет параметров шероховатости поверхности бумаги в наноразмерном масштабе;

Т а б л и ц а 1

Показатели физико-механических свойств образцов бумаги

Indicators of physical and mechanical properties of paper samples

Показатель	ГОСТ, ИСО	Композиционный состав бумаги ХЦ:ТЦ, %		
		100:0	0:100	0:100 (после каландрирования)
Масса 1 м ² , г	ГОСТ 13199–88	84 ± 0,02	80 ± 0,02	90 ± 0,02
Белизна, %	ГОСТ 30113–94, ИСО 2470–77	77	65	65
Толщина, мкм	ГОСТ 27015–86	101	106	94
Разрывная длина, м	ГОСТ ИСО 1924-1–96	4170	5110	4830
Гладкость (по верхней/сеточной сторонам), с	ГОСТ 12795–89 ИСО 5627	45/36	90,2/70,6	100/72

– разработаны рекомендации по применению прямого метода для экспресс-анализа поверхности бумаги, что позволило объективно оценить микрогеометрию ее поверхности по полученным параметрам шероховатости и профилю перепадов рельефа на топографических изображениях.

В качестве объектов исследования были использованы образцы бумажных отливок на основе целлюлозной массы, полученной из внутреннего слоя коры веток тутового дерева (тутовой целлюлозы — ТЦ), и образцы бумаги, полученной из хлопковой целлюлозы (ХЦ), взятой для сравнения.

Авторами в ранее опубликованных работах [19–21] приведены результаты исследований свойств целлюлозной массы и бумаги из целлюлозы, полученной из внутреннего слоя коры веток тутового дерева и шероховатости поверхности бумаги, полученной из хлопковой целлюлозы с добавлением 10, 20 и 30 % целлюлозной массы, полученной из веток тутового дерева [22].

На листоотливном аппарате получены бумажные отливки из целлюлозной массы, полученной из внутреннего слоя коры веток тутового дерева, со степенью помола 10 °ШР. Свойства образцов бумаги приведены в табл. 1.

Анализ данных, представленных в табл. 1 показал, что прочность образцов бумаги с добавлением целлюлозной массы, полученной из внутреннего слоя коры веток тутового дерева, на разрыв, охарактеризованная разрывной длиной в метрах, обеспечена в первую очередь прочностью и гетерогенностью растительных волокон

Т а б л и ц а 2
Параметры шероховатости поверхности образцов бумаги по данным АСМ
 Surface raggedness parameters of paper samples according to AFM data

Номер образца бумаги	Состав бумаги ХЦ:ТЦ, %	Шероховатость R_a образцов для кадров, нм		
		750	1500	3500
1	100:0	26,95	32,61	67,54
2	0:100	23,28	44,75	96,33
3	0:100 (после каландрирования)	4,86	7,47	26,34

и структурой бумаги, которая в процессе производства при прохождении между валами подвергалась давлению, способствовавшему сближению волокон, уменьшению толщины и повышению гладкости. Разрывная длина исследуемых образцов бумаги превысила значения прочности для типографских видов бумаги — не менее 2500 м и для офсетных — до 3500 м и выше.

В настоящей работе приведены результаты исследования степени влияния параметров технологического процесса отливок бумаги, а именно каландрирования, на ее поверхностные свойства. При комнатной температуре образцы бумаги без подготовки, т. е. без кондиционирования, помещали на поверхность пластины из кремния и затем устанавливали в АСМ. Рельеф поверхности образца

измеряли при размере диаметра 450 мкм и диапазоне от 10 000 до 4 мкм². При взаимодействии кантилевера производства ЗАО NT-MDT (Зеленоград, Россия) с поверхностью бумаги действует сила, которая изменяется в зависимости от различия высот рельефа. Изменение силы, действующей на кантилевер, влияет на величину изгиба, который фиксируется с помощью лазера. В результате профилируется прямое изображение микрогеометрии поверхности в масштабе 3D. Прямое изображение профиля поверхности на топографических изображениях получено в режиме постоянной амплитуды, где высота профиля передана цветом: чем выше находится деталь рельефа, тем она светлее. Для расчета параметров шероховатости по диагонали кадра проводился разрез.

Полученные с помощью АСМ данные обработаны на специальной встроенной программе и параметры шероховатости R_a рассчитаны, согласно требованиям ГОСТ 2789–73 (табл. 2). Образец 1 (см. табл. 2) — это бумага из ХЦ, взятая для сравнения, и ее шероховатость приведена авторами в ранее опубликованной работе [22].

Прямое изображение профиля поверхности на топографических изображениях взяты при использовании трех кадров — 750, 1500 и 3500 нм. Как видно из табл. 2, на разных кадрах значения шероховатости различаются. Объяснением этому является то, что если кадр попал на одно волокно, то значения низкие, если он попал на сплетение

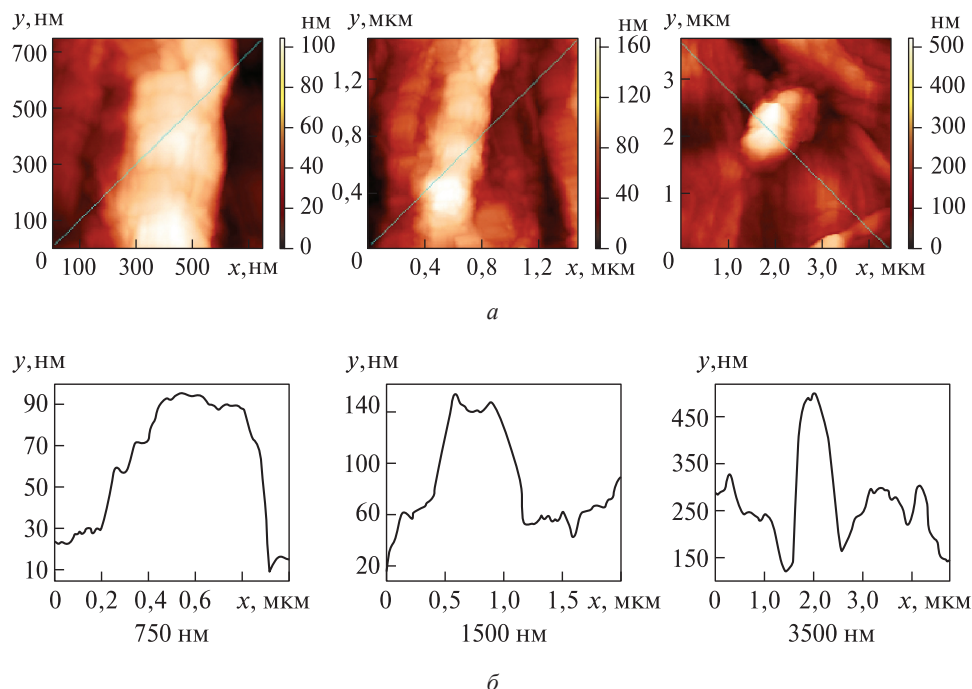


Рис. 1. Поверхность образца бумаги 1: а — топографическое АСМ-изображение; б — профиль рельефа выделенной линии поверхности

Fig. 1. Surface of paper sample 1: а — topographic AFM image; б — profile of the relief of the selected surface line

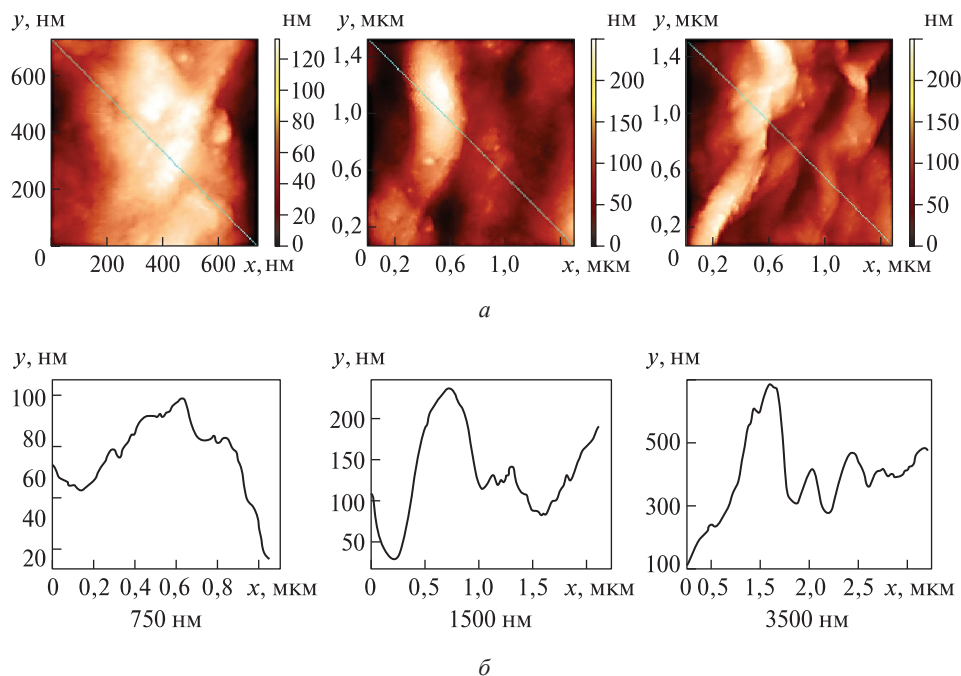


Рис. 2. Поверхность образца бумаги 2: *a* — топографическое АСМ-изображение; *б* — профиль рельефа выделенной линии поверхности
Fig. 2. Surface of paper sample 2: *a* — topographic AFM image; *б* — profile of the relief of the selected surface line

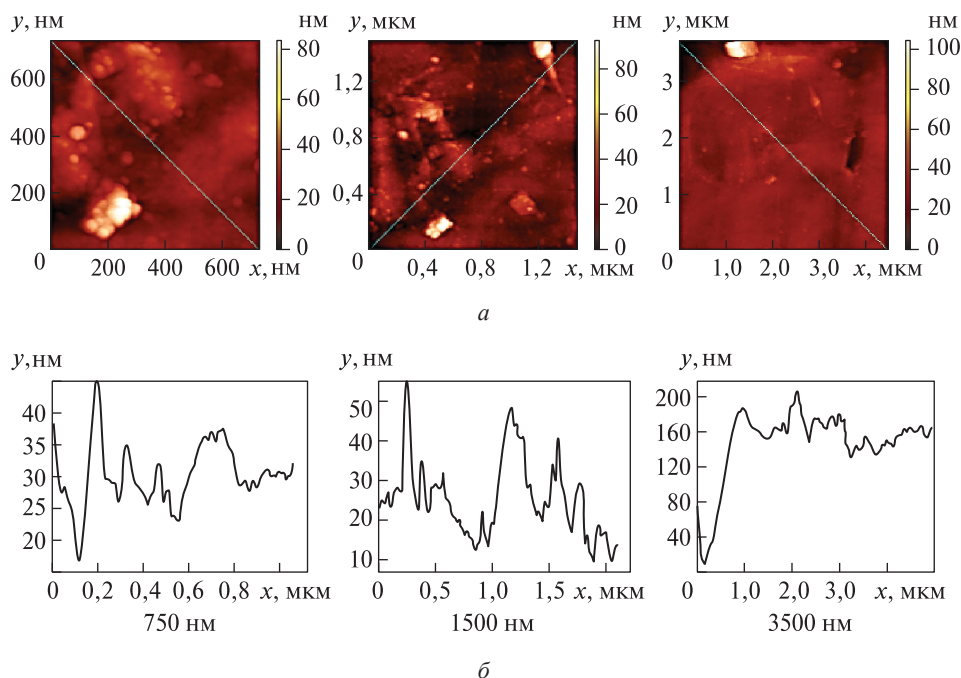


Рис. 3. Поверхность образца бумаги 3: *a* — топографическое АСМ-изображение; *б* — профиль рельефа выделенной линии поверхности
Fig. 3. Surface of paper sample 3: *a* — topographic AFM image; *б* — profile of the relief of the selected surface line

нескольких волокон, то параметр шероховатости выше. Расхождения между параметрами будут меньше при условии, если кадр попадает на фибрированное волокно с большей удельной поверхностью.

Результаты и обсуждение

Использование прямого метода на АСМ позволило получить параметры шероховатости поверхности бумаги и прямое изображение профиля

ее поверхности на топографических изображениях. После каландрирования профиль рельефа поверхности образца бумаги 3, в составе которого 100%-я целлюлозная масса, полученная из внутреннего слоя коры веток тутового дерева (ТЦ), имеет наименьшие перепады и шероховатость по сравнению с образцами 2 и 1, где 100%-я ХЦ.

Шероховатость поверхности бумаги анализировали по выделенному профилю рельефа через наивысшие и наинизшие точки. Профиль поверхности оценивали по отрезку прямой, длина которой не превышала базовую, согласно ГОСТ 2789–73.

На рис. 1–3 линия разреза, по которой определяли шероховатость поверхности бумаги, выражена зеленым цветом. Небольшие углубления, выраженные затемнением на топографических АСМ-изображениях, характеризуют достаточную однородность и плотность структуры.

Выводы


Выявлено, что параметры шероховатости Ra поверхности образца бумаги из целлюлозной массы, полученной из внутреннего слоя коры веток тутового дерева после каландрирования по трем кадрам составили от 4,86 до 26,34 нм.

Метод прямого экспресс-анализа поверхности бумаги позволил объективно оценить микрогеометрию поверхности по параметрам шероховатости в наноразмерном масштабе и по прямому изображению профиля перепадов рельефа на топографических изображениях.

Список литературы

- [1] Флягте Д.М. Свойства бумаги. М.: Лесная пром-сть, 1970. С. 186–230.
- [2] Nissan A. Lectures on Fiber Science in Paper // The Joint Textbook Committee of Paper Industry, 1977, 149 p.
- [3] Козаровицкий Л.А. Бумага и краска в процессе печатания. М.: Книга, 1965. 368 с.
- [4] Леонтьев В.Н. Оценка влияния технологических параметров производства бумаги на показатели качества печати // ИВУЗ Лесной журнал, 2009. № 4. С. 111–116.
- [5] Maattanen A., Fors D., Wand S., Valtakari D., Ihlainen P. Paper—lased planar reaction arrays for printed diagnostics // Sensors and Actuators B., 2011, v. 160, no. 1, pp. 1404–1412.

Сведения об авторах

Бабаханова Халима Абишевна  — д-р техн. наук, профессор кафедры технологии полиграфического и упаковочного процессов Ташкентского института текстильной и легкой промышленности, halima300@inbox.ru

Садриддинов Акмал Абдулло угли — докторант Ташкентского института текстильной и легкой промышленности, sadriddinovakmal0777@mail.ru

Галимова Зулфия Камилловна — ассистент кафедры технологии полиграфического и упаковочного процессов Ташкентского института текстильной и легкой промышленности, z.galimova8282@mail.ru

Исмаилов Икромжон Иброхим угли — докторант кафедры химической технологии Наманганского инженерно-технологического института, ikromzhon.ismailov@bk.ru

- [6] ГОСТ 2789–73. Шероховатость поверхности: параметры и характеристики. М.: Изд-во стандартов, 1974. 5 с.
- [7] Технология целлюлозно-бумажного производства. В 3 т. Т. 2. Производство бумаги и картона. Ч. I. Технология производства и обработки бумаги и картона. СПб.: Политехника, 2005. С. 20.
- [8] Кулак М.И. Фрактальная механика материалов. Минск: Высшая школа, 2002. 304 с.
- [9] Карташов А.И. Шероховатость поверхности и методы ее измерения. М.: Стандартгиз, 1964. 163 с.
- [10] Топорев А.С. Оптика шероховатой поверхности. Л.: Машиностроение, 1988. 191 с.
- [11] Riedl R. Zusammenhang von Rauigkeit und Glatte // Papier und Druck, 1975, v. 24, no. 2, pp. 19–21.
- [12] Рудзит Я.А. Микрогеометрия и контактное взаимодействие поверхностей. Рига: Зинатне, 1975. 210 с.
- [13] Григорьев А.Я., Мышкин Н.К., Холодилов О.В. Методы анализа микрогеометрии поверхности // Трение и износ, 1989. № 1. Т. 10. С. 138–155.
- [14] Лукьянов В.С., Рудзит Я.А. Параметры шероховатости поверхности. М.: Изд-во стандартов, 1979. 162 с.
- [15] Миронченко В.И. Приборы бесконтактного контроля шероховатости // Приборы и системы. Управление, контроль, диагностика, 2004. № 5. С. 58–61.
- [16] Ким К.Ю. Исследование и разработка оптического метода бесконтактного контроля шероховатости поверхности : автореф. дис. ... канд. техн. наук. М.: МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2009. 22 с.
- [17] Кирсанкин А.А., Михалева М.Г., Никольский С.Н., Мусохапова А.В., Стовбун С.В. Прямой метод контроля качества поверхности мелованных видов бумаги // Химия растительного сырья, 2016. № 4. С. 157–161.
- [18] Жуков М.В. Контроль структуры различных видов бумаги методом атомно-силовой микроскопии // Научно-технический вестник информационных технологий, механики и оптики, 2014. № 1 (89). С. 44–49.
- [19] Бабаханова Х.А., Галимова З.К., Абдуназаров М.М., Исмаилов И.И. Целлюлозная масса из коры веток тутовника для бумажной отрасли // ИВУЗ Лесной журнал, 2020. № 5. С. 193–200.
- [20] Бабаханова Х.А., Галимова З.К., Абдуназаров М.М., Исмаилов И.И. Свойства бумаги, в составе которой целлюлозная масса из веток тутта // Высшая школа: научные исследования. Материалы Межвузовского научного конгресса. Москва. 30.04.2020. М.: Инфинити, 2021. С. 118–122.
- [21] Бабаханова Х.А., Галимова З.К., Абдуназаров М.М., Исмаилов И.И. Структура бумаги с добавлением целлюлозной массы из коры веток тутовника // Химия растительного сырья, 2020. № 4. С. 261–266. DOI: 10.14258/jcprgm.2020047761.
- [22] Бабаханова Х.А., Галимова З.К., Абдуназаров М.М., Исмаилов И.И. Исследование шероховатости бумаги из вторичного сырья методом атомно-силовой микроскопии // Научно-технический вестник информационных технологий, механики и оптики, 2020. Т. 20. № 5. С. 661–666. DOI: 10.17586/2226-1494-2020-20-5-661-666.

Поступила в редакцию 13.05.2021.

Одобрено после рецензирования 21.09.2021.

Принята к публикации 03.12.2021.

MICROGEOMETRY OF CELLULOSE PAPER TOP MADE OF MULBERRY TREE BARK BRANCHES

Kh.A. Babakhanova^{1✉}, A.A. Sadriddinov¹, Z.K. Galimova¹, I.I. Ismailov²

¹Tashkent Institute of Textile and Light Industry, 5, Shokhzakhon st., 100100, Tashkent, Uzbekistan

²Namangan Technology Institute, 7, Kasansay st., 160115, Namangan, Uzbekistan

halima300@inbox.ru

The paper presents the study results of a microgeometry of the paper top made of cellulose obtained from the bark of mulberry tree branches and paper obtained from cotton pulp for comparison. A relationship has been established between the parameters of the technological process of pulp handsheets, in particular calendering, and the surface properties of paper. A study of the surface properties of paper samples was carried out using the direct method of atomic force microscopy, which is universal in the study of surface topography on a nanoscale. Using a Solver HV scanning probe microscope, the microgeometry of the paper top on a nanoscale and a direct image of the profile of the relief changes in topographic images have been examined. It was revealed that the roughness parameters R_a of the surface of a paper sample made of cellulose pulp obtained from the bark of mulberry tree branches after calendering in three frames ranged from 4,86 to 26,34 nm. It was found that the direct method of atomic force microscopy quickly made it possible to obtain surface raggedness parameters on a nanoscale and a direct image of the profile of relief differences in topographic images.

Keywords: pulp, mulberry bark, paper structure, roughness, atomic force microscopy, surface profile

Suggested citation: Babakhanova Kh.A., Sadriddinov A.A., Galimova Z.K., Ismailov I.I. *Issledovanie mikrogeometrii poverkhnosti bumagi iz tsellyulozy, poluchennoy iz kory vetok tutovogo dereva* [Microgeometry of cellulose paper top made of mulberry tree bark branches]. *Lesnoy vestnik / Forestry Bulletin*, 2022, vol. 26, no. 1, pp. 84–90. DOI: 10.18698/2542-1468-2022-1-84-90

References

- [1] Flyatte D.M. *Svoystva bumagi* [Properties of paper]. Moscow: Lesnaya promyshlennost' [Timber industry], 1970, pp. 186–230.
- [2] Nissan A. Lectures on Fiber Science in Paper. The Joint Textbook Committee of Paper Industry, 1977, 149 p.
- [3] Kozarovitskiy L.A. *Bumaga i kraska v protsesse pechataniya* [Paper and ink in the process of printing]. Moscow: Kniga, 1965, 368 p.
- [4] Leont'ev V.N. *Otsenka vliyaniya tekhnologicheskikh parametrov proizvodstva bumagi na pokazateli kachestva pechati* [Assessment of the Influence of Technological Parameters of Paper Production on Printing Quality Indicators]. *Lesnoy Zhurnal* (Russian Forestry Journal), 2009, no. 4, pp. 111–116.
- [5] Maattanen A., Fors D., Wand S., Valtakari D., Ihlainen P. Paper — lased planar reaction arrays for printed diagnostics. *Sensors and Actuators B*, 2011, v. 160, no. 1, pp. 1404–1412.
- [6] GOST 2789–73 *Sherokhovatost' poverkhnosti: parametry i kharakteristiki* [Surface roughness: parameters and characteristics]. Moscow: Publishing house of standards, 1974, 5 p.
- [7] *Tekhnologiya tsellyulozno-bumazhnogo proizvodstva* [Technology of pulp and paper production]. Proizvodstvo bumagi i kartona. Ch. I. Tekhnologiya proizvodstva i obrabotki bumagi i kartona [Manufacture of paper and cardboard. Part I. Technology of production and processing of paper and cardboard] In 3 volumes. Vol. 2. St. Petersburg: Polytechnic, 2005, p. 20.
- [8] Kulak M.I. *Fraktal'naya mekhanika materialov* [Fractal mechanics of materials]. Minsk: Higher School, 2002, 304 p.
- [9] Kartashov A.I. *Sherokhovatost' poverkhnosti i metody ee izmereniya* [Surface roughness and methods of its measurement]. Moscow: Standartgiz, 1964, 163 p.
- [10] Toporets A.S. *Optika sherokhovatoy poverkhnosti* [Rough surface optics]. Leningrad: Mashinostroenie, 1988, 191 p.
- [11] Riedl R. Zusammenhang von Rauigkeit und Glatte. *Papier und Druck*, 1975, v. 24, no. 2, pp. 19–21.
- [12] Rudzit Ya.A. *Mikrogeometriya i kontaktnoe vzaimodeystvie poverkhnostey* [Microgeometry and contact interaction of surfaces]. Riga: Zinatis, 1975, 210 p.
- [13] Grigor'ev A.Ya., Myshkin N.K., Kholodilov O.V. *Metody analiza mikrogeometrii poverkhnosti* [Methods for the analysis of surface microgeometry]. *Trenie i iznos* [Friction and wear], 1989, no. 1, v. 10, pp. 138–155.
- [14] Luk'yanov V.S., Rudzit Ya.A. *Parametry sherokhovatosti poverkhnosti* [Surface roughness parameters]. Moscow: Publishing house of standards, 1979, 162 p.
- [15] Mironchenko V.I. *Pribory beskontaktnogo kontrolya sherokhovatosti* [Devices for contactless roughness control]. *Pribory i sistemy. Upravlenie, kontrol', diagnostika* [Devices and systems. Management, control, diagnostics], 2004, no. 5, pp. 58–61.
- [16] Kim K.Yu. *Issledovanie i razrabotka opticheskogo metoda beskontaktnogo kontrolya sherokhovatosti poverkhnosti* [Research and development of an optical method for contactless control of surface roughness]. Dis. ... Cand. Sci. (Tech.). Moscow: MG TU, 2009, 22 p.
- [17] Kirsankin A.A., Mikhaleva M.G., Nikol'skiy S.N., Musokhrapova A.V., Stovbun S.V. *Pryamoy metod kontrolya kachestva poverkhnosti melovannykh vidov bumagi* [Direct method of surface quality control of coated types of paper]. *Khimiya rastitel'nogo syr'ya* [Chemistry of vegetable raw materials], 2016, no. 4, pp. 157–161.
- [18] Zhukov M.V. *Kontrol' struktury razlichnykh vidov bumagi metodom atomno-silovoy mikroskopii* [Control of the structure of various types of paper by atomic force microscopy]. *Nauchno-tekhnicheskiiy vestnik informatsionnykh tekhnologiy, mekhaniki i optiki* [Scientific and technical bulletin of information technologies, mechanics and optics], 2014, no. 1 (89), pp. 44–49.
- [19] Babakhanova Kh.A., Galimova Z.K., Abdunazarov M.M., Ismailov I.I. *Tsellyuloznaya massa iz kory vetok tutovnika dlya bumazhnoy otrasli* [Pulp from the bark of mulberry branches for the paper industry]. *Lesnoy Zhurnal* (Russian Forestry Journal), 2020, no. 5, pp. 193–200.

- [20] Babakhanova Kh.A., Galimova Z.K., Abdunazarov M.M., Ismailov I.I. *Svoystva bumagi, v sostave kotoroy tsellyuloznaya massa iz vetok tuta* [Properties of paper containing pulp from mulberry branches]. Vysshaya shkola: nauchnye issledovaniya. Materialy Mezhvuzovskogo nauchnogo kongressa [Higher school: scientific research. Materials of the Interuniversity Scientific Congress]. Moscow. 30.04.2020. Moscow: Infiniti Publishing House, 2021, pp. 118–122.
- [21] Babakhanova Kh.A., Galimova Z.K., Abdunazarov M.M., Ismailov I.I. *Struktura bumagi s dobavleniem tsellyuloznoy massy iz kory vetok tutovnika* [The structure of paper with the addition of cellulose mass from the bark of mulberry branches]. Khimiya rastitel'nogo syr'ya [Chemistry of vegetable raw materials], 2020, no. 4, pp. 261–266. DOI: 10.14258 / jcprm.2020047761
- [22] Babakhanova Kh.A., Galimova Z.K., Abdunazarov M.M., Ismailov I.I. *Issledovanie sherokhovatosti bumagi iz vtorichnogo syr'ya metodom atomno-silovoy mikroskopii* [Investigation of the roughness of recycled paper by atomic force microscopy]. Nauchno-tehnicheskii vestnik Informatsionnykh tekhnologiy, mekhaniki i optiki [Scientific and Technical Bulletin of Information Technologies, Mechanics and Optics], 2020, v. 20, no. 5, pp. 661–666. DOI: 10.17586 / 2226-1494-2020-20-5-661-666.

Authors' information

Babakhanova Khalima Abishevna ✉ — Dr. Sci. (Tech.), Professor, Department of Technology of printing and packaging production of the Tashkent Institute of Textile and Light Industry, halima300@inbox.ru

Sadriddinov Akmal Abdullo ugli — Doctoral student, Department of Technology of printing and packaging production of the Tashkent Institute of Textile and Light Industry, sadriddinovakmal0777@mail.ru

Galimova Zulfiya Kamilovna — Assistant, Department of Technology of printing and packaging production of the Tashkent Institute of Textile and Light Industry, z.galimova8282@mail.ru

Ismailov Ikromzhon Ikromzhon ugli — Doctoral student, Department of Chemical technology of the Namangan Technology Institute, ikromzhon.ismailov@bk.ru

Received 13.05.2021.

Approved after review 21.09.2021.

Accepted for publication 03.12.2021.

Вклад авторов: все авторы в равной доле участвовали в написании статьи

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов

Authors' Contribution: All authors contributed equally to the writing of the article

The authors declare that there is no conflict of interest

ВЛИЯНИЕ СТРУКТУРЫ ДРЕВЕСНО-ЦЕМЕНТНОГО МАТЕРИАЛА НА ПРОЧНОСТНЫЕ И ДЕФОРМАЦИОННЫЕ СВОЙСТВА

В.И. Запруднов

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

Установлено, что при увеличении длины частиц заполнителя прочность при осевом сжатии древесно-цементного материала (арболита) возрастает, а объемная усадка уменьшается. Определено увеличение линейной усадки арболита поперек призмы параллельно направлению усилия прессования и уменьшение линейной усадки поперек призмы перпендикулярно направлению усилия прессования при возрастании длины частиц заполнителя. Выявлен рост удельного давления прессования арболита при увеличении длины частиц заполнителя. Исследования показали, что зависимость прочности арболита обратно пропорциональна содержанию водорастворимых веществ древесины в органическом заполнителе, на основе которого он изготовлен, его усадке, удельной поверхности заполнителя, расходу воды и объемному содержанию древесного заполнителя в арболите. Теоретически необходимое для химического соединения водоцементное отношение $V/C \approx 0,4$, однако из условия удобоукладываемости арболита отношение V/C рекомендовано принимать равным $0,7 \dots 0,8$.
Ключевые слова: древесно-цементный материал, прочность и деформации, гидратация и твердение цемента, древесный заполнитель

Ссылка для цитирования: Запруднов В.И. Влияние структуры древесно-цементного материала на прочностные и деформационные свойства // Лесной вестник / Forestry Bulletin, 2022. Т. 26. № 1. С. 91–96.
DOI: 10.18698/2542-1468-2022-1-91-96

Структура древесно-цементных материалов — арболита, фибролита, цементно-стружечной плиты имеет неоднородное конгломератное строение [1–6]. По физико-механическим свойствам отдельные объемы древесно-цементных материалов могут значительно отличаться. Эти различия характерны как для отдельных микрообъемов цементного камня, так и в большей степени для органических заполнителей из различных пород древесины.

Структура древесно-цементного материала, например арболита (легкого бетона), формируется с помощью цементного камня, в виде пространственной решетки, заполненной соединенными между собой частицами органического заполнителя — древесной дробленки (рис. 1). Цементный камень пронизан многочисленными микропорами, капиллярами, содержащими химически несвязанную воду, а также водяной пар и воздушные поры. Поэтому древесно-цементные композиты (арболит, фибролит, цементно-стружечная плита) представляют собой капиллярно-пористый каменный материал, в котором нарушена сплошность и присутствуют все три фазы — твердая, жидкая и газообразная.

Особыми свойствами обладает контактная зона — прослойка цементного камня на границе с частицами органического заполнителя, дополнительно уплотненная самим заполнителем. Контактная зона содержит микродефекты — зерна

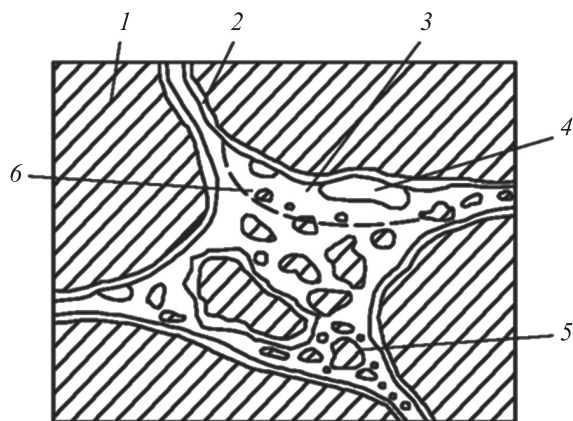


Рис. 1. Элементарная ячейка структуры легкого бетона (арболита): 1 — частицы заполнителя; 2 — контактная зона; 3 — зона структуры, ослабленной вследствие седиментации; 4 — воздушные пузырьки; 5 — зона уплотненной структуры; 6 — крупные седиментационные поры

Fig. 1. Elementary cell structure of light concrete (arbolite): 1 — aggregate particles; 2 — contact zone; 3 — zone of weakened structure due to sedimentation; 4 — air bubbles; 5 — zone of compacted structure; 6 — large sedimentation pores

минерального вяжущего, не вступившего в реакцию с водой, и другие, что снижает однородность древесно-цементного материала.

Для получения древесно-цементного материала с высокими прочностными показателями необходимо наряду с локализацией вредных для цемента веществ и со снижением влажностных деформаций стремиться также к оптимальности

его структуры, которой соответствует, согласно теории И.А. Рыбьева [7], комплекс наилучших показателей основных свойств конгломерата. Оптимальная структура характеризуется равномерным распределением твердой фазы в дисперсной среде, предельно возможной плотностью упаковки макрочастиц соответственно, в конгломерате и в его вяжущей части, наличием непрерывной прослойки вяжущего вещества с образованием прочного структурного каркаса из затвердевшего вяжущего [8].

Цель работы

Цель работы — исследование влияния на прочностные и деформационные свойства древесно-цементного материала (арболита) изменений его структуры: вида органического заполнителя, гранулометрического состава, коэффициента формы частиц древесного заполнителя, степени уплотнения при формовании, условий твердения.

Материалы и методы

Исследования выполнены на древесно-цементном композите — арболите, который имеет крупнопористую структуру с незаполненным межзерновым пространством. Крупнопористая структура арболита определяется технологией его изготовления и зависит от состава арболита, гранулометрического состава заполнителя, коэффициента формы его частиц, качества перемешивания, степени уплотнения, а также условий твердения и сушки этого материала. Общая пористость арболита состоит из межзерновой пористости и пористости древесного заполнителя. Объем пор в органическом заполнителе зависит от вида древесной породы. Величину пористости (Π) древесины можно определить [8] из выражения

$$\Pi = \left(1 - \frac{\rho}{1,54}\right) \cdot 100\%, \quad (1)$$

где ρ — средняя плотность, г/см³.

При средней плотности древесины 0,3; 0,5 и 0,7 г/см³ ее пористость соответственно равна 81, 68 и 55 %. Межзерновая пористость одного древесного заполнителя зависит в основном от фракционного состава. Пористость арболита существенно влияет на его основные прочностные, деформационные и теплофизические свойства, вследствие чего в процессе формирования структуры арболита ее необходимо регулировать.

Структура арболита формируется на всех этапах технологии его производства: при подготовке заполнителя, дозировании составляющих компонентов, их перемешивании, укладке и уплотнении арболитовой смеси, а также при твердении изделий из этого материала [9–12].

При подготовке заполнителя следует уделять большое внимание его химическому и гранулометрическому составу, коэффициенту формы частиц. При дозировании компонентов арболитовой смеси необходимо соблюдать точность соотношения оптимального состава. Технологическая операция перемешивания должна обеспечить однородность смеси, равномерность распределения вяжущего по частицам заполнителя и наилучшее их обволакивание.

При формировании (уплотнении) важно стремиться к тому, чтобы структура арболита имела минимальную пористость, т. е. чтобы осуществлялась наилучшая пространственная упаковка заполнителя, обеспечивающая наибольшее число контактов, а также наибольшее упрочнение структурных элементов и структурных связей между элементами.

При тепловой обработке арболита прежде всего следует обеспечить оптимальные условия для твердения, гидратации и структурообразования цементного вяжущего в присутствии органического заполнителя, а также уменьшить внутренние напряжения и усадочные деформации. Таким образом, на всех стадиях технологии производства арболита необходимо стремиться к созданию его оптимальной структуры [13–15].

Важным отличительным моментом структуры арболита является то, что в общем объеме арболитовой массы органический заполнитель занимает 80...90 % и обладает анизотропными свойствами, присущими древесине. Так, например, древесина ели имеет предел прочности вдоль волокон при сжатии 42,2 МПа и растяжении 108,6 МПа, а при сжатии в тангенциальном направлении — только 7,9 МПа [16]. Аналогичные соотношения показателей этих свойств имеют место и для других древесных пород, применяемых для получения органического заполнителя.

В процессе формования арболитовой смеси древесные частицы, имеющие размеры по длине значительно больше, чем в других направлениях, располагаются в определенной последовательности. Как правило, их продольные направления ориентированы в плоскости, перпендикулярной направлению усилия прессования, располагаясь при этом хаотично, вследствие чего арболит обладает ярко выраженной анизотропностью свойств в двух направлениях. Проведенные исследования показали, что арболит имеет лучшие показатели прочности и деформаций в направлении, перпендикулярном усилию уплотнения (параллельно слоям укладки смеси). Эта закономерность характерна всем известным способам формования арболитовых изделий [17–19].

Как указано выше, частицы древесного заполнителя, хотя и ориентируются своими продоль-

ными направлениями перпендикулярно усилию уплотнения, но располагаются при этом в плоскости хаотично, вследствие чего не всегда используется резерв прочности древесного заполнителя вдоль волокон.

П.И. Ваньков и Г.В. Клар [8] выдвинули гипотезу о повышении прочности арболита путем изменения его структуры с концентрацией высокой прочности в результате ориентации частиц заполнителя в заданном направлении. Их исследованиями установлено, что ориентированная структура в 1,5–2 раза повышает прочность и жесткость арболита в продольном направлении ориентации заполнителя. При этом аналогичные показатели в перпендикулярном направлении уменьшаются [20–25].

Н.И. Склизков и И.Х. Наназашвили [8] предлагают повышать прочность арболита, изменив его структуру добавлением в состав заполнителя 10...15%-й мелкой фракции, а также увеличив коэффициент формы частиц заполнителя. По их мнению, увеличение коэффициента формы частиц заполнителя на 20...50 % повысит прочность арболита на 10...20 %.

Результаты и обсуждение

Проведенные исследования по выявлению влияния структуры арболита на прочностные и деформационные свойства этого материала были более объемными.

Было изучено влияние вида органического заполнителя, его прочности и гранулометрического состава, коэффициента формы частиц древесного заполнителя, степени уплотнения при формовании, условий твердения (рис. 2–5).

Из рис. 2 и 3 видно, что при длине частиц заполнителя менее 15...20 мм начинается резкое возрастание его объемной усадки и одновременно резкое снижение прочности.

Важно учесть все факторы, прежде всего влажность и температуру органического заполнителя. Цемент, взаимодействуя с водой (гидратация цемента), твердеет, образуя цементный камень. Цементный камень деформируется: объемная усадка достигает 2 мм/м, вследствие чего возникают внутренние напряжения, появляются микротрещины. Введение в состав древесно-цементного композита органического заполнителя позволяет уменьшить эти деформации, создать структурный каркас, который воспринимает усадочные напряжения и готов дать меньшую усадку. Кроме того, увеличиваются прочность и модуль упругости древесно-цементного материала (снижение деформаций конструкции под нагрузкой), уменьшается ползучесть (необратимые деформации при длительных нагрузках). Органические заполнители также существенно

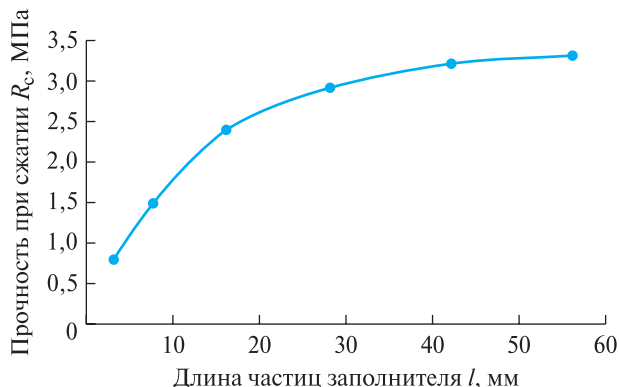


Рис. 2. Зависимость прочности арболита от длины частиц заполнителя при осевом сжатии

Fig. 2. Dependence of the axial compressive strength of the arbolite on the length of the aggregate particles

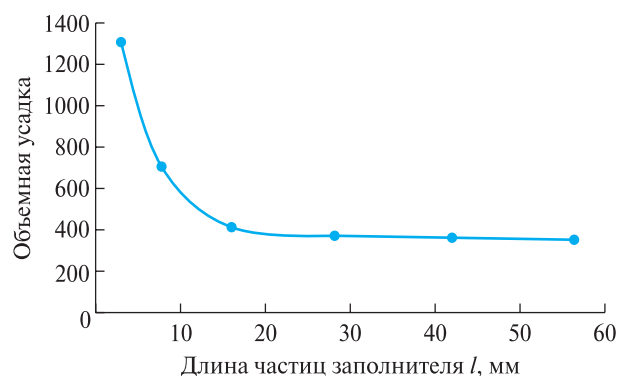


Рис. 3. Зависимость объемной усадки арболита от длины частиц заполнителя

Fig. 3. Dependence of the volume shrinkage of arbolite on the length of the aggregate particles

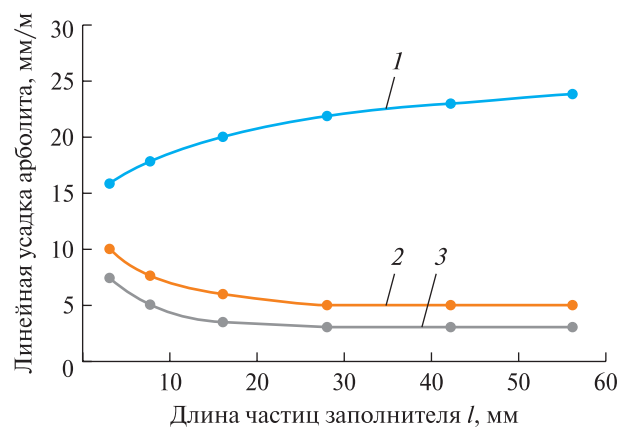


Рис. 4. Зависимость линейной усадки арболита от длины частиц заполнителя в направлении: 1 — поперек призмы параллельно направлению усилия прессования; 2 — поперек призмы перпендикулярно направлению усилия прессования; 3 — вдоль призмы

Fig. 4. Dependence of the linear shrinkage of arbolite on the length of the aggregate particles in the direction of: 1 — across the prism parallel to the direction of the pressing force; 2 — across the prism perpendicular to the direction of the pressing force; 3 — along the prism

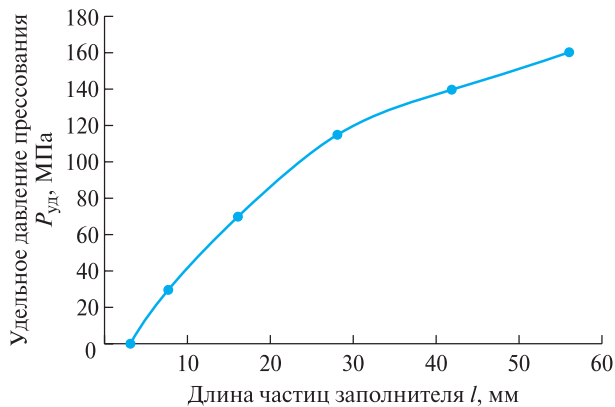


Рис. 5. Зависимость роста удельного давления прессования арболита от длины частиц заполнителя

Fig. 5. Dependence of the growth of the specific pressure of pressing of arbolite on the length of the aggregate particles

удешевляют производство древесно-цементного композита: энергоемкий в производстве цемент стоит значительно дороже древесной дробленки, являющейся природным материалом.

На основании проведенных исследований зависимость прочности и деформации арболита от перечисленных факторов можно записать в виде

$$R_a = f(R_{ц}, R_3, Ц, \rho_a, A, k_{ф.ч}, Э^{-1}, \varepsilon_y^{-1}, F_{y.п}^{-1}, B^{-1}, Д^{-1}), \quad (2)$$

где R_a — прочность арболита, МПа;
 $R_{ц}$ — активность цемента, МПа;
 R_3 — прочность заполнителя при сжатии, МПа;
 $Ц$ — расход цемента на 1 м^3 арболита, кг;
 ρ_a — плотность арболита;
 A — адгезия древесного заполнителя к цементному вяжущему, МПа;
 $k_{ф.ч}$ — коэффициент формы частиц древесного заполнителя;
 $Э$ — содержание водорастворимых веществ в заполнителе, %;
 ε_y — усадка арболита;
 $F_{y.п}$ — удельная площадь заполнителя, $\text{кг}/\text{м}^3$;
 B — расход воды на 1 м^3 арболита, кг;
 $Д$ — расход древесного заполнителя, кг.

Выводы

Анализируя зависимости экспериментальных данных исследования свойств древесно-цементного материала (арболита) от длины частиц заполнителя, а также обобщая результаты предыдущих исследований, можно сделать следующие выводы:

– прочность арболита находится в пропорциональной зависимости от активности цемента и его расхода на 1 м^3 этого материала, плотности и коэффициента уплотнения (или степени уплотнения арболитовой массы при формовании), адгезии

древесного заполнителя к цементному вяжущему, прочности заполнителя (при одинаковом содержании водорастворимых веществ), коэффициента формы заполнителя арболита;

– прочность арболита обратно пропорциональна содержанию водорастворимых веществ древесины в органическом заполнителе, на основе которого он изготовлен, его усадке, удельной поверхности заполнителя, расходу воды и объемному содержанию древесного заполнителя в арболите.

Изменяя размеры, форму древесной дробленки и соотношение гранулометрического состава заполнителей, расход цемента и воды, можно получать древесно-цементные композиты, значительно различающиеся по прочности, морозостойкости, водонепроницаемости, трещиностойкости, усадке.

Цемент и вода — основные ингредиенты древесно-цементного материала: на них возложена главная функция — связать все компоненты в единую монолитную структуру. Соблюдение правильной пропорции этих двух компонентов (водоцементное отношение) — главнейшая задача в производстве древесно-цементного материала. Так, избыточное количество воды при затворении приводит к замедлению набора прочности, к увеличению усадочных трещин и снижению морозостойкости. При производстве древесно-цементного материала необходимо получить, возможно, более жесткие для выбранной технологии смеси. Теоретически для химического соединения водоцементное отношение составляет $В/Ц \approx 0,4$, однако из условия удобоукладываемости арболита принимают $В/Ц = 0,7...0,8$.

Структура оказывает существенное влияние на прочностные и деформационные свойства древесно-цементного материала, которые зависят от вида и марки цемента, вида органического заполнителя, способов уплотнения, условий твердения, степени гидратации цементного камня и других факторов.

Оптимальным для конкретных условий эксплуатации является состав древесно-цементного материала, удовлетворяющий техническим требованиям строительства и обладающий вместе с тем наименьшей стоимостью.

Список литературы

- [1] Запруднов В.И. Исследование процесса влияния технологических факторов на свойства древесно-цементного утеплителя // Научные труды МГУЛ, 1996. Вып. 285. С. 12–17.
- [2] Sá V.A., Bufalino L., Albino V.C.S., Corrêa A.A., Mendes L.M., Almeida N.A. Mixture of three reforestation species on the cement-wood panels production // Revista Árvore, 2012, v. 36, no. 3, pp. 549–557.
- [3] Torkaman J., Ashori A., Momtazi A.S. Using wood fiber waste, rice husk ash, and limestone powder waste as cement replacement materials for lightweight concrete blocks // Construction and Building Materials, 2014, v. 50, pp. 432–436.

- [4] Fan M., Ndikontar M.K., Zhou X., Ngamveng J.N. Cement-bonded composites made from tropical woods // *Compatibility of wood and cement. Construction and Building Materials*, 2012, v. 36, pp. 135–140.
- [5] Запруднов В.И. Создание качественных древесно-цементных материалов // *Лесной вестник / Forestry Bulletin*, 2017. Т. 21. № 6. С. 54–60.
- [6] Подчуфаров В.С., Чемлева Т.А., Щербаков А.С. Об оптимальном составе арболита повышенного качества // *Научные труды МГУЛ*, 1976. Вып. 93. С. 68–88.
- [7] Рыбьев И.А. Две важнейшие закономерности в свойствах материалов с конгломератным типом структуры // *Строительные материалы*, 1965. № 1. С. 17–20.
- [8] Щербаков А.С., Хорошун Л.П., Подчуфаров В.С. Арболит. Повышение качества и долговечности. М.: Лесная пром-сть, 1979. 160 с.
- [9] Schmitz G. Elektrische mechanische und termische untersuchungen uber das system holz-zement. Dusseldorf, 1968, p. 106.
- [10] Sandermann W., Kohler P. Uber eine kurze Eignungsprüfung von Holzern für Zement gebundene Werkstoffe // *Holzforesung*, 1964, bd. 18, pp. 53–59.
- [11] Yeh R.H.T. Variational bounds of unidirectional fiber-reinforced composites // *J. Appl. Phys.*, 1973, v. 44, no. 2, 662 p.
- [12] Zhou Y., Kamdem D.P. Effect of cement/wood ratio on the properties of cement-bonded particleboard using CCA-treated wood // *Forest Products J.*, 2002, v. 52 (2), pp. 73–81.
- [13] Parchen C.F.A., Iwakiri, S., Zeller, F. Vibro-dynamic compression processing of low-density wood-cement composites // *Eur. J. Wood Prod.*, 2016, v. 74, pp. 75–81. <https://doi.org/10.1007/s00107-015-0982-1>
- [14] Ronquim R.M., Ferro F.S., Icimoto F.H., Campos C.I., Bertolini M.S., Christoforo A.L., Rocco Lahr F.A. Physical and Mechanical Properties of Wood-Cement Composite with Lignocellulosic Grading Waste Variation // *International J. of Composite Materials*, 2014, v. 4(2), pp. 69–72.
- [15] Sanaev V.G., Zaprudnov V.I., Gorbaheva G.A., Oblivin A.N. Factors affecting the quality of wood-cement composites // *Bulletin of the Transilvania. Series II: Forestry*, 2016, v. 9 (58), no. 2, pp. 63–71.
- [16] Уголев Б.Н. Древесиноведение с основами лесного товароведения. М.: Лесная пром-сть, 2007. 266 с.
- [17] Запруднов В.И., Стриженко В.В. Основы строительного дела. М.: МГУЛ, 2008. 460 с.
- [18] Kamal I.B. Kenaf for biocomposite: an overview // *J. of Science and Technology*, 2014, v. 6, no. (2), pp. 41–66.
- [19] Lips S.J., van Dam J.E. Kenaf Fibre Crop for Bioeconomic Industrial Development Kenaf // *A Multi-Purpose Crop for Several Industrial Applications*. Springer, 2013, pp. 105–143.
- [20] Баженов Ю.М. Технология бетона. М.: Высшая школа, 1987. 415 с.
- [21] Abdelrhman H.A., Shahwahid M., Paridah M.T., Jawaid M., Nourelddeen H.A. Carbon Stored in Kenaf Fiber Utilization of Biocomposite Applications into Automotive Components // *International J. of Latest Engineering Research and Applications (IJLERA)*, 2017, v. 2(07), pp. 46–53.
- [22] Boadu K.B., Antwi-Boasiako C., Ofosuhene L. Solvent extraction of inhibitory substances from three hardwoods of different densities and their compatibility with cement in composite production // *J. of the Indian Academy of Wood Science*, 2018, v. 15, pp. 140–148.
- [23] Cheumani Y.A.M., Ndikontar M., De Jéso B, Sèbe G. Probing of wood-cement interactions during hydration of wood-cement composites by proton low-field NMR relaxomet // *J. Mater. Sci.*, 2011, v. 46, pp. 1167–1175.
- [24] Frybort S., Mauritz R., Teischinger A., Muller U., 2008. Cement bonded composites – a mechanical review // *BioResources*, v. 3(2), pp. 602–626.
- [25] Jorge F.C., Pereira C., Ferreira J.M.F. Wood-cement composites: a review // *Holz als Roh-und Werkstoff*, 2004, v. 62(5), pp. 370–377.

Сведения об авторе

Запруднов Вячеслав Ильич — д-р техн. наук, профессор МГТУ им. Н.Э. Баумана (Мытищинский филиал), zaprudnov@mgul.ac.ru

Поступила в редакцию 30.04.2021.

Одобрено после рецензирования 05.10.2021.

Принята к публикации 06.12.2021.

INFLUENCE OF WOOD-CONCRETE MATERIAL STRUCTURE ON STRENGTH AND DEFORMATION PROPERTIES

V.I. Zaprudnov

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

zaprudnov@mgul.ac.ru

It is established that with an increase in the length of the filler particles, the axial compression strength of the wood-concrete material (arbolite) increases, and the volume shrinkage decreases. An increase in the linear shrinkage of the arbolite across the prism parallel to the direction of the pressing force and a decrease in the linear shrinkage across the prism perpendicular to the direction of the pressing force with an increase in the length of the filler particles is determined. An increase in the specific pressure of pressing arbolite with an increase in the length of the filler particles was revealed. Studies have shown that the dependence of the strength of arbolite is inversely proportional to the content of water-soluble wood substances in the organic aggregate of which it is made, its shrinkage, the specific surface area of the aggregate, water consumption and the volume content of wood filler in arbolite. Theoretically necessary for a chemical compound, the water-concrete ratio In/C is 0,4, however, from the condition of the workability of arbolite, the ratio In/C is recommended to be equal to 0,7...0,8.

Keywords: wood-cement material, strength and deformation, hydration and hardening of cement, wood aggregate

Suggested citation: Zaprudnov V.I. *Vliyanie struktury drevesno-tsementnogo materiala na prochnostnye i deformatsionnye svoystva* [Influence of wood-concrete material structure on strength and deformation properties]. *Lesnoy vestnik / Forestry Bulletin*, 2022, vol. 26, no. 1, pp. 91–96. DOI: 10.18698/2542-1468-2022-1-91-96

References

- [1] Zaprudnov V.I. *Issledovanie protsessa vliyaniya tekhnologicheskikh faktorov na svoystva drevesno-tsementnogo uteplitelya* [Investigation of the process of influence of technological factors on the properties of wood-cement insulation]. Nauchnye trudy MGUL [Scientific works of MGUL], 1996, iss. 285, pp. 12–17.
- [2] Sá V.A., Bufalino L., Albino V.C.S., Corrêa A.A., Mendes L.M., Almeida N.A. Mixture of three reforestation species on the cement-wood panels production. *Revista Árvore*, 2012, v. 36, no. 3, pp. 549–557.
- [3] Torkaman J., Ashori A., Momtazi A.S. Using wood fiber waste, rice husk ash, and limestone powder waste as cement replacement materials for lightweight concrete blocks. *Construction and Building Materials*, 2014, v. 50, pp. 432–436.
- [4] Fan M., Ndikontar M.K., Zhou X., Ngamveng J.N. Cement-bonded composites made from tropical woods. Compatibility of wood and cement. *Construction and Building Materials*, 2012, v. 36, pp. 135–140.
- [5] Zaprudnov V.I. *Sozdanie kachestvennykh drevesno-tsementnykh materialov* [Creation of high-quality wood-cement materials]. *Lesnoy vestnik / Forestry Bulletin*, 2017, v. 21, no. 6, pp. 54–60.
- [6] Podchufarov V.S., Chemleva T.A., Shcherbakov A.S. *Ob optimal'nom sostave arbolita povyshennogo kachestva* [On the optimal composition of high-quality wood concrete]. Nauchnye trudy MGUL [Scientific works of MGUL], 1976, iss. 93, pp. 68–88.
- [7] Ryb'ev I.A. *Dve vazhneyshie zakonomernosti v svoystvakh materialov s konglomeratnym tipom struktury* [Two most important regularities in the properties of materials with a conglomerate type of structure]. *Stroitel'nye materialy* [Stroitelnye materialy], 1965, no. 1, pp. 17–20.
- [8] Shcherbakov A.S., Khoroshun L.P., Podchufarov V.S. *Arbolit. Povyshenie kachestva i dolgovechnosti* [Arbolit. Improved quality and durability]. Moscow: Lesnaya promyshlennost', 1979, 160 p.
- [9] Schmitz G. *Elektrische mechanische und termische untersuchungen uber das system holz-zement*. Dusseldorf, 1968, p. 106.
- [10] Sandermann W., Kohler P. *Uber eine kurze Eignungsprüfung von Holzern für Zement gebundene Werkstoffe*. *Holzforeshung*, 1964, bd. 18, pp. 53–59.
- [11] Yeh R.H.T. Variational bounds of unidirectional fiber-reinforced composites. *J. Appl. Phys.*, 1973, v. 44, no. 2, 662 p.
- [12] Zhou Y., Kamdem D.P. Effect of cement/wood ratio on the properties of cement-bonded particleboard using CCA-treated wood. *Forest Products J.*, 2002, v. 52 (2), pp. 73–81.
- [13] Parchen C.F.A., Iwakiri, S., Zeller, F. Vibro-dynamic compression processing of low-density wood-cement composites. *Eur. J. Wood Prod.*, 2016, v. 74, pp. 75–81. <https://doi.org/10.1007/s00107-015-0982-1>
- [14] Ronquim R.M., Ferro F.S., Icimoto F.H., Campos C.I., Bertolini M.S., Christoforo A.L., Rocco Lahr F.A. Physical and Mechanical Properties of Wood-Cement Composite with Lignocellulosic Grading Waste Variation. *International J. of Composite Materials*, 2014, v. 4(2), pp. 69–72.
- [15] Sanaev V.G., Zaprudnov V.I., Gorbaheva G.A., Oblivin A.N. Factors affecting the quality of wood-cement composites. *Bulletin of the Transilvania. Series II: Forestry*, 2016, v. 9 (58), no. 2, pp. 63–71.
- [16] Ugolev B.N. *Drevesinovedenie s osnovami lesnogo tovarovedeniya* [Wood science with the basics of forest commodity science]. Moscow: Lesnaya promyshlennost', 2007, 266 p.
- [17] Zaprudnov V.I., Strizhenko V.V. *Osnovy stroitel'nogo dela* [Construction Basics]. Moscow: MSFU, 2008, 460 p.
- [18] Kamal I.B. Kenaf for biocomposite: an overview. *J. of Science and Technology*, 2014, v. 6, no. (2), pp. 41–66.
- [19] Lips S.J., van Dam J.E. *Kenaf Fibre Crop for Bioeconomic Industrial Development Kenaf. A Multi-Purpose Crop for Several Industrial Applications*. Springer, 2013, pp. 105–143.
- [20] Bazhenov Yu.M. *Tekhnologiya betona* [Concrete technology]. Moscow: Vysshaya shkola [Higher school], 1987, 415 p.
- [21] Abdelrhman H.A., Shahwahid M., Paridah M.T., Jawaid M., Noureldeen H.A. Carbon Stored in Kenaf Fiber Utilization of Biocomposite Applications into Automotive Components. *International J. of Latest Engineering Research and Applications (IJLERA)*, 2017, v. 2(07), pp. 46–53.
- [22] Boadu K.B., Antwi-Boasiako C., Ofosuhen L. Solvent extraction of inhibitory substances from three hardwoods of different densities and their compatibility with cement in composite production. *J. of the Indian Academy of Wood Science*, 2018, v. 15, pp. 140–148.
- [23] Cheumani Y.A.M., Ndikontar M., De Jéso B, Sèbe G. Probing of wood–cement interactions during hydration of wood–cement composites by proton low-field NMR relaxomet. *J. Mater. Sci.*, 2011, v. 46, pp. 1167–1175.
- [24] Frybort S., Mauritz R., Teischinger A., Muller U., 2008. Cement bonded composites — a mechanical review. *BioResources*, v. 3(2), pp. 602–626.
- [25] Jorge F.C., Pereira C., Ferreira J.M.F. Wood-cement composites: a review. *Holz als Roh-und Werkstoff*, 2004, v. 62(5), pp. 370–377.

Author's information

Zaprudnov Vyacheslav Il'ich — Dr. Sci. (Tech.), Professor of the BMSTU (Mytishchi branch), zaprudnov@mgul.ac.ru

Received 30.04.2021.

Approved after review 05.10.2021.

Accepted for publication 06.12.2021.

ДРЕВЕСИНА КАК ХИМИЧЕСКОЕ СЫРЬЕ. ИСТОРИЯ И СОВРЕМЕННОСТЬ IV. ДЕЛИГНИФИКАЦИЯ ДРЕВЕСИНЫ КАК ПУТЬ ПОЛУЧЕНИЯ ЦЕЛЛЮЛОЗЫ. ЧАСТЬ I.

Г.Н. Кононов✉, А.Н. Веревкин, Ю.В. Сердюкова, Д.А. Миронов

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

kononov@mgul.ac.ru

Рассмотрены вопросы истории развития методов делигнификации древесины в целях получения целлюлозы. Дано краткое описание их использования в бумажном производстве с момента его зарождения. Подробно описаны технологии натронной, сульфатной и сульфитной делигнификации древесины. Показано развитие способов отбелки и облагораживания технических целлюлоз, совершенствование их аппаратного оформления и их влияние на качество готовой продукции. Приведена динамика развития целлюлозной промышленности в ведущих странах мира, ее современное состояние и перспективы развития. Настоящая статья является четвертой частью цикла «Древесина как химическое сырье. История и современность»; первая, вторая и третья части опубликованы в журнале «Лесной вестник / Forestry Bulletin», 2020, т. 24, № 1, № 5; 2021, т. 25, № 3.

Ключевые слова: бумага, делигнификация, технические целлюлозы, отбелка, облагораживание, растворимые целлюлозы

Ссылка для цитирования: Кононов Г.Н., Веревкин А.Н., Сердюкова Ю.В., Миронов Д.А. Древесина как химическое сырье. История и современность. IV. Делигнификация древесины как путь получения целлюлозы. Часть I // Лесной вестник / Forestry Bulletin, 2022. Т. 26. № 1. С. 97–113. DOI: 10.18698/2542-1468-2022-1-97-113

«Лигнин» (лат. *lignum* — дерево)
Ф. Шульце 1851 г.

Целлюлоза и лигнин — самые распространенные органические соединения на планете Земля и с небольшим количеством нецеллюлозных полисахаридов — гемицеллюлоз образуют лигно-углеводный комплекс — основу физической структуры древесины.

Традиционно из этих двух основных компонентов древесины химиков интересовала целлюлоза — природный полимер, обладающий фибриллярной структурой, вследствие чего она способна образовывать листовые (бумага, картон, пергамент, фибра), волокнистые (волокна, нити, ткани) и пластические (пластмассы, пленки, пленкообразователи) композиции. Высокая реакционная способность целлюлозы дала возможность с помощью полимераналогичных превращений широко изменять ее химические и физические свойства, сохраняя высокомолекулярную структуру, в том числе использовать ее в качестве многофункционального химического сырья.

Технологические ресурсы чистой целлюлозы, в основном хлопковой, ограничены, поэтому возник вопрос о ее получении из древесины путем освобождения от лигнина, т. е. методами делигнификации.

Цель работы

Цель работы — рассмотрение методов делигнификации древесины на историческом фоне трансформации технологий получения технических целлюлоз и их подготовки к химической переработке.

1. Лабораторные методы выделения целлюлозы из древесины

После открытия целлюлозы А. Браконно в 1818 г. в древесине белого бука началась разработка методов ее извлечения из древесины [1].

Понятие о целлюлозе складывалось постепенно. А. Пайен в 1838 г. подразумевал под целлюлозой все вещества присутствующие в стенках растительных клеток, которые имеют состав $(C_6H_{10}O_5)_n$ [1, 2]. Однако, после того, как Ф. Шульце в 1857 г. показал, что при гидролизе многих веществ такого состава наряду с глюкозой образуются *D*-маноза и другие гексозы, целлюлозу стали относить к высокомолекулярному соединению, дающему при гидролизе только *D*-глюкозу и обладающему высокой устойчивостью к действию разбавленных кислот.

Под термином «клетчатка» до конца 1930-х годов понимают смесь целлюлозы с ее углеводными спутниками — гемицеллюлозами [1]. В некоторых современных публикациях приводится обратная трактовка, т. е. под термином «целлюлоза» подразумевают технические целлюлозы, а под термином «клетчатка» — индивидуальное химическое вещество [2]. В классической терминологии эти два термина считаются синонимами [3].

Делигнификация древесины дымящей азотной кислотой впервые была предложена Г. Мюльдером в 1846 г. в целях определения в ней количества целлюлозы [4].

Одним из наиболее старых методов выделения целлюлозы является метод Шульце, предложенный им в 1857 г. Он заключался в обработке древесины смесью бертолетовой соли и 20%-й азотной кислоты в пропорции 1:15 в течение 12–14 дней при температуре 15 °С. Затем проводилось фильтрование и обработка 2%-м раствором аммиака и последующее промывание целлюлозы горячей водой. Наряду с азотной кислотой активным делигнифицирующим агентом в этом методе являлся оксид хлора (II), а разбавленная азотная кислота практически не разрушала целлюлозу [3].

В 1877 г. Г. Мюллер предложил метод делигнификации древесины многократной обработкой бромной водой в течение 12–14 ч. с последующим фильтрованием и нейтрализацией 0,4%-м раствором аммиака и кипячением до полного исчезновения коричневой окраски фильтрата, содержащего продукты бромирования лигнина.

Метод, предложенный в 1895 г. С. Кроссом и Е. Бивингом заключался в поочередной обработке древесины хлором и 2%-м раствором сульфата натрия до полного обесцвечивания смеси.

В 1897 г. Г. Леббин, а в 1903 г. Дж. Кениг для выделения целлюлозы пользовались пероксидом водорода, но метод оказался длительным по времени, а полученная целлюлоза частично разрушенной [4].

В 1910 г. Б. Толленс предложил метод последовательной обработки древесины теплым разбавленным раствором серной кислоты, гидроксида калия и 25%-м раствором азотной кислоты в течение 1 ч при температуре 80 °С.

В 1921 г. Э. Шмидт и Е. Грауман предложили метод обработки древесины диоксидом хлора с последующим растворением продуктов делигнификации водным раствором пиридина [4]. При этом выделялся весь углеводный комплекс (целлюлоза и гемицеллюлозы), названный ими «скелетным веществом» (холоцеллюлоза) [5].

В 1929 г. К. Кюршнер и А. Хоффер разработали наиболее часто применяемый на практике азотно-кислотный метод определения содержания

целлюлозы в древесине. Этот метод заключается в 3–4-кратной обработке древесины смесью одного объема 65%-й азотной кислоты и четырех объемов этанола с последующим кипячением в течение 1 ч. до отрицательной пробы на лигнин с солянокислым раствором флороглюцина [4].

Практически ни один из этих методов не был взят за основу промышленного способа делигнификации древесины, и их продолжали разрабатывать параллельно с лабораторными методами.

2. Промышленные способы варки (делигнификации) древесины

2.1. Использование не делигнифицированного целлюлозосодержащего сырья

До изобретения промышленных методов делигнификации древесины основными источниками целлюлозы были хлопок и лубяные волокна льна, конопли и других однолетних растений, используемых в текстильном и бумажном производствах.

Основным потребителем целлюлозы стало хлопчатобумажное текстильное производство, сырьем для которого были волокна хлопчатника, а оно в свою очередь давало сырье в виде хлопчатобумажного тряпья для производства бумаги (от татар. «бумуг» — хлопок) [6].

Не углубляясь в историю бумажного производства, остановимся на его главных этапах: II — I вв. до н. э. производство прототипа бумаги из отходов шелка и шелкопряда — «путанка»; I в. н. э. — первые сведения о производстве бумаги в Китае, 76 г. н. э. — использование бумаги в книжном производстве, 105 г. н. э. — китайский сановник Тсай Лун обобщив предшествующий опыт, представил ручной способ производства бумаги из луба тутового дерева, коры ивы, побегов бамбука, соломы, конопляных очесов и всякого тряпья, доложив об этом китайскому императору Юан-Хингу, и бумагу стали называть «шелком князя Тсай».

Основным источником сырья все же служило тутовое дерево (шелковица), ветви которого использовались очень рачительно: плоды шли в пищу, листьями кормили гусениц тутового шелкопряда, луб шел на получение волокна, а окоренная древесина и корка использовались в качестве топлива, дающего золу, добавляемую в щелок при варке луба (рис. 1).

В 611 г. японский монах Дон Шо, возвратившись из Кореи — на тот момент провинции Китая, основал производство бумаги у себя на родине, а в 806–809 гг. в Японии было основано несколько государственных мастерских по производству бумаги. В начале XII в. бумага из Китая проникла в Индию, где в г. Ахмадабад ее начали изготавливать

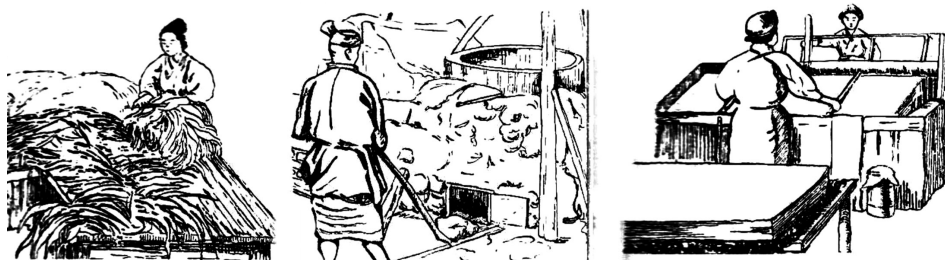


Рис. 1. Очистка луба шелковицы и ее варка в щелоке (Китай, XI в)
Fig. 1. Cleaning the mulberry bast and cooking it in lye (China, XI century)

из джутовых тряпок и мешков. Первым центром развития бумажного производства в арабских владениях был г. Самарканд, где в середине XIII в. оно начало развиваться с использованием труда китайских военнопленных, захваченных в 751 г. при сражении на р. Талас. В Европу бумага попала через Испанию. В Греции она была известна уже в IX в., в Италии — в XI, во Франции — в XII, в Германии и Австрии — в XIV, в Швейцарии и Англии — в XV и в Голландии — в XVI в., а в 1640 г. в этой стране был изобретен массный ролл «голлендер» [6]. Он стал использоваться взамен толчеи с каменной ступой в виде корыта и деревянными пестами падающими сверху в него. Толчея же была изобретена в Италии еще в XIII в., и пришла, в свою очередь, на смену ручным ступам. Поступательное движение пестов и вращательное движение ножевого вала массного ролла приводилось в действие либо водяным, либо ветряным колесами, поэтому бумажные предприятия того времени назывались бумажными мельницами [6].

В XVI в. были построены бумажные мельницы на территории современных Украины, Литвы и Белоруссии, а первые сведения о производстве бумаги в России относятся к 1564–1576 гг., и они были связаны с постройкой бумажной мельницы на р. Уча в Московском уезде.

В 1655 г. была построена бумажная мельница на р. Пахра в слободе Зеленой, а в 1673 г. на р. Яуза. По указу Петра I, были построены такие крупные мануфактуры, как Богородская бумажная мельница в Чудовом монастыре (1704), Красносельская (1712), Петербургская (1718), мельница на Полотняном заводе в Калужской губернии (1720) и несколько позже Ярославская бумажная мануфактура (рис. 2) [7].

Число бумажных мануфактур неуклонно росло. Так, в 1725 г. их было всего 5, а в 1761 — уже 26, в 1800 — 57, из которых 31 принадлежали купцам, а 26 были вотчинными, т. е. помещичьими. Повсеместно в качестве сырья кроме тряпья использовали отходы пеньки с канатного производства, льняные отходы с ткацких мануфактур, солому и старую бумагу. В 1806 г. на Ярославской мануфактуре было введено химическое белиение



Рис. 2. Процессы ручного черпания и прессования бумаги на Ярославской мануфактуре (1730–1740 гг.)
Fig. 2. The processes of manual scooping and pressing paper at the Yaroslavl manufactory (1730–1740)

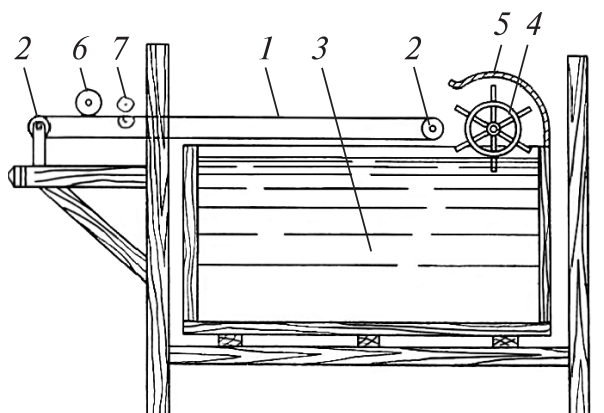


Рис. 3. «Самочерпка» Робера: 1 — сетка; 2 — натяжные валики; 3 — черпальный чан; 4 — черпальное колесо; 5 — отражательный щиток; 6 — пресс; 7 — накат
Fig. 3. Robert's «Self-scooper»: 1 — mesh; 2 — tension rollers; 3 — scooping vat; 4 — scooping wheel; 5 — reflective shield; 6 — press; 7 — reel-up

тряпья для изготовления белой бумаги, а в 1811 г. на Красносельской мануфактуре велись работы по механизации процесса отлива бумаги [7].

Ряд знаменательных событий, начиная с 1799 г., поставил бумажное производство в совершенно новые условия и вывел его из состояния мелкого кустарного промысла на уровень крупной фабрично-заводской отрасли.

18 января 1799 г. французскому гражданину Н. Роберу был выдан патент на машину для выра-

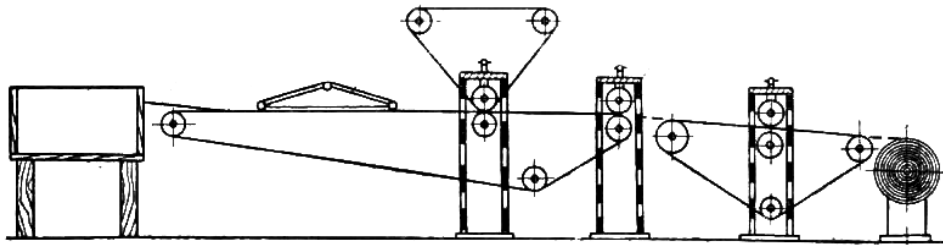


Рис. 4. Бумагоделательная машина Донкина
Fig. 4. Donkin's paper-making machine

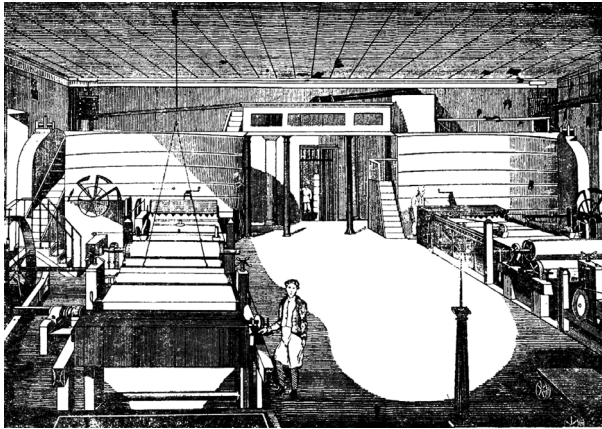


Рис. 5. Бумагоделательные машины на Петергофской бумажной фабрике (1816–1824)
Fig. 5. Paper-making machines at the Peterhof paper Mill (1816–1824)

ботки непрерывной полосы бумаги — самочерпку, опытный образец которой некоторое время работал на бумажной мануфактуре в г. Гессен (рис. 3) [7].

Великая французская революция и последующие военные и политические авантюры не позволили реализовать этот проект в промышленном масштабе.

По патенту Робера, приобретенному английским заводчиком Брианом Домкиным и французским промышленником Л. Дидо за 24 700 франков, с участием английских конструкторов Ф. Сели и Г. Фундринье, первая бумажная машина была усовершенствована и запущена в Англии в 1803 г. на Фрогморской фабрике. Во Франции такая же машина была внедрена только в 1816 г. на Сен-Рошской фабрике (рис. 4) [8].

В 1807 г. Илинг изобрел «гарпиусную» (канифольную) проклейку взамен «мездровой» и «камедной» (крахмальной) проклеек с кислыми растительными соками. В 1823 г. началось применение наполняющих веществ в бумажной массе, в основном каолина, а в 1856 г. — анилиновых красителей взамен растительных [6].

Первые машины Донкина работали без отсасывающих ящиков и сушильной части. Только в 1823 г. они были снабжены сушильными цилин-

драми с угольными жаровнями, разработанными англичанином Кромбтоном, а позднее обогреваемыми паром. Сеточная часть впоследствии снабжалась отсасывающими ящиками, разработанными французом А. Кансоном [6].

Все изобретения и новшества, введенные в бумажное производство, привели к быстрому его расширению и распространению бумажных машин в 1810–1820-е годы, в большинстве европейских стран, в том числе в России.

В 1813 г. в России приступили к организации первой казенной бумажной фабрики в Петергофе. На этой фабрике были установлены две длинносетчатые бумагоделательные машины без сушильной части, изготовленные усилиями рабочих Петергофской гранильной фабрики и Петербургского литейного завода. Постройкой руководил англичанин Вестенгаузен, представитель фирмы Донкина, которому впоследствии, вплоть до 1835 г., все предприниматели, использующие машинные способы производства бумаги, должны были отчислять 25 % прибыли. Первая машина была пущена в 1816 г., а в 1824 г. на второй машине была установлена сушильная часть с паровым обогревом [23]. Первая машина впоследствии была передана на Красносельскую фабрику (рис. 5) [82].

К 1850 г., 29 фабрик из 159 имели машинное производство и выпускали 62 % всех видов бумаги, вырабатываемых в России, а к 1885 г. количество таких фабрик увеличилось до 135 [8].

После реформы 1861 г. и к 1885 г. все помещичьи мануфактуры прекратили свое существование. К 1913 г. на территории Российской империи насчитывалось уже 212 целлюлозно-бумажных предприятий, которые производили в год 40,7 тыс. т целлюлозы и 55,4 тыс. т древесной массы. Россия занимала 19 место в мире в этой отрасли, импорт составлял всего 8 тыс. т целлюлозы [8].

Однако до начала 1860-х гг., как в Европе, так и в России бумажное производство в качестве сырья использовало только хлопчатобумажное и льняное тряпье [7]. Недостаток сырья пытались устранить различными способами. Так, в 1840 г. саксонскому ткачу Ф. Готлибу-Келлеру

удалось разработать процесс «шлифования» дерева, ставшего основой для древесно-массного производства с получением «белой» древесной массы [7]. Идея Ф. Готлиба-Келлера была внедрена в производство инженером Г. Фельтером, разработавшим конструкцию дефибрера мощностью 25 л. с. (18,38 кВт) и производительностью 500 кг древесной массы в сутки и запущенного в работу в 1857 г. [7]. Вслед за этим новшеством, в 1862 г., одновременно англичане У. Кнокс и М. Лишан и немцы Ф. Бэрэнда и Л. Мейя предложили предварительно перед дефибрированием (лат. *fibra* — волокно) древесину пропаривать. Тем самым было положено начало получения «бурой» древесной массы и ее использования в производстве бумаги. Эти волокнистые полуфабрикаты быстро стали внедряться в бумажное производство, частично заменяя тряпичную массу [9].

В очерке А. Белова о писчебумажном производстве в России, изданном в 1869 г., упоминается о шести фабриках, изготавливающих бумагу из древесины, причем наряду с использованием фельтеровского дефибрера, древесную массу получали способом Шапиро из специально нарезанной стружки путем ее размала в роллах. К 1870-м годам в Европе уже действовало 210 дефибрерных установок, из них 16 в России, при этом в США было более 100 [6].

Однако древесная масса не могла полностью заменить тряпье, так как бумага, получаемая из нее, была непрочной, и поэтому работы в области изыскания новых видов волокнистого сырья продолжались с прежним упорством [6].

В 1818 г. А. Браконно доказал присутствие целлюлозы в древесине, а в 1838 г. А. Пайен обнаружил, что «древесная целлюлоза пропитана инкрустирующими веществами...», которые в 1857 г. были названы Ф. Шульце — «лигнином». Поэтому целью дальнейших исследований стала разработка промышленных методов делигнификации древесины для выделения из нее целлюлозы, в той или иной степени очищенной, которую можно было бы использовать в различных технологиях вместо хлопковой и тряпичной массы [10].

2.2. Щелочные способы делигнификации древесины

Предшественницей этого способа переработки древесины можно считать варку луба шелковицы и тряпья в щелоке с древесной золой, содержащей поташ, обеспечивающий щелочную среду. В случае варки луба щелочная среда способствовала только мерсеризации и разрыхлению волокна, а в случае варки тряпья — освобождению целлюлозных тканей от белков шелковых и шерстяных нитей и привнесенных извне жиров путем их щелочного гидролиза и омыления. При щелочной

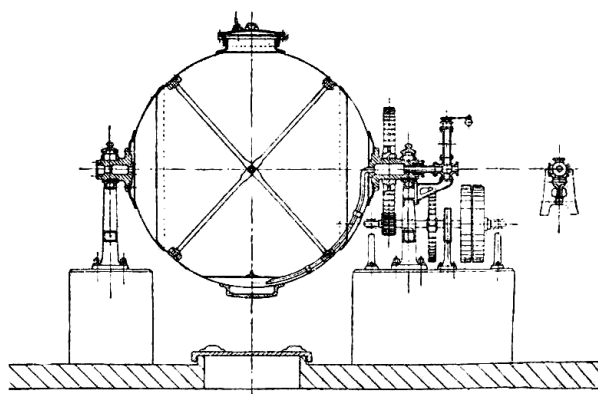


Рис. 6. Вращающийся шаровой котел для натронной варки соломы
Fig. 6. Rotating spherical boiler for alkaline straw process

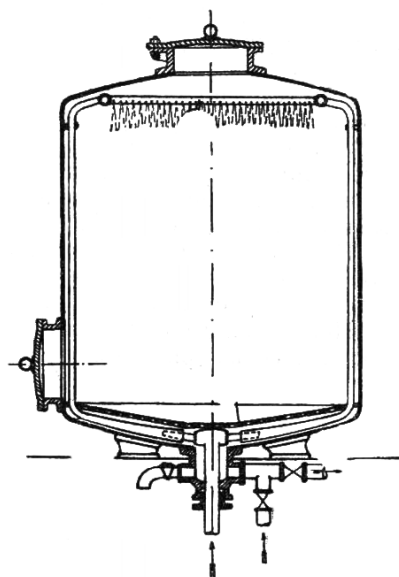


Рис. 7. Стационарный котел для натронной варки эспарто
Fig. 7. Stationary boiler for alkaline esparto process

варке древесины и другого растительного сырья подразумевается в первую очередь освобождение ее от лигнина путем его фрагментации, а также от физиологической смолы в случае древесины хвойных пород.

Много труда было положено на отыскание способов получения целлюлозы из соломы. В Европе впервые щелочная обработка ячменной соломы была осуществлена в 1765 г. У. Шеффером, путем ее бучения с известью в ямах. Впоследствии применялась варка в открытых котлах при относительно низкой температуре, но соломенная «полумасса» имела желтый цвет и неприятный специфический запах, поэтому первые образцы оберточной бумаги с использованием соломенной массы были изготовлены только в 1828 г. братьями Г. Писст и В. Писст. В 1847 г. французам Г. Монгольфьеру и Н. Райту был выдан патент на

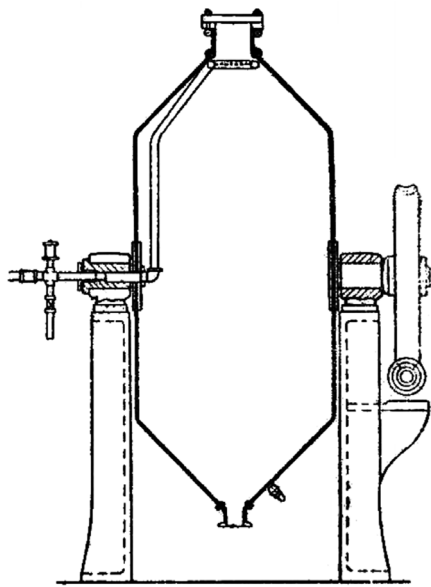


Рис. 8. Вращающийся штуцерный котел для натронной варки древесины
Fig. 8. Rotating fitting boiler for alkaline cooking of wood

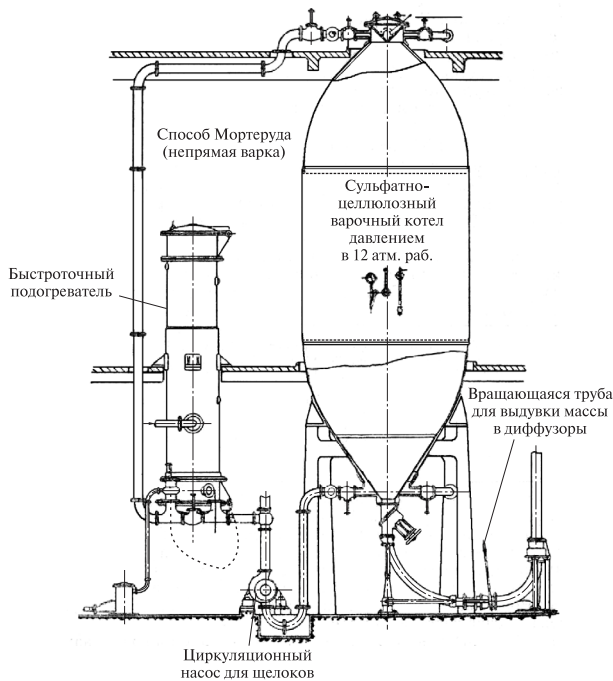


Рис. 9. Стационарный котел для сульфатной варки древесины
Fig. 9. Stationary boiler for sulphate cooking of wood

получение целлюлозы посредством варки соломы с едким натром с последующей ее отбелкой хлорной известью. Это положило начало натронному способу делигнификации, а практическое его осуществление удалось только в 1854 г. французу Мелье в Париже. Варку ржаной и пшеничной соломы осуществляли в шаровых вращающихся котлах при температуре $160\text{ }^{\circ}\text{C}$ и давлении «острого» пара 5 атм. ($0,5\text{ МПа}$) (рис. 6) [7, 9].

Начиная с 1860 г. по способу Мелье, с «легкой руки» англичанина А. Роуледжа, получило распространение производство целлюлозы из африканской травы эспарто главным образом в Англии, Франции и Италии, не имевших своего древесного сырья. Процесс осуществлялся в варочных котлах стационарного типа с подачей «острого» пара под давлением $3,5\text{ атм}$ ($0,35\text{ МПа}$) при температуре $140\text{ }^{\circ}\text{C}$ (рис. 7) [11].

Распространение натронного способа делигнификации древесины сдерживала высокая стоимость щелочи и ее большой расход в связи с высоким содержанием лигнина в древесном сырье и с безвозвратной ее потерей с отработанным щелоком, сбрасываемым в реки и нарушающим их экологический баланс.

Приоритет на технически полноценный и экологически выгодный способ натронной варки древесины принадлежит англичанину Дж. Уатту и американцу Г. Бордджесу, которые в 1853 г. ввели регенерацию щелоков в технологический процесс делигнификации древесины. Процесс регенерации заключался в упаривании и сжигании отработанного «черного щелока» с получением золы содержащей почти чистый карбонат натрия. Полученную золу растворяли и получали «зеленый щелок». Этот продукт подвергали каустизации действием извести и получали раствор едкого натра или исходный «белый щелок», который использовали вновь для варки древесины [12].

Впервые изготовил древесную натронную целлюлозу англичанин У. Хауттон в 1857 г. применив варку с едким натром при температуре $180\text{ }^{\circ}\text{C}$ и давлении пара 11 атм ($1,1\text{ МПа}$). Первый завод по производству натронной целлюлозы из древесины был пущен в 1860 г. в г. Ройерсфорд (штат Пенсильвания, США). В 1866 г. появился первый натронный целлюлозный завод в Англии, а спустя еще 6 лет к производству натронной целлюлозы приступили в Швеции и Германии [8].

Первоначально для варки древесины натронным способом использовали шаровые вращающиеся котлы, ранее применяемые для варки тряпья и соломы. Но впоследствии они были вытеснены штуцерными котлами (рис. 8) [9].

К 1872 г. В. Унгирер запатентовал способ щелочной варки древесины, в основу которого был положен принцип противотока. Процесс вели в батарее варочных котлов и щелок перекачивался из котла в котел так, что свежая щепка подвергалась обработке использованным «черным щелоком», а почти готовая целлюлоза доваривалась со свежим «белым щелоком». Целлюлоза, произведенная таким способом, получалась очень светлой и легко отбеливалась [9].

Еще в 1860-х гг. в целях удешевления процесса производства целлюлозы, были сделаны попытки

получить ее путем варки древесины не с едким натром, а с сульфидом натрия, обладающим в растворе сильной щелочной реакцией. В 1879 г. немецкий инженер О. Даль в г. Данциге (ныне — Гданьск, Польша) практически осуществил эту идею, заменив добавку соды, необходимую для возмещения потерь щелочи, добавкой сульфата натрия. В печи для сжигания «черного щелока», происходило взаимодействие сульфата натрия с углеродом, образовавшимся при термическом разложении органических веществ. В результате происходило его восстановление до сульфида натрия. После растворения полученного «зеленого щелока» и его каустизации образовывался «белый щелок», содержащий как едкий натр, так и сульфид натрия, присутствие которого способствовало получению целлюлозы лучшего качества и с более высоким выходом. Способ получил название «сульфатного», а его изобретатель взял на него патент в 1884 г. [8, 11]. Экономическое преимущество этого способа и возможность получать очень прочную, хотя и трудно отбеливаемую «крафт-целлюлозу» (швед. *kraft* — сила), используемую для изготовления электроизоляционной, упаковочной бумаги и картона, в начале XX в. позволили сульфатному способу занять лидирующее положение по сравнению с натронным [8]. Сульфатный способ применялся преимущественно для переработки лиственной древесины и отходов лесопиления в таких странах, как США, Швеция и Финляндия [9]. Так, в США в 1913 г. доля сульфатной целлюлозы составляла 13 % общего выпуска, в 1929 г. — 25 %, в конце 1930-х годов функционировало более 45 заводов, а к 1960-м годам ее доля в общем объеме производства составляла уже 83 % [8, 9].

Процесс сульфатной варки осуществляли в стационарных варочных котлах периодического действия практически неизменившейся до настоящего времени конструкции (рис. 9) [9].

Первый в России целлюлозный завод, вырабатывающий натронную целлюлозу из древесины, был построен в 1875 г. в с. Кошели Минецкой волости Боровичского уезда Новгородской губернии. В Санкт-Петербурге в 1881 г. был построен натронно-целлюлозный завод при Чекушской писчебумажной фабрике, проработавший до 1886 г., когда его оборудование было перенесено на новый завод в Усть-Ижоре (ныне пгт Усть-Ижора в Ленинградской обл.) проработавший до конца XIX в. Натронно-целлюлозные заводы, работающие на соломе, возникли в конце 1880-х годов при Дядьковской, Красносельской и Добрушской бумажных фабриках, а в 1910 г. были построены сульфат-целлюлозные заводы, также работающие на соломе в пос. Поники (ныне пгт Поники в Полонском районе Хмельницкой обл. Украины)

и в г. Пензе. В годы Первой мировой войны на Урале был построен первый сульфатно-целлюлозный завод в п. Павда Новолялинского городского округа (ныне Свердловской обл.), работавший на древесине с производительностью 10 т целлюлозы в сутки [12]. В то же время на европейской территории России некоторые предприятия были разрушены или территориально отторгнуты, и к 1917 г. на 138 фабриках и заводах, из установленных 120 бумажных и картонных машин работало фактически только 68 [6, 11–12].

По декрету «О национализации предприятий ряда отраслей промышленности, паровых мельниц, предприятий по местному благоустройству и предприятий в области железнодорожного транспорта» от 28 июня 1918 г. в статус государственных было переведено 33 наиболее крупные фабрики, в 1919 г. еще 37 предприятий, а к 1920 г. их количество достигло 94, не считая находившихся на Украине [13].

Сырья катастрофически не хватало, целлюлоза вырабатывалась из низкосортной дровяной древесины, тряпье шло только на производство бумаги для денежных знаков, а макулатура заготавливалась за счет ликвидации архивов. Только в Москве ежемесячная заготовка макулатуры составляла 1000 т. После принятия в 1920 г. плана ГОЭЛРО, предусматривалось расширение старых и строительство новых ЦБП, а производство их продукции было приравнено к военно-оперативному заданию. В течение 10 лет предусматривалось увеличение выпуска продукции в 4 раза по сравнению с 1913 г., для чего требовалось произвести 221 тыс. т целлюлозы и 311 тыс. т древесной массы [13].

В послереволюционные годы большое внимание было уделено развитию исследований в области целлюлозного производства и бумажной промышленности. Так, уже в 1918 г. была основана Государственная бумажная испытательная станция и Центральная контрольно-аналитическая лаборатория (ЦКАЛ) в г. Москве — родоначальник и современного Центрального научно-исследовательского института бумаги (ЦНИИБ). В этом же году Главбумпром начал издавать журнал «Рабочий писчебумажник», а с 1922 г. выходит в свет научно-производственный журнал «Бумажная промышленность» и сборники докладов тематических съездов и совещаний. Техничко-экономический совет бумажной промышленности проработал учебные планы и программы для школ фабрично-заводских училищ, техникумов и бумажных отделов во вузах Москвы, Ленинграда и Киева, а в 1930 г. им был создан Всесоюзный научно-исследовательский институт бумаги (ВНИИБ) в г. Ленинграде (ныне Центральный научно-исследовательский институт бумаги) [6].

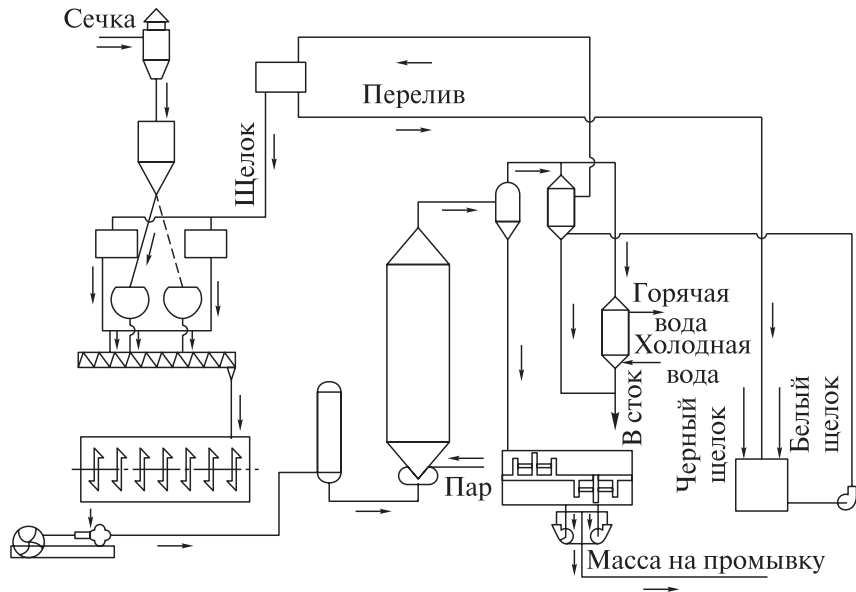


Рис. 10. Схема непрерывно действующей установки системы Л.П. Жеребова
 Fig. 10. Diagram of a continuously operating installation of the L.P. Zherebov system

В годы первых пятилеток была проведена реконструкция действующих и строительство новых крупных комбинатов. Так, в 1935 г. была пущена первая очередь Соломбальского завода в Архангельске, в 1937 г. — сдан в эксплуатацию Марийский целлюлозно-бумажный комбинат (ЦБК) и пущена вторая очередь Соломбальского завода, а в 1939 г. заработал Сегежский комбинат в Карело-Финской ССР. С присоединением Карельского перешейка к СССР в этом же году бумажная промышленность получила еще два предприятия — в городах Энсо и Питкяранте [9].

По окончании Второй мировой войны к СССР отошли предприятия прибалтийских республик и два японских предприятия в южной части о. Сахалина — Долинский и Поронайский ЦБК. Разрушенные предприятия на оккупированной территории были восстановлены, и довоенный уровень производства был превышен уже в 1948 г.

В конце 1950-х годов приступили к строительству новых предприятий, и в 1960–1970-е годы были пущены в строй Котласский и Комсомольский ЦБК, Байкальский целлюлозный завод, Братский и Сыктывкарский лесоперерабатывающие комбинаты (ЛПК), Астраханский целлюлозно-картонный комбинат (ЦКК) и другие предприятия, производящие сульфатную целлюлозу [12].

В 1980-е годы был полностью введен в эксплуатацию Усть-Илимский ЛПК, специализировавшийся на выпуске белой хвойной сульфатной целлюлозы мощностью 550 тыс. т в год, что больше, чем выпускала вся целлюлозно-бумажная промышленность страны в предвоенный период, а общий выпуск сульфатной целлюлозы в стране составил более 4,5 млн т.

Однако вследствие снижения темпов экономического развития всей страны в середине 1980-х годов так и не были построены ЦБК в Тюменской, Томской областях и Красноярском крае [13].

В 1990-е годы строительство новых предприятий не проводилось, а значительное число работающих комбинатов прекратило свою производственную деятельность. В результате этого суммарный выпуск целлюлозы в стране к концу 1990-х годов уменьшился в 2,5 раза и только в 2000-е он начал расти в связи с проведением реконструкции предприятий и даже увеличился вдвое, но тем не менее не достиг уровня конца 1980-х годов [13].

В настоящее время для варки сульфатной целлюлозы на многих предприятиях используются непрерывно действующие варочные установки типа «Камюр». Первая из них была запущена еще в 1947 г. на шведском заводе в г. Фенгесфорс производительностью 50 т в сутки. Первой непрерывно действующей установкой в России была установка конструкции проф. Л.П. Жеребова, успешно работавшая уже в 1936–1941 гг. на Добрушском соломенно-целлюлозном заводе. Она представляла собой котел емкостью 4 м³, в который с помощью плунжерного насоса высокого давления подавалась предварительно мацерированная варочным щелоком соломенная сечка (рис. 10) [13].

После загрузки сечки в котел в нижнюю его часть подавался «острый» пар при давлении 35 атм. (3,55 МПа) и температуре 180...185 °С. Процесс велся по принципу скорой высокотемпературной варки в течение 15...20 мин, и сваренная масса непрерывно выдувалась из верхней части

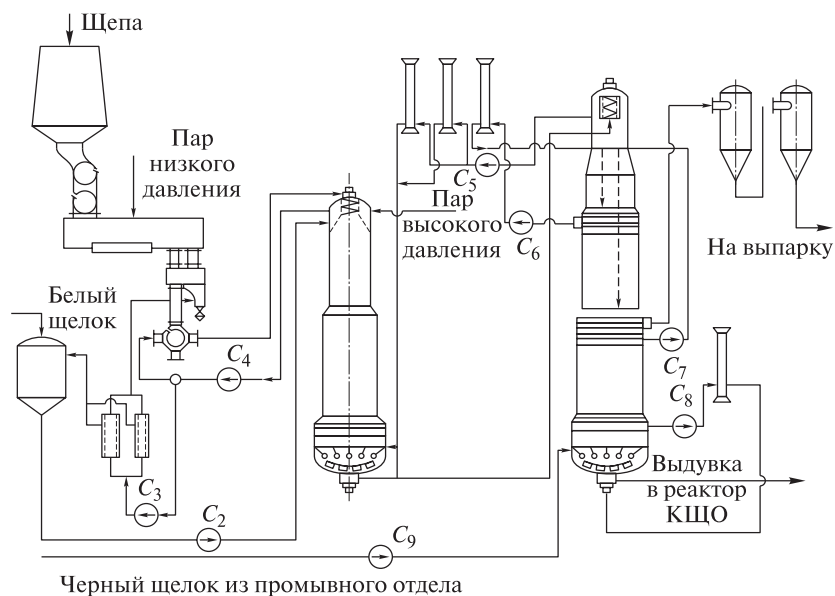


Рис. 11. Установка типа «Камюр» с отдельным пропиточным резервуаром
Fig. 11. «Camur» type unit with a separate impregnation tank

котла в циклон. Производительность установки составляла 12...18 т в сутки, а полученная целлюлоза содержала не более 2,5...5 % лигнина [8].

Современные установки типа «Камюр» имеют производительность более 1000 т в сутки и являются двухсосудными с отдельным пропиточным резервуаром щепы (рис. 11) [8].

Кроме установок «Камюр» для непрерывной сульфатной варки применяются установки типа «Эско», принципиально не отличающиеся от установок «Камюр», и установки трубчатого типа с механическим перемешиванием щепы системы «ЭМД-Бауэр» (рис. 12) [14].

Установки периодического действия со стационарными котлами и установки непрерывного действия типа «Камюр» предназначены для получения сульфатной целлюлозы нормального выхода (от 40 до 50 %). Установки типа «Эско» и системы «ЭМД-Бауэр» используют для получения целлюлозы высокого выхода (от 50 до 60 %) и полуцеллюлозы (от 60 до 80 %) из древесины лиственных пород с добавлением опилок и последующим размолотом полученного продукта [12, 14].

Появление полуцеллюлозы как полуфабриката целлюлозного производства относится к 1930 г. Оно связано с разработкой способа, предложенного С.А. Судаковым для получения полуцеллюлозы из отходов березового и осинового шпона путем их обработки 2%-м раствором гидроксида натрия (NaOH) с последующим размолотом [6]. Полученную массу стали называть «судаковкой». Наиболее регулярно она производилась в 1930-е годы на фабрике «Спартак» [15].

В СССР промышленный выпуск полуцеллюлозы из тростника был начат в 1961 г. с вводом

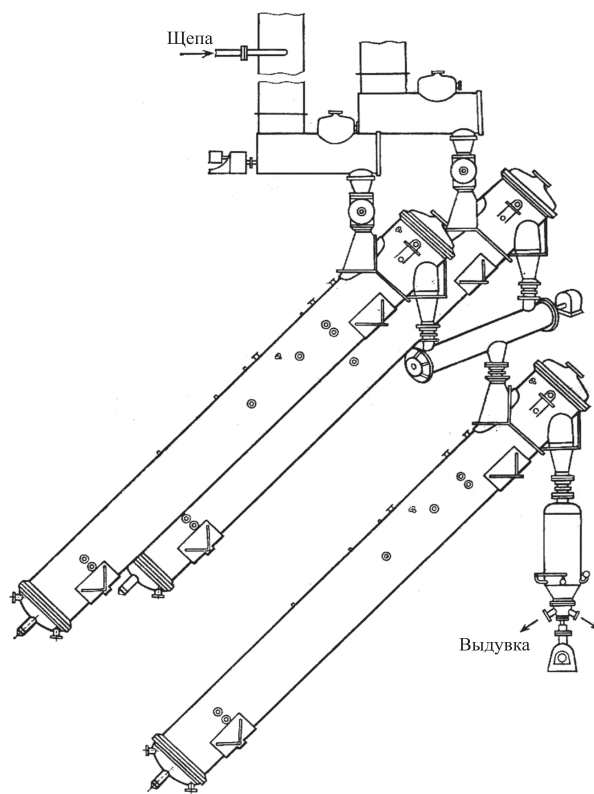


Рис. 12. Строенная установка системы «ЭМД-Бауэр»
Fig. 12. The triple mount of the «EMD-Bauer» system

в эксплуатацию Астраханского ЦКК и приостановившего свою деятельность в 1990-е годы.

Из древесины по сульфатному методу полуцеллюлозу получали на Жидачевском ЦБК, а в Майкопе был построен натронно-целлюлозный завод получавший полуцеллюлозу из одубины — отхода экстрактивного производства [12].

Кроме традиционных методов производства целлюлозы — натронного и сульфатного для производства целлюлозы, полуцеллюлозы и целлюлозы высокого выхода в 1960–1970-е годы были разработаны перспективные щелочные методы: холодно-натронный (NaOH ; $t = 30\text{ }^\circ\text{C}$; $p = 1\text{ МПа}$); содово-натронный ($\text{Na}_2\text{CO}_3 + \text{NaOH}$; $t = 190\text{ }^\circ\text{C}$; $p = 1\text{ МПа}$); щелочной моносulfитный ($\text{Na}_2\text{SO}_3 + \text{NaOH} + \text{Na}_2\text{CO}_3 + \text{Na}_2\text{S}$); $t = 175\text{ }^\circ\text{C}$; $p = 1\text{ МПа}$); сульфатный с предгидролизом (H_2SO_4 , $t = 100\text{...}125\text{ }^\circ\text{C}$; H_2O , $t = 140\text{...}180\text{ }^\circ\text{C}$); ($\text{NaOH} + \text{Na}_2\text{S}$; $t = 170\text{ }^\circ\text{C}$); сероводородно-сульфатный (H_2S , $t = 135\text{ }^\circ\text{C}$, $p = 1,35\text{ МПа}$); ($\text{Na}_2\text{S} + \text{NaOH}$; $t = 170\text{ }^\circ\text{C}$; $p = 1\text{ МПа}$); полисульфидный (с получением исходного «оранжевого щелока», содержащего $\text{Na}_2\text{S}_{2-6}$) и методы с применением восстановителей. Некоторые из перечисленных методов внедрены в производство в США, Японии, Канаде, Швеции и ФРГ. В России эти полуфабрикаты получали на Майкопском ЦКК (содово-натронным методом) [14], на Братском ЛПК (сульфатным методом с предгидролизом) [12], на Соломбальском ЦБК (полусульфитным методом) [12] и других предприятиях.

Непосредственно с полуцеллюлозой связан еще один волокнистый полуфабрикат — химическая древесная масса с выходом целлюлозы 85...90 % и более. Первый крупный завод по ее производству из баланса лиственных пород был запущен в США в 1955 г. в г. Миллингтон. Пропитка и варка древесины производилась в вертикальных котлах в растворе моносulfита и бикарбоната натрия при давлении 1,05 МПа и $t = 150\text{ }^\circ\text{C}$. По аналогичной технологии химическую древесную массу получали и в СССР, но в горизонтальных котлах на Жидачевском комбинате [10]. В эти же годы в США, Японии и некоторых европейских странах начали вырабатывать древесную химическую массу из щепы древесины лиственных пород по холодно-щелочному методу. Суть метода состоит в обработке щепы раствором гидроксида натрия при давлении в 1,05 МПа (или атмосферном давлении) при температуре $20\text{ }^\circ\text{C}$ периодическим способом в быстродействующих котлах или непрерывным — с использованием установок «Камюр» упрощенного типа [10]. Впоследствии были разработаны и другие перспективные способы производства химической древесной массы [18].

2.3. Сульфитные способы делигнификации древесины

Сульфитный способ делигнификации древесины разрабатывался в 1860–1870-е годы XIX в. в разных странах и был запатентован в них некоторыми исследователями. Первыми из них были американский химик Б.Ч. Тилгман, и его брат,

работавшие на фабрике «Хардинг и Сыновья» (Harding, Erwin & Company) близ Филадельфии, которые получили английские патенты в 1866 и 1867 гг. на способ приготовления целлюлозы из растительных материалов путем применения раствора сернистой кислоты в воде с прибавлением сернистоокислого или кислого сернистоокислого кальция [17].

Патенты касались не только способа варки, но и регенерации израсходованного сернистого газа введением отдувочных газов в специальные конденсаторы диоксида серы с его абсорбированием водой [11]. Также предлагалось использовать отработанный щелок в качестве удобрения или вяжущего средства [17]. Характерно, что Б.Ч. Тилгман пытался построить процесс варки непрерывным способом в горизонтальном котле, который вращался на роликах и нагревался внутренней свинцовой спиралью с давлением пара в ней 4,5 атм. (0,46 МПа), древесина и кислота при этом двигались одна навстречу другой согласно принципу противотока. Котел обмуровывался свинцовыми плитами, а сложное внутреннее приспособление автоматически наполняло котел, передвигало щепу внутри него и выгружало целлюлозу. Присутствие в варочном растворе кроме сернистой кислоты ее кальциевых солей объяснялось тем, что без них полученная волокнистая масса имела бы красный цвет и не отбеливалась вследствие окисления сернистой кислоты в серную, что и приводило к покраснению массы. Прибавление извести осаждало серную кислоту в виде гипса, а часть сернистой кислоты переводилась в соли, и получаемая масса была пригодна для выделки бумаги. Варка по этому методу проводилась при температуре $127\text{ }^\circ\text{C}$ в течение 6...8 ч с использованием древесины ели, тополя и ивы [17]. Трудности эксплуатации установки, связанные со сложным внутренним устройством котла, не позволили Б.Ч. Тилгману наладить промышленное производство и почти на 10 лет отсрочило его реализацию [19].

Впервые приготовил сульфитную целлюлозу фабричным способом шведский инженер К.Д. Экман. В 1872 г. он получил первые образцы сульфитной целлюлозы, а в 1874 г. на заводе в г. Бергвике, недалеко от г. Стокгольма, начал ее промышленное производство [9]. Уже в 1875 г. им было произведено 485 т сульфитной целлюлозы [17]. В отличие от Б.Ч. Тилгмана, К.Д. Экман в варочном процессе использовал сульфит магния, а не кальция и целлюлоза, получаемая этим способом, имела значительно более высокое качество. Способ долгое время сохраняли в секрете и только в 1881 г. К.Д. Экман взял на него патент в Англии. Варка целлюлозы осуществлялась во вращающихся штуцерных котлах с паровой рубашкой,

облицованных внутри свинцом. При окончании процесса и повороте котла на 90° полученная целлюлоза выгружалась из него (рис. 13) [9].

Благодаря работам профессора Э. Митчерлиха в Германии был выдан еще один патент на получение сульфитной целлюлозы с помощью варки древесины в растворе сернистокислого кальция [14]. Интересно, что в первых патентах 1874 г. Э. Митчерлих считал основным продуктом варки не целлюлозу, а находящиеся в полученном щелоке дубильные вещества [9]. На первом заводе построенном в 1880 г. целлюлоза варилась в вертикальном цилиндрическом котле, облицованном тонкой свинцовой фольгой, а по ней — слоем кислотоупорных кирпичей, обогрев осуществлялся «глухим» паром с температурой 120°C через свинцовый змеевик внутри котла. Впоследствии Э. Митчерлих стал использовать горизонтальные котлы, облицованные листовым свинцом с двумя слоями кислотоупорных плиток и медным змеевиком для непрямого обогрева (рис. 14) [19].

С 1880 по 1895 г. в Германии было построено около 50 сульфит-целлюлозных заводов, работающих по способу Митчерлиха [11].

Австрийский химик К. Кельнер в цикле работ с 1871 по 1872 г. по варке древесины с бисульфитом натрия [9] совместно с фабрикантом Ф. Риттером запустили сульфит-целлюлозный завод в Подгорье в 1878 г. снабженный вращающимися шаровыми котлами [14]. Впоследствии, начиная с 1884 г. по патенту 1882 г., варка целлюлозы на этом предприятии проводилась в вертикальных варочных котлах, обмурованных изнутри кислотоупорным кирпичом с обогревом «острым» паром при температуре 145°C (рис. 15) [11].

В США варка по Риттеру — Кельнеру развивалась в сторону увеличения конечной температуры до $155\text{--}160^\circ\text{C}$ и концентрации варочной кислоты, что привело к разработке «быстрой варки» в течение $7\text{--}8$ ч вместо $8\text{--}14$ ч при обычном режиме и $32\text{--}37$ ч по способу Митчерлиха [14]. Внедрение этого способа впервые было осуществлено Ч. Вильрайтом на переоборудованной фабрике «Ричмонд и Ко» [17].

К перечисленным авторам сульфитных методов делигнификации древесины можно отнести и шведа У. Франке (1881 г.), который варил целлюлозу в медленно вращающемся цилиндрическом котле со сплошной свинцовой рубашкой, внутри прижатой к стенкам медными кольцами, и обогревом «острым» паром. Продолжительность варки составляла $12\text{--}17$ ч при давлении пара $3,5$ атм ($0,35$ МПа). Подобная технология применялась широко во Франции для варки не только еловой, но и осиновой древесины. Плиточная обмуровка внутри котлов Франке не использовалась, так как она была запатентована Митчерлихом. Позднее на заводах

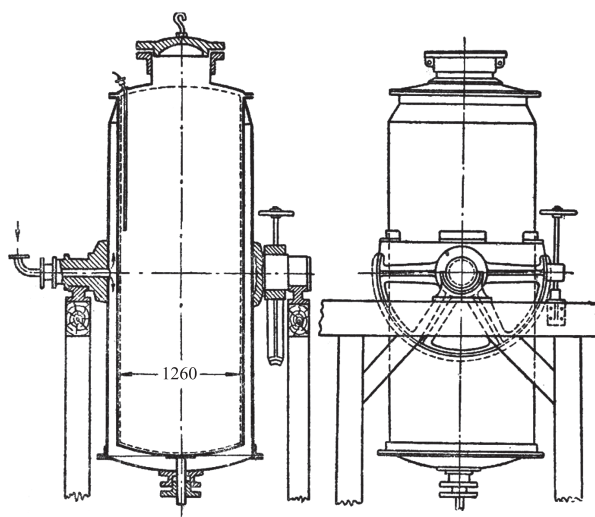


Рис. 13. Варочный котел Экмана
Fig. 13. Ekman's boiler

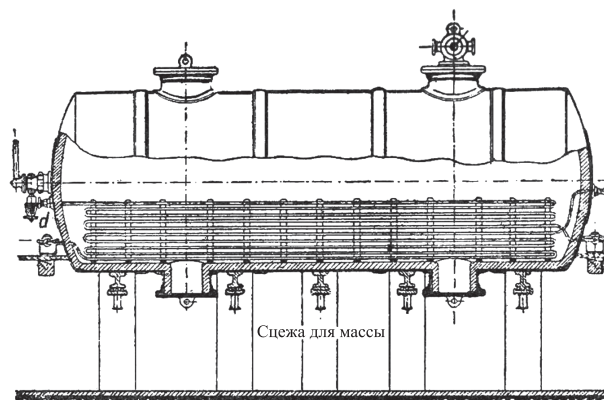


Рис. 14. Котел Митчерлиха
Fig. 14. The Mitcherlich boiler

Швеции в период с 1914 по 1928 г. устанавливались горизонтальные медленно вращающиеся ($4\text{--}6$ оборотов в час) цилиндрические котлы, похожие на котлы Франке, но существенно большего объема ($150\text{--}225\text{ м}^3$) для производства высокосортной вязкой целлюлозы (рис. 16) [17].

Однако впоследствии, начиная с 1930 г., из-за сложности эксплуатации и в связи с разработкой системы принудительной циркуляции щелока цилиндрические котлы стали заменять стационарными вертикальными котлами. Даже фирма «Биллеруд», производящая их на своем новом заводе вязкой целлюлозы, отказалась от использования цилиндрических котлов [19].

На некоторых английских фабриках, например на фабрике Партингтона, использовали шаровые вращающиеся котлы, облицованные внутри свинцовыми плитами с залитой в них железной решеткой для снижения деформации при нагреве «острым» паром. Продолжительность варки в таких котлах составляла 20 ч [19].

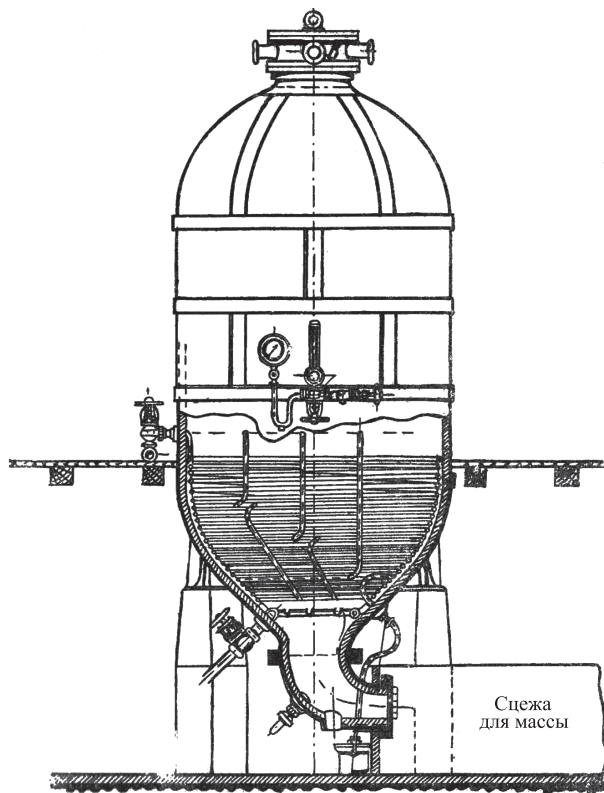


Рис. 15. Котел Риттера — Кельнера
Fig. 15. The Ritter — Kellner boiler

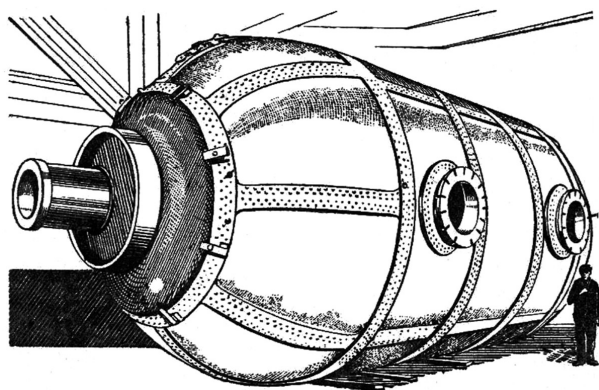


Рис. 16. Вращающийся котел фирмы «Биллеруд» (Швеция)
Fig. 16. Billerud rotary boiler (Sweden)

Первый сульфит-целлюлозный завод в России был построен в 1885 г. в с. Каменское Тверской губернии (ныне д. Каменка Калининского района Тверской обл.) с тремя горизонтально-вращающимися котлами системы Франке, объемом по 40 м^3 , которые уже в 1890 г. были заменены вертикальными котлами с плиточной обмуровкой объемом $45\text{--}50 \text{ м}^3$.

В 1885 г. также был построен целлюлозный завод в д. Окуловке с тремя такими же «франковскими» котлами, дополненными в 1890-е годы двумя вертикальными котлами объемом 105 м^3 и в 1910 г. еще одним, работающими на «остром» паре.

В 1884 г. был основан целлюлозный завод в Риге [20].

Кондровский целлюлозный завод в 40 км от Калуги был пущен в 1888 г. с двумя немецкими вертикальными котлами объемом по 31 м^3 и одним — объемом 40 м^3 со свинцовой обмуровкой, к которым добавился в 1900-х годах котел объемом 84 м^3 с плиточной обмуровкой.

В 1888 г. начал работать целлюлозный завод при Дитятковской писчебумажной фабрике Киевской губернии, а в 1889 г. был пущен в эксплуатацию Царьградский целлюлозный завод в Витебской губернии.

В период с 1894 по 1900 гг. вступили в эксплуатацию еще четыре сульфитно-целлюлозных завода в г. Ревеле (Таллинн) в пос. Слока близ Риги (1898 г.), в г. Вроцлаве Варшавской губернии (1898 г.) и завод «Вальдгоф» в г. Пернове Лифляндской губернии (ныне г. Пярну) [20].

Сокольский целлюлозный завод в 40 км от Вологды был построен в 1896–1898 гг. бельгийской фирмой De Naeyer и пущен в 1899 г. сначала с шестью, а затем и с девятью вертикальными котлами объемом по 70 м^3 с обмуровкой кислотоупорным кирпичом и нагревом сначала «глухим», а позднее (с 1896 г.) «острым» паром.

В этот же период был переоборудован на работу по сульфитному способу Усть-Ижорский завод близ Санкт-Петербурга, ранее работающий по натронному способу.

К 1900 г. на территории Российской империи действовало 12 сульфит-целлюлозных заводов с 58 варочными котлами, общим объемом 4660 м^3 , которые производили 30 тыс. т сульфитной целлюлозы в год, что составляло 88 % общего выпуска целлюлозы в стране. В то же время выпускалось значительное количество древесной массы общим объемом 19 000 т. Наибольший объем производства был достигнут в 1913 г., когда было выпущено 165 тыс. т сульфитной целлюлозы [20].

В период 1915–1917 гг. были построены Сухонский завод с пятью котлами объемом по 150 м^3 и Дубровский на Неве, в 60 км от Петрограда с двумя котлами по 135 м^3 [19].

Первая мировая война (1914–1917) нанесла тяжелый удар целлюлозно-бумажной промышленности России. В результате военных действий прекратили работу Перновский, Вроцлавский, Рижский и Слоковский заводы, а оставшиеся сократили производство в 1,5 раза. К 1918 г. на территории Российской республики действовало всего шесть сульфит-целлюлозных заводов с суммарной производительностью около 50 000 т в год.

После революции 1917 г., пройдя через период упадка, вызванного гражданской войной и последующий период восстановления, отечественная сульфит-целлюлозная промышленность продол-

жала развиваться в результате реконструкции старых заводов и ввода в эксплуатацию новых крупных предприятий.

Так в 1927–1928 гг. были построены и пущены в эксплуатацию Балахнинский бумажный комбинат со своим целлюлозным заводом (четыре котла по 180 м³) и Сясьский ЦБК (шесть котлов по 280 м³). В 1930 г. был пущен Красновишерский ЦБК (три котла по 200 м³), а в 1935–1936 гг. при Кондопожском ЦБК был построен свой целлюлозный завод (три котла по 200 м³) и пущен Камский ЦБК с 11 котлами по 280 м³ [19].

В результате к концу 1930-х годов выпуск сульфитной целлюлозы увеличился по сравнению с 1913 г. в 2,3 раза, что позволило полностью освободиться от импорта [20].

В 1939–1940 гг. после воссоединения СССР и западной части Украины, изменения на границе с Финляндией и вхождения в СССР прибалтийских республик к целлюлозной отрасли добавилось еще 10 заводов, а в 1940–1941 гг. были запущены первые очереди Архангельского и Соликамского ЦБК. К началу Великой Отечественной войны в Советском Союзе производилось более 500 000 т целлюлозы в год [12].

Во время Великой Отечественной войны на временно-оккупированной территории оказалось 84 ЦБП, производственная мощность по выпуску целлюлозы уменьшилась на 30 %, но после ее окончания довоенного уровня достигли уже в 1948 г. [12, 13].

В конце 1950-х годов приступили к строительству новых крупных предприятий: Красноярского ЦБК и Котласского ЦБК с сульфитными заводами для выпуска вискозной целлюлозы, двух самостоятельных предприятий по производству моносульфитной полуцеллюлозы из лиственной древесины на Пермском ЦБК и Балахнинской картонной фабрики, а на Красноярском ЦБК построили крупный завод по выпуску бисульфитной полуцеллюлозы. В результате к концу 1980-х годов выпуск целлюлозы увеличился более чем в 10 раз по сравнению с 1950 г. и составил 7 950 000 т в год, из которых более 30 % приходилось на сульфитную целлюлозу. Это позволило СССР занять четвертое место в мире по ее производству после США, Канады и Японии [12, 16].

К сожалению в 1990-е годы политико-экономическая ситуация в стране привела к резкому падению производства, и Россия в 1995 г. переместилась на 8-е место в мире по производству целлюлозы, пропустив вперед Китай, Швецию, Финляндию и Бразилию. В 2000-е годы наметился существенный рост производства целлюлозы, продолжающийся до настоящего времени, но с переменным успехом [2, 13].

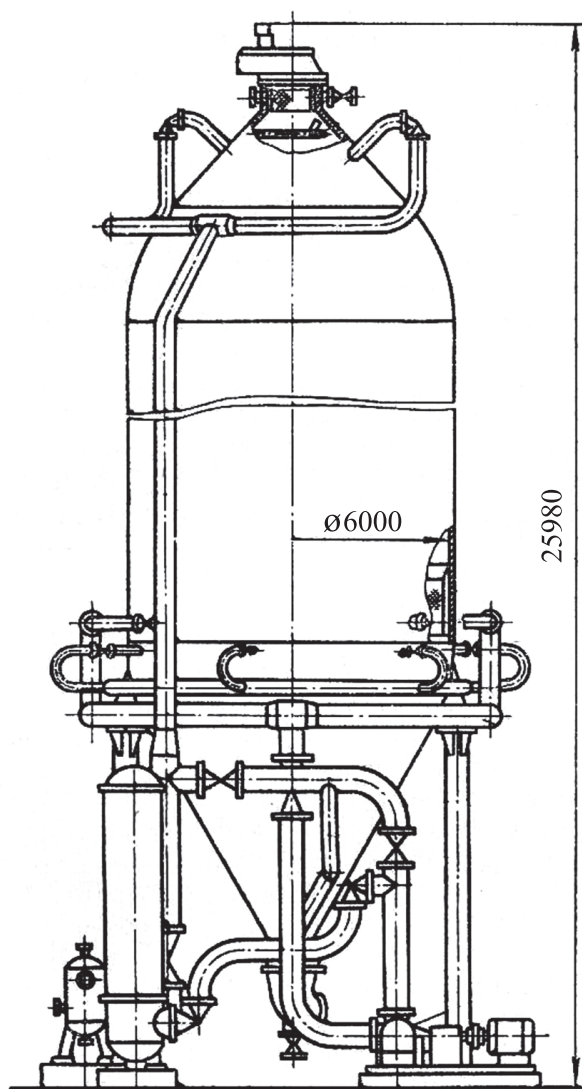


Рис 17. Биметаллический варочный котел с установкой принудительной циркуляции и непрямым нагревом варочного раствора

Fig. 17. A bimetallic boiler with a forced circulation installation and indirect heating of the cooking solution

В настоящее время варку сульфитной целлюлозы осуществляют периодическим и непрерывным способами. Для периодического способа используют вертикальные стационарные котлы объемом от 160 до 400 м³, изготовленные из двухслойной хромоникелевой стали с принудительной циркуляцией варочного раствора с использованием прямого и непрямого обогрева подогревателями различной конструкции (рис. 17) [19].

Для непрерывной варки сульфитной целлюлозы разработаны специальные установки типа «Камюр» с наклонным загрузочным шнеком, позволяющим производить предварительную пропитку щепы при высоком давлении 1,4...1,5 МПа и пониженной температуре 120 °С, а варку щепы в котле проводить при температуре 145...150 °С. Однако применение таких установок ограничено [12].

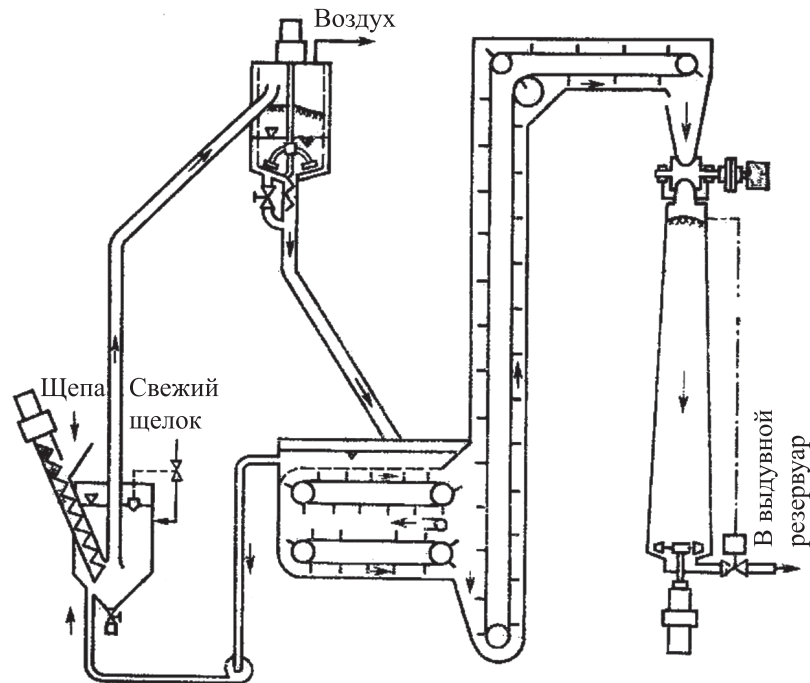


Рис. 18. Схема непрерывной варочной установки типа «Эшер-Висс»
 Fig. 18. Diagram of a continuous cooking unit of the «Escher-Wiss» type

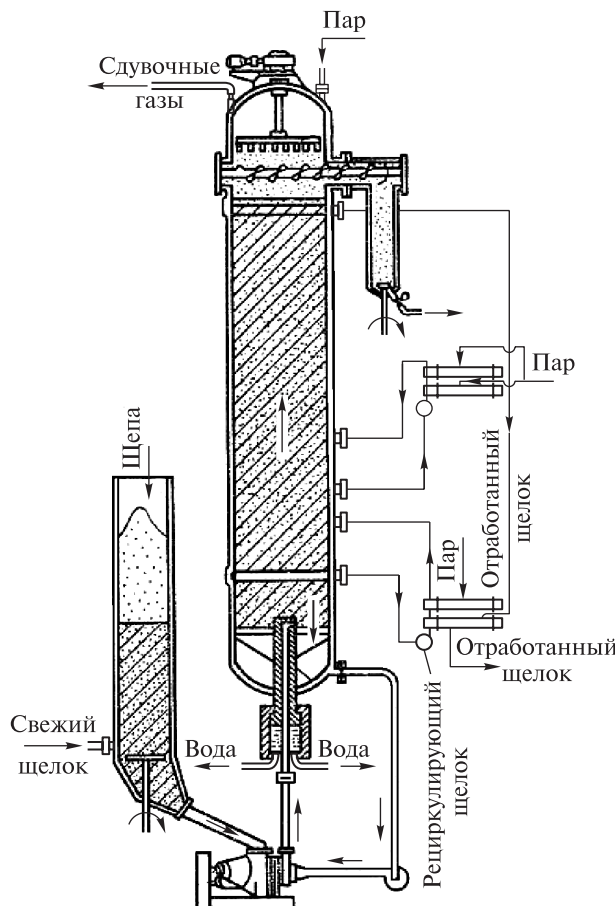


Рис. 19. Варочный аппарат непрерывного действия типа «Импко»
 Fig. 19. Continuous cooking apparatus of the «Impko» type

К настоящему времени разработано большое количество разновидностей сульфитной делигнификации древесины в целях получения целлюлозы нормального и высокого выхода, полуцеллюлозы и целлюлозы для химической переработки. Также разработано большое количество вариантов аппаратного оформления этих процессов.

Во всех случаях используются водные растворы диоксида серы в виде сернистой кислоты и ее кислых солей — гидросульфитов и средних солей — сульфитов кальция, магния, натрия и аммония. Все разновидности сульфитной делигнификации древесины подразделяются на две группы: *одноступенчатые* и *многоступенчатые*.

К первой группе, в соответствии с применяемой технологической терминологией, относятся следующие типы варок: сульфитная при низком значении pH (H_2SO_3 или $H_2SO_3 + Na_2SO_4$; США, 1940 г.; СССР, 1955 г.), сульфитная ($H_2SO_3 +$ гидросульфиты; Швеция, 1872 г.), способ «магнетит» (с использованием $Mg(HSO_3)_2$), способ «арбайсо» (с использованием $NaHSO_3$), на растворимых основаниях (известен с 1885 г., патент № 1917, производство 1950 г.), моносльфитный или нейтрально сульфитный (США 1880 г.) [9].

Ко второй группе относятся следующие типы варок: бисульфитно-сульфитная варка (была впервые предложена М. Шахтом в 1901 г., позже была запатентована в США С. Киифом и Д. Брадлеем с названием «кибра», а с добавкой NaOH «полукибра» в Норвегии, 1931 г., моносльфитно-сульфитная (У. Грэхем, Англия 1882 г.), моно-

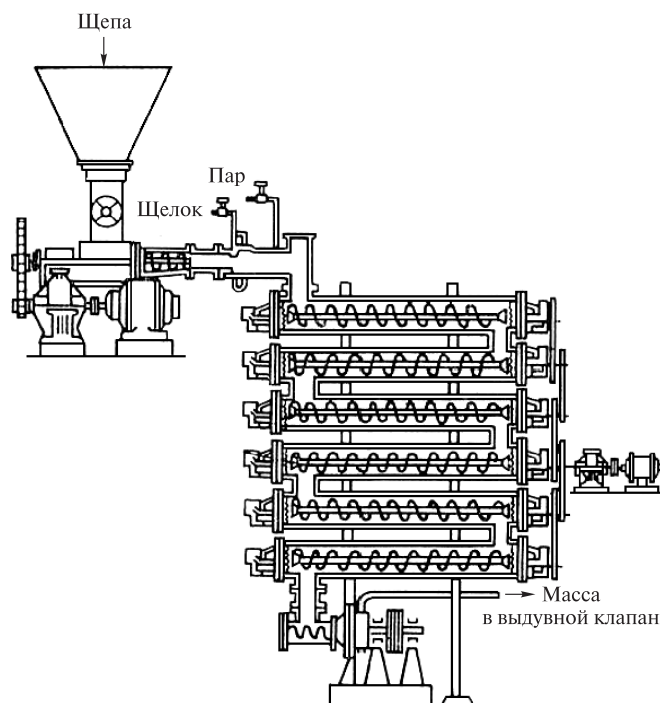


Рис. 20. Варочный аппарат типа «Хемипальпер-Пандия»
Fig. 20. A «Chemipalper-Pandia» type cooker

сульфитно-бисульфитная (СССР, 1960 г.), бисульфитно-моносульфитная (США, 1970 г.), а также сульфитно-щелочные комбинированные способы (способ «сивола») (Финляндия, 1955 г.) и др. [2].

Из всех перечисленных сульфитных способов делигнификации только последний применен для получения целлюлозы из сельскохозяйственных отходов, в первую очередь соломы [16]. Это связано с большим содержанием в соломе силикатов и опасностью получения «черных варок» вследствие склонности к конденсации лабильного лигнина однолетних растений в кислой среде, что неправильно объяснял Р. Гильперт его «углеводным характером» [9].

Указанные типы варок применяются для получения целлюлозы нормального и высокого выхода и полуцеллюлозы, с той лишь разницей, что для получения полуфабрикатов высокого выхода используются установки непрерывного действия. Условно их можно подразделить на вертикальные и горизонтальные. К первым относятся установки типа «Камюр», «Дефибратор», «Эшер-Висс» и «Импко», ко вторым — установки «Хемипальпер-Панди» и «Спрут — Вальдрон».

В установках «Дефибратор» и «Эшер-Висс» делигнификация проводится в паровой фазе при температурах 175...185 °С с предварительной пропаркой и пропиткой щепы пропиточным раствором в соответствующих камерах со шнековым или элеваторным перемешиванием в них. Производительность установок «Дефибратор» составляет 100...175 т в сутки, «Эшер-Висс» — 50 т в сутки (рис. 18) [16].

В варочном аппарате «Импко» процесс делигнификации ведется при температуре 190 °С и давлении 1,4 МПа с перемешиванием щепы возвратно-поступательным движением поршня (рис. 19) [16].

Широко распространенные установки «Хемипальпер-Пандия», впервые примененные в 1940 г., представляют собой «батарею» из нескольких расположенных друг под другом горизонтальных труб, внутри которых размещены шнековые транспортеры для перемещения щепы до дефибратора с последующим ее размолотом. Процесс протекает при прямом нагревании паром при температуре 170...190 °С. Производительность установок составляет от 30 до 300 т полуцеллюлозы в сутки (рис. 20) [12].

В аппаратах аналогичного действия типа «Спрут-Вальдрон» два шнековых транспортера размещены один над другим внутри варочного котла. Производительность аппарата составляет от 100 до 325 т полуцеллюлозы в сутки [14].

Выводы

Анализ исторического развития делигнификационных технологий растительного сырья приводит к следующим выводам:

1. Историческое развитие бумажного производства обусловило необходимость расширения сырьевой базы и использования наряду с вторичным сырьем и целлюлозой однолетних растений также волокнистых полуфабрикатов, полученных из древесины.


2. Разработка технологии щелочной, а впоследствии и сульфитной делигнификации древесины с последующей отбелкой и облагораживанием полученных технических целлюлоз, позволила коренным образом изменить сырьевую политику бумажного производства и технологий химической переработки древесных целлюлоз.

Окончание следует

Список литературы

- [1] Толленс-Эльснер Б. Краткий справочник по химии углеводов: справочное издание / под ред. П.П. Шорыгина. Л.; М.: ГОНТИ, Главная редакция химической литературы, 1938. 685 с.
- [2] Пен Р.З. Технология целлюлозы. В 2-х т. Красноярск: Изд-во СИБГТУ, 2006. Т. 1, 343 с.; Т. 2, 349 с.
- [3] Кононов Г.Н. Дендрохимия. Химия, нанохимия и биохимия компонентов клеток тканей и органов древесных растений. В 2-х т. М.: МГУЛ, 2015. Т. 1. 480 с.
- [4] Гесс К. Химия целлюлозы и ее спутников / под ред. П. Шорыгина. Л.: Госхимтехиздат, 1934. 620 с.
- [5] Никитин В.М. Химия древесины и целлюлозы. М.; Л.: Гослесбумиздат, 1951. 496 с.
- [6] Фотиев С.А. Технология бумаги: в 4-х т. М.; Л.: Государственное лесотехническое издательство, 1933. Т. 1. 260 с.
- [7] Мюллер Ф. Производство бумаги и его оборудование. В 3-х т. М.; Л.: Гостехиздат, 1931. Т. 1, ч. 1. 228 с.
- [8] Непенин Ю.Н. Технология целлюлозы. В 2-х т. М.: Гослесбумиздат, 1963. Т. 2. 936 с.
- [9] Непенин Н.Н. Производство целлюлозы. М.: Гослестехиздат, 1940. 992 с.
- [10] Ласкаев П.Х. Производство древесной массы. М.; Лесная пром-сть, 1967. 581 с.
- [11] Мюллер Ф. Производство бумаги и его оборудование. В 3-х т. М.; Л.: Гостехиздат, 1931. Т. 1, ч. 2. 258 с.
- [12] Непенин Н.Н. Технология целлюлозы. В 3-х т. М.: Лесная пром-сть, 1976. Т. 1. 624 с.
- [13] Антропова Е.Б. История целлюлозно-бумажной промышленности России. М.: БумПром, 2008. 231 с.
- [14] Непенин Ю.Н. Технология целлюлозы. В 3-х т. М.: Лесная пром-сть, 1990. Т. 2. 597 с.
- [15] Галаева Н.А. Производство полуцеллюлозы и целлюлозы высокого выхода. М.: Лесная пром-сть, 1970. 318 с.
- [16] Непенин Ю.Н. Технология целлюлозы. В 3-х т. М.: Экология, 1994. Т. 3. 590 с.
- [17] Производство полуфабрикатов и бумаги. В 3-х т. / под ред. И.И. Ковалевского. М.: НТС бумпром, 1929. Т. 1, ч. 1–4. 325 с.
- [18] Кононов Г.Н. Древесная масса // Большая Российская энциклопедия. В 35-ти т. М.: БРЭ, 2007. Т. 9. С. 329.
- [19] Фотиев С.А. Технология бумаги. В 4-х т. Л.: Гослестехиздат, 1938. Т. 3. 560 с.
- [20] Непенин Н.Н. Технология целлюлозы. В 2-х т. М.; Л.: Гослесбумиздат, 1956. Т. 1. 748 с.

Сведения об авторах

Кононов Георгий Николаевич  — канд. техн. наук, доцент МГТУ им. Н.Э. Баумана (Мытищинский филиал), чл.-корр. РАЕН, ученый секретарь секции «Химии и химической технологии древесины» РХО им. Д.И. Менделеева, kononov@mgul.ac.ru

Веревкин Алексей Николаевич — канд. техн. наук, доцент МГТУ им. Н.Э. Баумана (Мытищинский филиал), verevkin@mgul.ac.ru

Сердюкова Юлия Владимировна — ст. преподаватель МГТУ им. Н.Э. Баумана (Мытищинский филиал), caf-htdip@mgul.ac.ru

Миронов Даниил Алексеевич — студент МГТУ им. Н.Э. Баумана (Мытищинский филиал), daniil.mironov.2001for@mail.ru

Поступила в редакцию 09.09.2021.

Одобрено после рецензирования 22.09.2021.

Принята к публикации 06.12.2021.

WOOD AS CHEMICAL RAW MATERIAL. HISTORY AND MODERNITY

IV. WOOD DELIGNIFICATION TO PRODUCE CELLULOSE. PART I

G.N. Kononov , **A.N. Verevkin**, **Ju.V. Serdyukova**, **D.A. Mironov**

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

kononov@mgul.ac.ru

The article is devoted to the history of the development of wood delignification methods in order to obtain cellulose. A brief description of their use in paper production has been given since its inception. The technologies of sodium, sulfate and sulfite delignification of wood are described in detail. The development of methods of bleaching and ennobling of technical pulps, improvement of their hardware design and their influence on the quality of finished products is shown. The dynamics of the pulp industry development in the leading countries of the world, its current state and development prospects are given. This article is the fourth part of the cycle «Wood as a chemical raw material. History and modernity»; the first, second and third parts are published in the journal Forest Bulletin, 2020, vol. 24, No. 1, No. 5 and 2021, vol. 25, No. 3.

Keywords: paper, delignification, technical pulp, bleaching, ennobling, «soluble pulp»

Suggested citation: Kononov G.N., Verevkin A.N., Serdyukova Ju.V., Mironov D.A. *Drevesina kak khimicheskoe syr'e. Istoriya i sovremennost'. IV. Delignifikatsiya drevesiny kak put' polucheniya tsellyulozy. Chast' I* [Wood as chemical raw material. History and modernity. IV. Wood delignification to produce cellulose. Part I]. *Lesnoy vestnik / Forestry Bulletin*, 2022, vol. 26, no. 1, pp. 97–113. DOI: 10.18698/2542-1468-2022-1-97-113

References

- [1] Tollens-Elsner B. *Kratkiy spravochnik po khimii uglevodov: spravochnoe izdanie* [Short handbook on carbohydrate chemistry: reference publication] / Ed. P.P. Shorygin. M.; L. GONTI, Main Edition of Chemical Literature, 1938. 685 p.
- [2] Pen R.Z. *Tekhnologiya tsellyulozy* [Pulp technology]. in 2 v. Krasnoyarsk: Publishing House SIBGTU, 2006. T. 1, 343 pages; T. 2, 349 pages.
- [3] Kononov G.N. *Dendrokhiimiya. Khimiya, nanokhiimiya i biogeokhiimiya komponentov kletok tkaney i organov drevesnykh rasteniy* [Dendrochemistry. Chemistry, nanochemistry and biogeochemistry of components of tissue cells and organs of woody plants]. In 2 v. M.: MGUL, 2015. v. 1. 480 p.
- [4] Gess K. *Khimiya tsellyulozy i ee sputnikov* [Pulp chemistry and its satellites]. Ed. P. Shorygin. L.: Goskhimtekhnizdat, 1934, 620 p.
- [5] Nikitin V.M. *Khimiya drevesiny i tsellyulozy* [Chemistry of wood and cellulose]. M.; L.: Goslesbumizdat, 1951, 496 p.
- [6] Fotiev S.A. *Tekhnologiya bumagi* [Paper technology], in 4 v. M.; L.: State Forestry Technical Publishing House, 1933, v. 1, 260 p.
- [7] Myuller F. *Proizvodstvo bumagi i ego oborudovanie* [Paper production and its equipment], in 3 v. M.; L.: Gostekhizdat, 1931, v. 1, p. 1, 228 p.
- [8] Nepenin Yu.N. *Tekhnologiya tsellyulozy* [Pulp technology], in 2 v. Moscow: Goslesbumizdat, 1963, v. 2, 936 p.
- [9] Nepenin N.N. *Proizvodstvo tsellyulozy* [Pulp production]. Moscow: Goslestekhizdat, 1940, 992 p.
- [10] Laskaev P.Kh. *Proizvodstvo drevesnoy massy* [Production of wood pulp]. Moscow: *Lesnaya promyshlennost'* [Forest industry], 1967, 581 p.
- [11] Myuller F. *Proizvodstvo bumagi i ego oborudovanie* [Paper production and its equipment], in 3 v. M.; L.: Gostekhizdat, 1931. v. 1, p. 2, 258 p.
- [12] Nepenin N.N. *Tekhnologiya tsellyulozy* [Pulp technology], in 3 v. Moscow: *Lesnaya promyshlennost'* [Forest industry], 1976, v. 1, 624 p.
- [13] Antropova E.B. *Istoriya tsellyulozno-bumazhnoy promyshlennosti Rossii*. [History of the pulp and paper industry of Russia]. Moscow: BumProm, 2008, 231 p.
- [14] Nepenin Yu.N. *Tekhnologiya tsellyulozy* [Pulp technology], in 3 v. Moscow: *Lesnaya promyshlennost'* [Forest industry], 1990, v. 2, 597 p.
- [15] Galaeva N.A. *Proizvodstvo polutsellyulozy i tsellyulozy vysokogo vykhoda* [Production of semi-cellulose and high-yield cellulose]. Moscow: *Lesnaya promyshlennost'* [Forest industry], 1970, 318 p.
- [16] Nepenin Yu.N. *Tekhnologiya tsellyulozy* [Pulp technology], in 3 v. Moscow: Ecology, 1994, v. 3, 590 p.
- [17] *Proizvodstvo polufabrikatov i bumagi* [Production of semi-finished products and paper], in 3 v. Ed. I.I. Kovalevsky. Moscow: *NTS bumprom* [Scientific and Technical Council of the Paper Industry], 1929, v. 1, p. 1–4, 325 p.
- [18] Kononov G.N. *Drevesnaya massa* [Wood Mass]. Big Russian Encyclopedia, in 35 v. Moscow: BRE, 2007, v. 9, pp. 329.
- [19] Fotiev S.A. *Tekhnologiya bumagi* [Paper technology], in 4 v. Leningrad: Goslestekhizdat, 1938, v. 3, 560 p.
- [20] Nepenin N.N. *Tekhnologiya tsellyulozy* [Pulp technology], in 2 v. Moscow–Leningrad: Goslesbumizdat, 1956, v. 1, 748 p.

Authors' information

Kononov Georgiy Nikolaevich✉ — Cand. Sci. (Tech.), Associate Professor of the BMSTU (Mytishchi branch), Corresponding Member of the Russian Academy of Natural Sciences, the Scientific Secretary of section «Chemistry and engineering chemistry of wood» RHO of D.I. Mendeleev, kononov@mgul.ac.ru

Verevkin Aleksey Nikolaevich — Cand. Sci. (Chem.), Associate Professor of the BMSTU (Mytishchi branch), verevkin@mgul.ac.ru

Serdyukova Yulia Vladimirovna — Senior Lecturer of the BMSTU (Mytishchi branch), caf-htdip@mgul.ac.ru

Mironov Daniil Alekseevich — Student of the BMSTU (Mytishchi branch), daniil.mironov.2001for@mail.ru

Received 09.09.2021.

Approved after review 22.09.2021.

Accepted for publication 06.12.2021.

Вклад авторов: все авторы в равной доле участвовали в написании статьи

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов

Authors' Contribution: All authors contributed equally to the writing of the article

The authors declare that there is no conflict of interest

ПРОГРАММНОЕ СРЕДСТВО ДЛЯ НАХОЖДЕНИЯ ОПТИМАЛЬНОЙ ПОСЛЕДОВАТЕЛЬНОСТИ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ОПЕРАЦИЙ ПРОИЗВОДСТВЕННОГО ПРОЦЕССА ЛЕСОЗАГОТОВИТЕЛЬНОГО ПРЕДПРИЯТИЯ

А.П. Мохирев¹✉, М.М. Герасимова², К.П. Рукомойников³, Т.В. Сергеева³

¹ФГАОУ ВО «Сибирский федеральный университет», 660041, Россия, г. Красноярск, пр. Свободный, д. 79

²ФГБОУ ВО «Сибирский государственный университет науки и технологий имени академика М.Ф. Решетнева», Лесосибирский филиал, 664325, Россия, Красноярский край, г. Лесосибирск, ул. Победы, д. 29

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

ale-mokhired@yandex.ru

Рассмотрена разработка программного средства для нахождения оптимальной последовательности технологических операций производственного процесса лесозаготовительного предприятия, а также принципы его работы. Разработка выполнена на основе приведенного в научной литературе алгоритма решения задачи нахождения оптимальной технологической последовательности лесозаготовительных операций в целях автоматизации расчетов, которые являются трудоемкими. Приложение создано на языке программирования Delphi в среде разработки Delphi XE2 RAD Studio. Данные, используемые для расчетов, представлены в таблице Excel. Для нахождения потока минимальной стоимости в программе реализованы алгоритмы Басакера — Гоуэна и Форда — Беллмана. Получен результат работы программного средства — оптимальные технологические цепочки доставки древесины с лесосеки до потребителя и соответствующие им затраты, который выводится на экран и может быть сохранен в файл Excel. Предусмотрена возможность получения пользователем справочной информации о работе с программой. С помощью разработанного приложения определена технологическая цепочка выполнения операций по первичной обработке и транспортировке заготовленной древесины с лесосеки до потребителя, характеризующаяся минимальной стоимостью при выполнении всех видов работ. Апробация показала, что программное обеспечение может быть использовано в практической деятельности руководителем лесозаготовительного процесса на предприятиях лесной отрасли. **Ключевые слова:** лесовозная дорога, программное средство, вывозка, технологические операции, лесозаготовка, предприятие

Ссылка для цитирования: Мохирев А.П., Герасимова М.М., Рукомойников К.П., Сергеева Т.В. Программное средство для нахождения оптимальной последовательности технологических операций производственного процесса лесозаготовительного предприятия // Лесной вестник / Forestry Bulletin, 2022. Т. 26. № 1. С. 114–125. DOI: 10.18698/2542-1468-2022-1-114-125

Россия занимает первое место в мире по запасам древесного сырья и лидирует в области его добычи. Лесозаготовительная промышленность развивается с использованием новых технологий для автоматизации процессов, повышения качества продукции и в итоге увеличения прибыли. Экономический эффект от развития лесного сектора связан с обоснованным выбором рациональных технологических цепочек процесса лесозаготовки, адаптированных к конкретным природно-производственным условиям. В качестве основного критерия при этом выступает такой критерий, как «результат — затраты», с учетом минимизации возможных затрат, что, несомненно, позитивно отразится на прибыли [1].

К основным затратам в лесозаготовительном производстве относятся прежде всего затраты на транспортировку; они составляют более 50 %

всех затрат. Для организации и управления транспортировкой древесины необходимы комплексный логистический подход, анализ рынка потребителей, лесного фонда, а также транспортной инфраструктуры как на региональном уровне, так и на уровне лесопромышленных предприятий [2].

Территории лесного фонда характеризуются различными и достаточно сложными природно-производственными условиями, влияющими на процессы заготовки и транспортировки древесины. Природно-климатические факторы отражаются на стоимости строительства и содержания лесных дорог, удельной стоимости вывозки заготовленной древесины [3]. Одним из них является сезонность лесозаготовок [4, 5].

На уровень затрат оказывают влияние такие параметры, как место и время заготовки, порядок обработки, маршрут и объемы транспортировки и т. д. В настоящее время известно множество

вариантов организации технологического процесса заготовки и вывозки древесины с применением лесных складов, которые используются в основном для хранения древесины между транспортными сезонами [6]. От наличия транспортно-складских и обрабатывающих операций зависят структура технологической цепочки, система машин и оборудования [7].

Большое значение имеет ограниченная пропускная способность временных лесовозных дорог. В целях их более эффективного использования следует взвешенно подходить к выбору той или иной технологической цепочки лесозаготовительных работ [8–11].

Перед руководителями лесозаготовительных производств стоят задачи определения оптимальных временных периодов для заготовки и вывозки леса, организации и выполнения технологических операций в рациональной последовательности с минимальными затратами, планирования маршрутов и объемов транспортировки продукции и т. д.

В работах [12, 13] приведены материалы, полученные в результате исследований, проведенных по обоснованию сквозных потоков заготовки, транспортировки и переработки древесины на основе математических моделей. Применение графоаналитических моделей позволяет рассматривать технологическую цепочку лесозаготовительных операций с позиции логики и давать соответствующую оценку разнообразным системам машин и формировать структуру потоков производства в различных лесозаготовительных технологиях [14].

Для решения задач транспортировки древесины с лесосеки разработаны алгоритмы, основанные на методах теории графов [15, 16]. Однако в них не учтены затраты, которые не зависят от объема вывозки древесины (на строительство и восстановление дорог, хранение древесины на промежуточном и нижнем складах и т. п.). В работах [17–19] представлены графоаналитическая, математическая модели и алгоритм решения задачи нахождения оптимальной технологической цепочки операций лесозаготовительного процесса с учетом затрат на транспортировку древесины и постоянных затрат, не зависящих от объема транспортировки. Следует отметить, что расчеты с использованием данного алгоритма требуют больших затрат времени.

Цель работы

Цель работы — разработка программного средства для нахождения оптимальной последовательности технологических операций производственного процесса лесозаготовительного предприятия.

Т а б л и ц а 1

Список обозначений для описания графа
List of symbols for graph description

Название величины	Обозначение	Единица измерения
Производительность оборудования	P	м ³ /сут
Разгрузка древесины	P	м ³ /сут
Стоимость реализуемой продукции	Π	руб./м ³
Раскряжевка	B	м ³ /сут
Переменные затраты	C	руб./м ³
Обрезка сучьев	D	м ³ /сут
Хлысты	F	–
Трудозатраты на выполнение операций в периоде θ	$f_{ij}(\theta)$	ч/м ³
Граф	G_p	–
Сортименты	H	–
Этап транспортировки	h	–
Номер потребителя	I	–
Деревья	K	–
Лесосека	L_N	–
Объект труда	M	–
Номер лесосеки	N	–
Объем продукции, возможный для приобретения потребителем	Q_{AM}	м ³
Погрузка в автолесовозы	R	м ³ /сут
Фиктивный исток	S	–
Фиктивный сток	T	–
Потребитель	U_i	–
Пропускная способность дуги в периоде θ	$u_{ij}(\theta)$	м ³ /сут
Пропускная способность дуги, соединяющей вершины разных периодов	$u_{ij}(\theta + \tau_{ij})$	м ³ /сут
Объем анализируемого предмета труда, перемещаемый с лесосеки в периоде θ	$V_{M\theta N}$	м ³
Транспортировка водным или железнодорожным транспортом	W	–
Вид операции	X	–
Вершины графа	x_i, x_j	–
Постоянные затраты	Z	руб./м ³
Временной период	θ	сут
Продолжительность операции	τ_{ij}	сут

Материалы и методы исследования

В работе [17] процесс заготовки, обработки, транспортировки древесины с лесосеки до потребителя представлен в виде динамического графа, вершины которого соответствуют операциям производственного процесса (табл. 1).

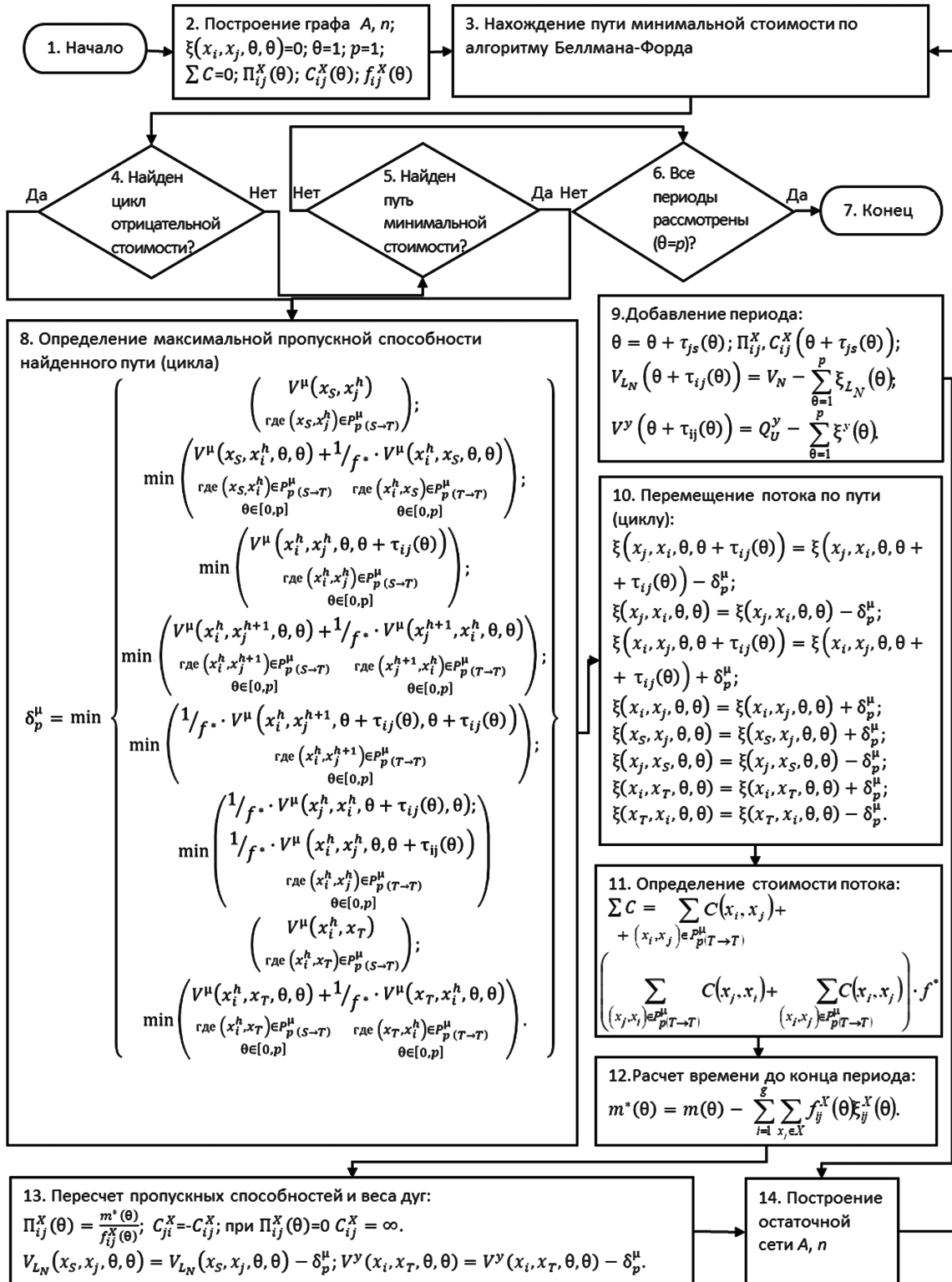


Рис. 1. Алгоритм решения задачи нахождения оптимальной технологической последовательности лесозаготовительных операций

Fig. 1. Algorithm for finding the optimal technological sequence of logging operations

Граф включает в себя несколько копий каждой рассматриваемой вершины в каждом анализируемом периоде. Дуги соединяют пары «вершина — время» как одного, так и разных периодов: (x_i, θ) и $(x_j, \theta + \tau_{ij})$. Пропускные способности дуг, сое-

диняющих вершины разных периодов, равны ∞ . Если дуги соединяют вершины одного периода, то их пропускные способности определяются в результате анализа трудозатрат на выполнение различных видов работ технологического процесса.

Технологическая цепочка представлена на графе промежуточными вершинами, расположенными между вершинами, обозначающими лесосеки и потребителей. Из вершин L_N дуги направлены в вершины $Mh\theta N$. Входящие на промежуточный склад дуги соответствуют транспортировке древесины с лесосек. Дуги, входящие в вершину $XM\theta N$, соответствуют погрузке, выходящие из вершины — транспортировке древесины. Они характеризуются пропускной способностью, ограниченной производительностью оборудования, трудозатратами, переменными и постоянными затратами. Постоянные затраты учитываются при хранении древесины между периодами. Дуги, выходящие из фиктивного истока в дуги, характеризующие лесосеки, характеризуются величиной $V_{M\theta N}$. Дугам, входящим в фиктивный сток из вершин потребителей, соответствуют показатели Q_{AM} и Π .

На основе графоаналитической модели разработана математическая модель [18] и алгоритм решения задачи оптимизации технологической последовательности лесозаготовительных операций [19] (рис. 1), условные обозначения в блок-схеме алгоритма приведены в табл. 2.

Величина f^* определяется по формуле

$$f^* = \frac{f_{h,h+1}^*}{f_{h+1,h}^*}.$$

Решение задачи нахождения оптимальной технологической последовательности лесозаготовительных операций сводится к нахождению заданного потока минимальной стоимости в динамической операционной сети [20] в анализируемых на графе временных периодах. Задача решается на основе алгоритма Басакера — Гоуэна [21], в котором путь минимальной стоимости определяется по алгоритму Форда — Беллмана [22].

Расчеты с использованием данного алгоритма являются достаточно трудоемкими, поэтому в целях их автоматизации в среде объектно-ориентированного программирования Delhi XE2 RAD Studio [23] на языке Delphi разработано программное приложение.

На первом этапе разработки [24] сформулированы требования к программному обеспечению. Оно должно предоставлять пользователю следующие возможности: выбор файла данных, представленных в программе Excel, временных периодов для расчета, получение справочной информации, оптимальных технологических цепочек, вычисление прибыли от реализации продукции, вывод полученных результатов на экран и сохранение их в файле Excel.

Модель функционирования программы может быть представлена в виде блок-схемы (рис. 2), а также в виде диаграммы, отображающей связь между блоками программы (рис. 3).

Т а б л и ц а 2

Условные обозначения в описании алгоритма

Conventions in the description of the algorithm

Название величины	Обозначение	Единица измерения
Производительность машин, задействованных при выполнении X -й операции, соответствующей дуге (x_i, x_j) , в периоде θ	$\Pi_{ij}^X(\theta)$	м ³ /сут
Множество дуг графа	A	–
Стоимость пути	C	руб.
Стоимость выполнения X -й операции, соответствующей дуге (x_i, x_j) , в периоде θ	$C_{ij}^X(\theta)$	руб.
Трудозатраты на выполнение X -й операции, соответствующей дуге (x_i, x_j) , в периоде θ	$f_{ij}^X(\theta)$	ч/м ³
Трудозатраты, характеризующие анализируемую насыщенную дугу узкого производственного участка в составе выбранного пути, направленную к фиктивному стоку	$f_{h,h+1}^*$	ч/м ³
Трудозатраты, характеризующие дугу, обратную анализируемой насыщенной дуге узкого производственного участка	$f_{h+1,h}^*$	ч/м ³
Остаточная динамическая сеть	G_p^μ	–
Продолжительность периода θ	$m(\theta)$	сут
Время, оставшееся до завершения периода θ	$m^*(\theta)$	сут
Количество вершин графа	n	шт
Участок пути от фиктивного источника до фиктивного стока	$P_{p(S \rightarrow T)}^\mu$	–
Участок пути от фиктивного стока и обратно	$P_{p(T \rightarrow S)}^\mu$	–
Количество периодов	p	шт
Объем продукции u , возможный для приобретения потребителем U	Q_U^y	м ³
Объем древесины, заготовленной на лесосеке L_N	V_N	м ³
Объем продукции u	I^y	м ³
Объем древесины, доступный для вывозки с лесосеки	I^μ	м ³
Максимальная пропускная способность пути минимальной стоимости в остаточной динамической сети	δ_p^μ	м ³
Величина потока	ξ	м ³
Продолжительность выполнения операции, соответствующей дуге (x_i, x_j) , в периоде θ	$\tau_{ij}(\theta)$	сут



Рис. 2. Блок-схема алгоритма программы
 Fig. 2. Block diagram of the program algorithm

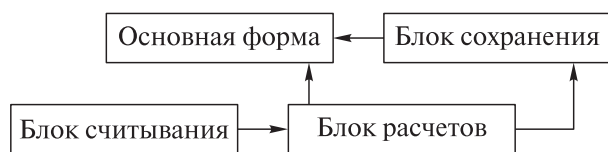


Рис. 3. Блоки программы
 Fig. 3. Program blocks

Каждый из блоков отвечает за определенный функционал работы приложения. Основная форма программы создана для взаимодействия с пользователем и отображения результатов.

Данные, используемые для расчетов, предоставляются в таблице Excel и имеют следующую

структуру (рис. 4). Поскольку каждая операция имеет несколько связанных с ней значений, то в программе создан соответствующий класс — «Операция». Он имеет поля начального и конечного имени (начало и конец дуги графа), пропускную способность, постоянные и переменные затраты, а также сезон и группу. Группа необходима для разделения операций по типу техники, необходимой для их выполнения. Кроме списка операций для расчета нужны и другие значения (объем древесины, имеющийся на лесных участках и др.).

Интерфейс программы содержит поле вывода результатов (таблицу), функциональную кнопку и пункты меню — «Справка» и «Справочник».

		A	B	C	D	E	F	G
1		Производительность по периодам						5
2	Операция	124	31	72	62	71		
3		Зимний (1)	Зимне-весенний (2)	Весенний (3)	Летний (4)	Осенний (5)		6
4a	Погрузка деревьев, м³/сут	550	550	350	400	350		
5	Погрузка хлыстов, м³/сут	600	600	400	450	400		
6								
7		Затраты по периодам						2
8	Операция	Зимний (1)	Зимне-весенний (2)	Весенний (3)	Летний (4)	Осенний (5)		
4b	Погрузка деревьев, руб./м³	150	150	-	150	150		
11	Погрузка хлыстов, руб./м³	130	130	-	130	130		
12								
13								
14								
15	Постоянные затраты Z, руб./м³	16500000						
16	Объем древесной продукции, требуемой потребителю U ₁ , м³	70000						
17	Объем древесины, заготовленной на лесосеке L ₁ , V ₁ , м³	20000						
18	Объем древесины, заготовленной на лесосеке L ₂ , V ₂ , м³	50000						
19								
20	Количество лесовозов, шт.	10						
21	Количество рабочих часов, ч/сут	18						
22	Выручка за 1 м³ для потребителя U ₁ , руб.	3600						
23								
24		Расстояния транспортировки, км						3
25		L ₁	L ₂	Промежуточный склад	Нижний склад	Потребитель U ₁		
26	L ₁	-	-	25	-	-		
27	L ₂	-	-	30	95	-		
28	Промежуточный склад	-	-	-	110	250		
29	Нижний склад	-	-	-	-	489		
30	Нижний склад	-	-	-	-	180		

Рис. 4. Структура файла данных (фрагмент таблицы): блоки: 1 — производительность; 2 — затраты; 3 — расстояние транспортировки; 4a, 4б — наименование операции в блоках производительности и затрат (должны совпадать); 5 — продолжительность периодов; 6 — наименование периодов, в скобках указаны их номера; 7 — постоянные затраты, объемы древесины на лесосеках и требуемые потребителю; 8 — количество машин, ч/сут, выручка за 1 м³

Fig. 4. The structure of the data file (fragment of the table): blocks: 1 — performance; 2 — costs; 3 — transportation distance; 4a, 4b — the name of the operation in the blocks of productivity and costs (must coincide); 5 — duration of periods; 6 — names of periods, their numbers are indicated in brackets; 7 — fixed costs, the volume of wood in the cutting area and required by the consumer; 8 — number of cars, h/day, revenue per 1 m³

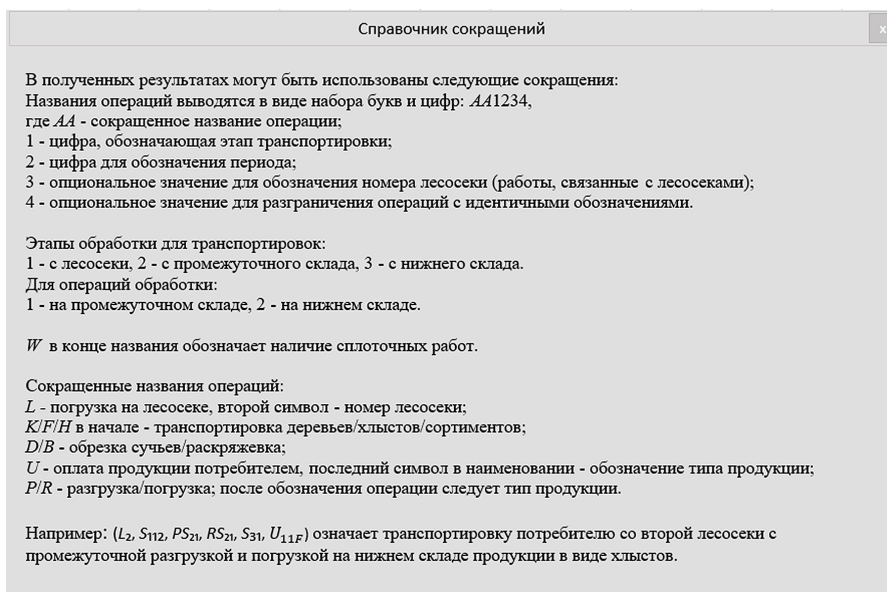


Рис. 5. Справочник используемых сокращений
 Fig. 5. Directory of abbreviations used

Первый выводит информацию о правилах работы с приложением и о файле данных. «Справочник» отображает окно с информацией о сокращениях, используемых в результатах расчетов (тип операций, период, этап и т. д.) (рис. 5).

В блоке считывания (см. рис. 3) происходит получение данных из файла согласно выбранным пользователем периодам и преобразование их к требуемому виду, необходимому для работы программы. Создаются и заполняются таблицы,

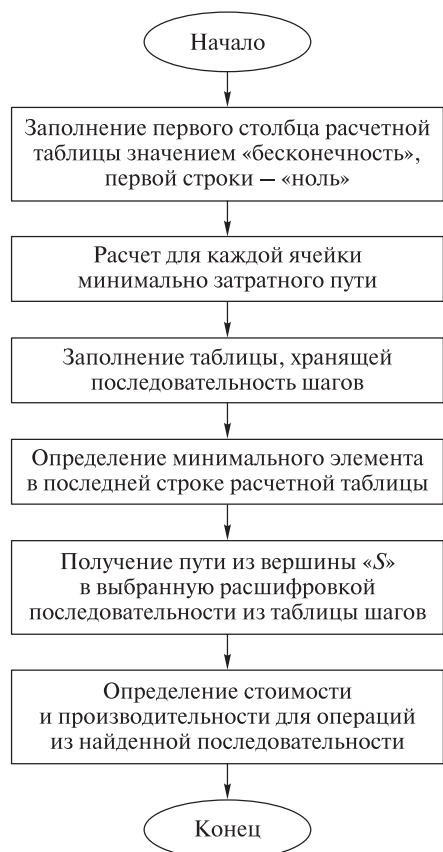


Рис. 6. Блок-схема алгоритма построения оптимального пути
 Fig. 6. Block diagram of the algorithm for constructing the optimal way



Рис. 7. Блок-схема алгоритма пересчета данных
 Fig. 7. Block diagram of the data recalculation algorithm

содержащие постоянные и переменные затраты на транспортировку древесины и ее хранение между периодами, пропускные способности дорог, а также рассчитанная на их основе производительность [25].

После получения данных выполняется переход к блоку расчета, состоящему из двух частей: подблоков построения пути (рис. 6) и пересчета данных (рис. 7).

Оптимальный путь, которому соответствуют минимальные затраты, вычисляется по алгоритму Форда — Беллмана, остаточная сеть строится на основании алгоритма Басакера — Гоуэна. При пересчете данных (трудозатрат на выполнение операции, производительности машин и оборудования) происходит учет времени периода на выполнение одноименных операций на разных технологических участках. После пересчета данных выполняется проверка времени, оставшегося в данном периоде на выполнение очередной последовательности операций. Если период закончился, и не весь объем заготовленной древесины вывезен, то добавляются данные следующего периода. Расчеты заканчиваются, когда вся древесина вывезена с лесосек.

Результаты расчетов выводятся на экран в табличном виде, после чего функциональная кнопка приложения меняет надпись с «Начать расчет» на «Сохранить результат». При нажатии открывается диалоговое окно, в котором необходимо выбрать директорию и ввести имя файла, которое автоматически генерируется в виде «Результат_дд.мм.гг-чч.мм.сс» (в имени отображается дата и время создания файла во избежание дублирования, которое может привести к ошибке), но может быть изменено пользователем.

Результаты и обсуждение

С использованием разработанного приложения решена задача определения технологической цепочки выполнения операций по первичной обработке и транспортировке заготовленной древесины с двух лесных участков Хребтовского лесозаготовительного участка (ЛЗУ) ЗАО «Новоенисейский ЛХК» до потребителя, характеризующейся минимальной стоимостью при выполнении всех видов работ с учетом исходных данных [26]. В Красноярском крае в связи с природно-климатическими условиями транспортировку лесоматериалов с лесосеки до потребителя в большинстве случаев осуществляют в зимний и летний периоды. Поэтому для упрощения решения задачи рассмотрены только эти периоды с учетом временных параметров остальных периодов.

В результате работы программы получены оптимальные последовательности технологических операций и их характеристики (рис. 8).

На основании полученных расчетов определены:

- рациональные маршруты вывозки древесины с лесных участков;
- рациональный объем лесоматериалов, который можно вывезти на нижний береговой склад

	Значение:
ПУТЬ:	$S, L_2, H_{112}, U_{21Н}, T$
ОБЪЕМ, м ³ :	31400
ПЕРЕМЕННЫЕ ЗАТРАТЫ, руб./м ³ :	- 1958
ПОСТОЯННЫЕ ЗАТРАТЫ, руб./м ³ :	0
ИТОГО, руб.:	- 61481200
ПУТЬ:	$S, L_2, H_{142}, P_{H42}, R_{H4W}, H_{342}, U_{24Н}, T$
ОБЪЕМ, м ³ :	18600
ПЕРЕМЕННЫЕ ЗАТРАТЫ, руб./м ³ :	- 2236
ПОСТОЯННЫЕ ЗАТРАТЫ, руб./м ³ :	16500000
ИТОГО, руб.:	- 25089600
ПУТЬ:	$S, L_1, H_{111}, U_{11Н}, T$
ОБЪЕМ, м ³ :	20000
ПЕРЕМЕННЫЕ ЗАТРАТЫ, руб./м ³ :	- 1957,8
ПОСТОЯННЫЕ ЗАТРАТЫ, руб./м ³ :	0
ИТОГО, руб.:	- 39150000
ВСЕГО	
СУММАРНЫЙ ОБЪЕМ, м ³	70000
СУММАРНЫЕ ПОСТОЯННЫЕ ЗАТРАТЫ, руб.	16500000
ИТОГОВЫЕ ЗАТРАТЫ, руб.	- 125720800

Рис. 8. Технологические цепочки, полученные в результате работы программы
Fig. 8. Technological chains obtained as a result of the program

для дальнейшей транспортировки водным транспортом;

– рациональные объемы транспортировки древесины автомобильным транспортом в каждом из рассматриваемых периодов.

Рациональный вариант вывозки древесины (см. рис. 8) предусматривает, что древесина, заготовленная на лесосеке L_1 в объеме 20 000 м³ и на лесосеке L_2 в объеме 34 100 м³, будет вывозиться потребителю автомобильным транспортом в зимнем периоде. Остальная часть объема древесины лесосеки L_2 (18 600 м³), будет транспортироваться автотранспортом до нижнего склада и далее водным путем в летнем периоде.

Для оценки эффективности полученной технологической цепочки осуществлен анализ альтернативных и наиболее часто применяемых на территории Красноярского края при похожих условиях вариантов технологических цепочек транспортно-переместительных работ. Рассмотрим некоторые из них.

Вариант 1. Транспортировка в хлыстах в летний период до нижнего склада с дальнейшим сплавом максимально возможного объема древесины, остальной объем в период заготовки (зимний) автотранспортом до потребителя. В данном случае с лесосеки L_2 в летний период транспортируется на нижний склад с дальнейшим водным транспортом потребителю объем древесины, равный 18 600 м³. Остальная часть

объема древесины с этой лесосеки (31 400 м³) в зимний период вывозится автотранспортом до потребителя. Весь объем (20 000 м³) с лесосеки L_1 транспортируется в зимний период.

Вариант 2. Транспортировка автомобильным транспортом максимально возможного объема сортиментов в зимний период до потребителя, остального объема – автотранспортом в летний период до потребителя. В данном случае транспортировка всего объема (50 000 м³) с лесосеки L_2 будет доставляться потребителю в зимний период, часть объема (3770 м³) с лесосеки L_1 транспортируется также в зимний период, остальная часть объема (16 230 м³) этой лесосеки — в летний период.

Вариант 3. Транспортировка автомобильным транспортом максимально возможного объема сортиментов в зимний период до потребителя, остального объема в летний период до нижнего склада с дальнейшим сплавом. В данном случае транспортировка всего объема (50 000 м³) с лесосеки L_2 будет доставляться потребителю в зимний период, часть объема (3770 м³) с лесосеки L_1 транспортируется также в зимний период, остальная часть объема (16 230 м³) с этого лесного участка — сплавом в летний период.

Затраты на выполнение операций по каждому варианту, прибыль от реализации продукции и краткая сравнительная характеристика технологических цепочек представлены в табл. 3.

Сравнительная характеристика вариантов технологических цепочек при равном объеме транспортировки (70 000 м³) и доходе от реализации продукции (252 000 тыс. руб.)

Comparative characteristics of the options for technological chains with an equal volume of transportation (70,000 m³) and income from product sales (252,000 thousand rubles)

Характеристика	Вариант 1	Вариант 2	Вариант 3	Рациональный вариант
Технологическая цепочка (по вершинам первоначального графа)	$S, L_1, F_{111}, U_{11F}, T;$ $S, L_2, F_{112}, U_{11F}, T;$ $S, L_2, F_{142}, P_{F42},$ $R_{F4W}, F_{342}, U_{14F}, T$	$S, L_2, H_{112}, U_{11H}, T;$ $S, L_1, H_{111}, U_{11H}, T;$ $S, L_1, H_{141}, U_{14H}, T$	$S, L_2, H_{112}, U_{11H}, T;$ $S, L_1, H_{111}, U_{11H}, T;$ $S, L_1, H_{141}, P_{H41},$ $R_{H4W}, H_{342}, U_{14H}, T$	$S, L_1, H_{111}, U_{11H}, T$ $S, L_2, H_{112}, U_{11H}, T$ $S, L_2, H_{142}, P_{H42},$ $R_{H4W}, H_{342}, U_{14H}, T$
Продукция	Хлысты	Сортименты	Сортименты	Сортименты
Затраты, руб.	151 036 300	137 252 225	130 825 145	126 279 200
Прибыль, руб.	100 963 700	114 747 775	121 174 855	125 720 800
Экономический эффект, руб./м ³	353,67	156,76	64,94	–

Экономический эффект при применении рационального варианта по сравнению с вариантом 1, полученный делением разницы в прибыли на объем реализованной продукции, составит 353,67 руб./м³.

Аналогично рассчитан экономический эффект при сравнении рационального варианта организации технологического процесса с вариантами 2 и 3.

Таким образом, при применении оптимальной технологической цепочки появляется возможность сокращения суммарных затрат на выполнение плана работ по транспортно-переместительным операциям до 16 % по сравнению с другими альтернативными вариантами технологических цепочек. Экономический эффект при этом может составлять до 353,67 руб./м³.

Выводы

Разработанное программное обеспечение позволяет находить оптимальные последовательности технологических операций производственного процесса лесозаготовительного предприятия, которые позволяют минимизировать затраты на транспортные и погрузочно-разгрузочные работы и, как следствие, увеличить прибыль от реализации продукции. Программа позволяет сократить время и трудозатраты, необходимые для решения технологической задачи, и может быть использована на лесозаготовительном предприятии для оптимизации процесса организации лесозаготовительного производства.

Список литературы

- [1] Вашкевич Е. Лесозаготовка в контексте науки // Лесной комплекс Сибири, 2016. №1 (17). URL: <https://ru.calameo.com/read/003770176bbeaa1eb8935> (дата обращения 15.03.2021).
- [2] Яшин А.В. Оптимизация транспортно-технологического процесса лесозаготовительного предприятия: дис. ... канд. техн. наук: 05.21.01: защищена 02.03.2010. Санкт-Петербург, 2010. 204 с.
- [3] Мохирев А.П., Позднякова М.О., Гудень Т.С., Сухинин В.Д. Влияние природно-производственных факторов на транспортные затраты лесозаготовительного производства // Лесотехнический журнал, 2019. № 2. С. 107–117.
- [4] Шегельман И.Р., Лукашевич В.М. Оценка сезонности при подготовке лесозаготовительного производства // Фундаментальные исследования, 2011. № 12. С. 599–603.
- [5] Суханов В.С. О сезонном характере лесозаготовок // Архитектурно-строительная мастерская «Древнерусский дом». URL: <https://kelohouse.ru/vse-o-dereviannom-srube/o-sezonnom-kharaktere-lesozagotovok.html> (дата обращения 21.03.2021).
- [6] Mokhired A., Gerasimova M., Rukomojnikov K. Improvement of logging operations technological chains in the conditions of seasonal dynamics // IOP Conf. Series: Earth and Environmental Science, 2020, v. 574, p. 012053. DOI: 10.1088/1755-1315/574/1/012053.
- [7] Шегельман И.Р., Скрыпник В.И., Кузнецов А.В. Анализ показателей работы и оценка эффективности лесозаготовительных машин в различных природно-производственных условиях // Ученые записки ПетрГУ. Сер. Естественные и технические науки, 2010. № 4(109). С. 66–75.
- [8] Борисов Г.А., Кукин В.Д., Кузина В.И. Методы поиска наиболее выгоднейшего варианта сети лесовозных дорог // ИВУЗ Лесной журнал, 2001. № 3. С. 64–70.
- [9] Бурмистрова О.Н., Сушков С.И., Пильник Ю.Н. Оптимизация параметров транспортных процессов на предприятиях лесопромышленного комплекса // Фундаментальные исследования, 2015. № 11–2. С. 237–241.
- [10] Carlsson D., D'Amours S., Martel A., Rönnqvist M. Decisions and methodology for planning the wood fiber flow in the forest supply chain // Recent developments in supply chain management Eds. R. Koster, W. Delfmann. Helsinki: University Press, 2008, pp. 11–39.
- [11] Pentek T., Nevečerel H., Ecimović T., Lepoglavec K., Papa I., Tomašić Z. Strategijsko planiranje šumskih prometnica u Republici Hrvatskoj – raščlamba postojećega stanja kao podloga za buduće aktivnosti // Nova Mehanizacija Šumarstva, 2014, no. 35 (1), p. 63.
- [12] Шегельман И.Р. Анализ сквозных процессов заготовки биомассы дерева и ее переработки на щепу // Современные проблемы развития лесопромышленных производств, 2001. № 6. С. 13–23.
- [13] Шегельман И.Р., Щеголева Л.В., Пономарев А.Ю. Математическая модель выбора сквозных потоков заготовки, транспортировки и переработки древесного сырья // Изв. СПбЛТА, 2005. № 172. С. 32–37.

- [14] Сазонова Е.А. Исследование и обоснование технологических процессов лесосечных работ на основе сквозного энергетического анализа: автореф. дис. ... канд. техн. наук: 05.21.01. Екатеринбург, 2005. 19 с.
- [15] Mokhiev A., Rukomoynikov K. Graphic-analytical modelling of technological chain of logging operations in dynamic natural and production conditions // IOP Conf. Series: Earth and Environmental Science, 2019, v. 316, p. 012039. DOI:10.1088/1755-1315/316/1/012039
- [16] Боженюк А.В., Герасименко Е.М. Разработка алгоритма нахождения максимального потока минимальной стоимости в нечеткой динамической транспортной сети // Инженерный вестник Дона, 2013. № 1. URL: <http://www.ivdon.ru/magazine/archive/n1y2013/1583> (дата обращения 10.02.2021).
- [17] Рукомойников К.П., Мохирев А.П. Обоснование технологической схемы лесозаготовительных работ путем создания динамической модели функционирования предприятия // ИВУЗ Лесной журнал, 2019. № 4 (370). С. 94–107. DOI: 10.17238/issn0536-1036.2019.4.94
- [18] Mokhiev A., Rukomoynikov K., Gerasimova M., Medvedev S. Finding an effective technological chain of logging operations // IOP Conference Series: Materials Science and Engineering, 2020, v. 817, p. 012024. DOI: 10.1088/1757-899X/817/1/012024
- [19] Mokhiev A., Rukomoynikov K., Gerasimova M., Medvedev S. Development of methodological foundations for the design of logging infrastructure taking into account the dynamically changing environment // J. of Applied Engineering Science, 2020, v. 18, br. 4, p. 500–504.
- [20] Потоки в сетях. URL: http://www.math.nsc.ru/LBRT/k4/or/or_part6.pdf (дата обращения 30.03.2021).
- [21] Задача о потоке минимальной стоимости. Алгоритм Басакера — Гоуэна нахождения оптимального потока. URL: <https://studfile.net/preview/1725896/page:4/> (дата обращения 30.03.2021).
- [22] Алгоритм Беллмана — Форда. URL: https://ru.wikipedia.org/wiki/Алгоритм_Беллмана_—_Форда (дата обращения 15.03.2021).
- [23] Культин Н.Б. Основы программирования в Embarcadero Delphi, 2015. 232 с. URL: https://www.studmed.ru/kultin-n-b-osnovy-programirovaniya-v-embarcaderodelphi_9fcfc1db9e2.html (дата обращения 15.03.2021).
- [24] Модели и методологии разработки. URL: <https://geekbrains.ru/posts/methodologies> (дата обращения 15.03.2021).
- [25] Позднякова М.О., Мохирев А.П., Герасимова М.М. Эффективность лесной инфраструктуры в разрезе затрат на транспортировку сырья // Экономика и современный менеджмент: теория, методология, практика: сб. статей IX Междунар. науч.-практ. конф. Пенза: МЦНС «Наука и Просвещение», 2020. С. 107–113.
- [26] Герасимова М.М., Медведев С.О., Мохирев А.П., Рукомойников К.П. Оптимизация материальных потоков лесозаготовительного предприятия на основе теории графов // Логистика и управление цепями поставок, 2019. № 6. С. 50–58.

Сведения об авторах

Мохирев Александр Петрович✉ — д-р. техн. наук, проф. кафедры автомобильных дорог и городских сооружений, ФГАОУ ВО «Сибирский федеральный университет», ale-mokhiev@yandex.ru

Герасимова Марина Михайловна — канд. техн. наук, доцент кафедры информационных и технических систем, Лесосибирский филиал, ФГБОУ ВО «Сибирский государственный университет науки и технологий имени академика М.Ф. Решетнева», marina-gerasimov@list.ru

Рукомойников Константин Павлович — д-р техн. наук, проф. кафедры лесопромышленных и химических технологий, Института леса и природопользования ФГБОУ ВО «Поволжский государственный технологический университет», rukomojnikovkp@volgategatech.net

Сергеева Татьяна Владиславовна — студент, ФГБОУ ВО «Поволжский государственный технологический университет», sergeeva2010t@mail.ru

Поступила в редакцию 30.04.2021.

Одобрено после рецензирования 01.07.2021.

Принята к публикации 05.10.2021.

SOFTWARE TOOL TO FIND OPTIMAL SEQUENCE OF PRODUCTION PROCESS TECHNOLOGICAL OPERATIONS FOR LOGGING ENTERPRISE

A.P. Mokhirev¹✉, M.M. Gerasimova², K.P. Rukomojnikov³, T. V. Sergeeva³

¹Siberian Federal University, 79, Svobodny pr., Krasnoyarsk, 660041, Russia

²Lesosibirsk Branch of Reshetnev Siberian State University of Science and Technology, 29, Pobeda st., 662543, Lesosibirsk, Krasnoyarsk reg., Russia

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

ale-mokhirev@yandex.ru

The development of a software tool for finding the optimal sequence of technological operations of the production process of a logging enterprise, as well as the principles of its operation, is considered. Planning of logging production is quite a complex process, since it is necessary to determine the optimal strategy of activity, taking into account a large number of factors, increasing revenue and reducing costs. There are many options for organizing the technological process of harvesting and hauling wood. The program is developed on the basis of the algorithm given in the scientific literature for solving the problem of finding the optimal technological sequence of logging operations in order to automate calculations that are time-consuming. The application is created in the Delphi programming language in the Delphi XE2 RAD Studio development environment. The data used for the calculations is presented in an Excel table. To find the minimum cost flow, the program implements the Basaker — Gowan and Ford — Bellman algorithms. The result of the software tool is the optimal technological chain of delivery of wood from the cutting area to the consumer and corresponding costs. The results are displayed on the screen and can be saved to an Excel file. It is possible for the user to get help information about working with the program. With the help of the developed application, the technological chain of operations for the primary processing and transportation of harvested wood from the cutting area to the consumer is determined, which is characterized by a minimum cost for performing all types of work. The testing showed that the software can be used in practical activities by the head of the logging process at the enterprises of the forest industry.

Keywords: logging road, software tool, removal, technological operations, logging, enterprise


Suggested citation: Mokhirev A.P., Gerasimova M.M., Rukomojnikov K.P., Sergeeva T.V. *Programmnoe sredstvo dlya nakhozhdeniya optimal'noy posledovatel'nosti tekhnologicheskikh operatsiy proizvodstvennogo protsessa lesozagotovitel'nogo predpriyatiya* [Software tool to find optimal sequence of production process technological operations for logging enterprise]. *Lesnoy vestnik / Forestry Bulletin*, 2022, vol. 26, no. 1, pp. 114–125. DOI: 10.18698/2542-1468-2022-1-114-125

References

- [1] Vashkevich E. *Lesozagotovka v kontekste nauki* [Logging in the context of science]. *Lesnoy kompleks Sibiri* [Forest complex of Siberia], 2016, no. 1 (17), Available at: <https://ru.calameo.com/read/003770176bbea1eb8935> (accessed 15.03.2021).
- [2] Yashin A.V. *Optimizatsiya transportno-tekhnologicheskogo protsessa lesozagotovitel'nogo predpriyatiya* [Optimization of the transport and technological process of a logging enterprise]. Diss. Cand. Sci. (Tech.). Saint-Petersburg, 2010, 204 p.
- [3] Mokhirev A.P., Pozdnyakova M.O., Guden' T.S., Suhinin V.D. *Vliyaniye prirodno-proizvodstvennykh faktorov na transportnye zatraty lesozagotovitel'nogo proizvodstva* [Influence of natural production factors on transport costs of logging production]. *Lesotekhnicheskii zhurnal* [Forestry engineering journal], 2019, no. 2, pp. 107–117.
- [4] Shegel'man I.R., Lukashevich V.M. *Ocenka sezonnosti pri podgotovke lesozagotovitel'nogo proizvodstva* [Assessment of seasonality in the preparation of logging production]. *Fundamental'nye issledovaniya* [Basic research], 2011, no. 12, pp. 599–603.
- [5] Suhanov V.S. *O sezonnom karaktere lesozagotovok* [About the seasonal nature of logging]. Available at: <https://kelohouse.ru/vse-o-dereviannom-srube/o-sezonnom-kharaktere-lesozagotovok.html> (accessed 21.03.2021).
- [6] Mokhirev A., Gerasimova M., Rukomojnikov K. Improvement of logging operations technological chains in the conditions of seasonal dynamics. *IOP Conf. Series: Earth and Environmental Science*, 2020, v. 574, p. 012053. DOI: 10.1088/1755-1315/574/1/012053.
- [7] Shegel'man I.R., Skrypnik V.I., Kuznecov A.V. *Analiz pokazateley raboty i ocenka effektivnosti lesozagotovitel'nykh mashin v razlichnykh prirodno-proizvodstvennykh usloviyakh* [Analysis of performance indicators and evaluation of the efficiency of logging machines in various natural and industrial conditions]. *Uchenye zapiski PetrGU. Ser.: Estestvennye i tekhnicheskie nauki* [Scientific notes of PetrSU: natural and technical sciences series], 2010, no. 4(109), pp. 66–75.
- [8] Borisov G. A., Kukin V.D., Kuzina V.I. *Metody poiska naivyygodneyshego varianta seti lesovoznykh dorog* [Methods of searching for the most advantageous variant of the logging road network]. *Lesnoy Zhurnal* (Russian Forestry Journal), 2001, no. 3, pp. 64–70.
- [9] Burmistrova O.N., Sushkov S.I., Pil'nik YU.N. *Optimizatsiya parametrov transportnykh protsessov na predpriyatiyakh lesopromyshlennogo kompleksa* [Optimization of parameters of transport processes at enterprises of the timber industry complex]. *Fundamental'nye issledovaniya* [Basic research], 2015, no. 11–2, pp. 237–241.
- [10] Carlsson D., D'Amours S., Martel A., Rönnqvist M. Decisions and methodology for planning the wood fiber flow in the forest supply chain. Recent developments in supply chain management. Eds. R. Koster, W. Delfmann. Helsinki: University Press, 2008, pp. 11–39.
- [11] Pentek T., Nevečeral H., Ecmović T., Lepoglavec K., Papa I., Tomašić Z. Strategijsko planiranje šumskih prometnica u Republici Hrvatskoj — raččlamba postojećega stanja kao podloga za buduće aktivnosti. *Nova Mehanizacija Šumarstva*, 2014, no. 35 (1), p. 63.

- [12] Shegel'man I.R. *Analiz skvoznykh processov zagotovki biomassy dereva i ee pererabotki na shchepu* [Analysis of end-to-end processes of harvesting wood biomass and its processing into wood chips]. *Sovremennye problemy razvitiya lesopromyshlennykh proizvodstv: nauch. tr.* [Modern problems of the development of timber production: scientific works]. Petrozavodsk, 2001, no. 6, pp. 13–23.
- [13] Shegel'man I.R., Shchegoleva L.V., Ponomarev A.Yu. *Matematicheskaya model' vybora skvoznykh potokov zagotovki, transportirovki i pererabotki drevesnogo syr'ya* [Mathematical model of selection of through flows of procurement, transportation and processing of wood raw materials]. *Izvestiya SpbLTA*, 2005, no. 172, pp. 32–37.
- [14] Sazonova E.A. *Issledovanie i obosnovanie tekhnologicheskikh processov lesosechnykh работ na osnove skvoznogo energeticheskogo analiza* [Research and justification of technological processes of logging operations based on end-to-end energy analysis]. *Dis. Cand. Sci. (Tech.)*. Yekaterinburg, 2005, 19 p.
- [15] Mokhirev A., Rukomoynikov K. Graphic-analytical modelling of technological chain of logging operations in dynamic natural and production conditions. *IOP Conf. Series: Earth and Environmental Science*, 2019, v. 316, p. 012039. DOI:10.1088/1755-1315/316/1/012039
- [16] Bozhenyuk A.V., Gerasimenko E. M. *Razrabotka algoritma nahozhdeniya maksimal'nogo potoka minimal'noy stoimosti v nechetkoy dinamicheskoy transportnoy seti* [Development of an algorithm for finding the maximum flow of the minimum cost in a fuzzy dynamic transport network]. *Inzhenernyy vestnik Dona* [Engineering journal of Don], 2013, no. 1.
- [17] Rukomoynikov K.P., Mokhirev A.P. *Obosnovanie tekhnologicheskoy skhemy lesozagotovitel'nykh работ putem sozdaniya dinamicheskoy modeli funktsionirovaniya predpriyatiy* [Validation of the Logging Operations Scheme through the Creation of Dynamical Model of the Enterprise Functioning]. *Lesnoy Zhurnal (Russian Forestry Journal)*, 2019, v. 4(370), pp. 94–107. DOI: 10.17238/issn0536-1036.2019.4.94
- [18] Mokhirev A., Rukomoynikov K., Gerasimova M., Medvedev S. Finding an effective technological chain of logging operations. *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*, 2020, v. 817, p. 012024. DOI: 10.1088/1757-899X/817/1/012024
- [19] Mokhirev A., Rukomoynikov K., Gerasimova M., Medvedev S. Development of methodological foundations for the design of logging infrastructure taking into account the dynamically changing environment. *J. of Applied Engineering Science*, 2020, v. 18, br. 4, p. 500–504.
- [20] *Potoki v setyah* [Threads in networks]. Available at: http://www.math.nsc.ru/LBRT/k4/or/or_part6.pdf (accessed 30.03.2021).
- [21] *Zadacha o potoke minimal'noy stoimosti. Algoritm Basakera — Gouena nahozhdeniya optimal'nogo potoka* [The minimum cost flow problem. Basaker — Gowan algorithm for finding the optimal flow]. Available at: <https://studfile.net/preview/1725896/page:4/> (accessed 15.03.2021).
- [22] *Algoritm Bellmana — Forda* [Bellman — Ford algorithm]. Available at: [https://ru.wikipedia.org/wiki/Algoritm_Bellmana — Forda](https://ru.wikipedia.org/wiki/Algoritm_Bellmana_-_Forda) (accessed 15.03.2021).
- [23] Kul'tin N.B. *Osnovy programmirovaniya v Embarcadero Delphi* [Fundamentals of programming in Embarcadero Delphi], 2015, 232 p. (accessed 15.03.2021).
- [24] *Modeli i metodologii razrabotki* [Development models and methodologies]. Available at: <https://geekbrains.ru/posts/methodologies> (accessed 15.03.2021).
- [25] Pozdnyakova M.O., Mokhirev A.P., Gerasimova M.M. *Effektivnost' lesnoy infrastruktury v razreze zatrat na transportirovku syr'ya* [Efficiency of forest infrastructure in the context of raw material transportation costs]. *Sbornik statey IX Mezhdunarodnoy nauchno-prakticheskoy konferentsii «Ekonomika i sovremennyy menedzhment: teoriya, metodologiya, praktika»* [Collection of articles of the IX International Scientific and Practical Conference «Economics and Modern Management: theory, methodology, practice»]. Penza, 2020, pp. 107–113.
- [26] Gerasimova, M.M., Medvedev S.O., Mokhirev A.P., Rukomoynikov K.P. *Optimizatsiya material'nykh potokov lesozagotovlennogo predpriyatiya na osnove teorii grafov* [Optimization of material flows of a logging enterprise on the basis of graph theory]. *Logistika i upravlenie tsenyami postavok* [Logistics and supply chain management], 2019, no. 6, pp. 50–58.

Authors' information

Mokhirev Aleksandr Petrovich  — Dr. Sci. (Tech.), Professor of the Department of Highways and Urban Structures of the Siberian Federal University, ale-mokhirev@yandex.ru

Gerasimova Marina Mikhaylovna — Cand. Sci. (Tech.), Associate Professor of the Department of Information and technical systems of the Reshetnev Siberian State University of Science and Technology, marina-gerasimov@list.ru

Rukomoynikov Konstantin Pavlovich — Dr. Sci. (Tech.), Professor of the Department of Forestry and chemical technologies of the Institute of forest and nature management, Volga State University of Technology, rukomojnikovkp@volgatech.net.

Sergeeva Tat'yana Vladislavovna — Student of the Volga State University of Technology, sergeeva2010t@mail.ru

Received 30.04.2021.

Approved after review 01.07.2021.

Accepted for publication 05.10.2021.

Вклад авторов: все авторы в равной доле участвовали в написании статьи

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов

Authors' Contribution: All authors contributed equally to the writing of the article

The authors declare that there is no conflict of interest

ПРОЕКТИРОВАНИЕ СХЕМ ТРЕЛЕВОЧНЫХ ВОЛОКОВ НА ЛЕСОСЕКЕ С НЕРАЗРАБАТЫВАЕМЫМ УЧАСТКОМ

А.В. Макаренко

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

Рассмотрен метод проектирования схем трелевочных волоков на лесосеках с наличием неразрабатываемых участков (площади молодняков, болота, территории природных объектов и т. д.) при варьировании параметров углов наклона магистральных и пасечных волоков и места расположения погрузочного пункта. Представлен разработанный алгоритм выделения однородных участков, на которых пасечные волока параллельны и примыкают к одному магистральному волоку. Для оценки эффективности вариантов схем волоков применены показатели среднего расстояния трелевки и объема грузовой работы, которые рассчитаны непосредственно на основании геометрических характеристик каждого из вариантов схем волоков. Расчет значений параметров эффективности и проектирование схем волоков произведен на разработанной компьютерной программе при последовательном изменении варьируемых параметров. Представлены графики результатов расчетов среднего расстояния трелевки и объема грузовой работы в зависимости от углов наклона магистральных волоков и некоторых значений координат положения погрузочного пункта. Определены диапазоны варьирования параметров эффективности и условия, при которых они принимают минимальные значения.

Ключевые слова: лесосека, пасечный волок, магистральный волок, сеть трелевочных волоков, среднее расстояние трелевки

Ссылка для цитирования: Макаренко А.В. Проектирование схем трелевочных волоков на лесосеке с неразрабатываемым участком // Лесной вестник / Forestry Bulletin, 2022. Т. 26. № 1. С. 126–134.
DOI: 10.18698/2542-1468-2022-1-126-134

Проектирование лесосечных работ часто требует разработки сети трелевочных волоков для лесосек произвольной формы и с наличием неразрабатываемых участков. Такими неразрабатываемыми участками являются площади молодняков и средневозрастных насаждений, территории у рек и ручьев, болота, прогалины, участки природных объектов, имеющих природоохранное значение и др. [1]. Сеть трелевочных волоков для таких лесосек отличается многовариантностью и часто запутанностью, что затрудняет работу операторов лесозаготовительных машин [2–6].

Существуют различные подходы по проектированию и совершенствованию прокладки сети трелевочных волоков на лесосеке, учитывающие неоднородность лесорастительных условий и плотность древостоя. В работе [7] предлагается разбивать лесосеку на определенные части, имеющие примерно однородную плотность и породный состав древостоя, определять центр тяжести этих участков, после чего проектировать прокладку магистральных или пасечных волоков, по возможности, ближе к рассчитанным центрам тяжести участков. При наличии на лесосеке неразрабатываемых территорий или территорий с низкой несущей способностью грунтов в проектируемую сеть волоков рекомендуют вносить соответствующие поправки.

Автоматизированное проектирование сети трелевочных волоков на основании неоднородности несущей способности грунтов лесосеки рассмотрено в работах [8–10]. Исходными данными для проектирования в этих работах является контур лесосеки, который разбивается на участки, площадью, примерно равной территории набора трелевочной пачки, и каждому участку присваивается условный номер, соответствующий значению несущей способности грунта. Разработка схемы волоков на лесосеке выполняется с помощью компьютерной программы на основании методов динамического программирования и теории графов, гиперграфов и гиперсетей [11, 12].

Методы численного программирования и оптимизации кроме проектирования схем трелевочных волоков на лесосеке находят широкое применение при разработке сети лесовозных дорог для вывозки древесины с лесосек к месту складирования и переработки. В работе [13] рассмотрено несколько методов численного программирования, дана оценка их сложности и результативности.

Эффективное применение трелевочных машин и снижение их отрицательного воздействия на грунт находится в прямой зависимости от конфигурации схемы волоков. В работах [14, 15] рассматривается воздействие ходовой части трелевочных машин на грунты лесосеки на поворотах трелевочных волоков, наличие и месторасположение которых является важной характеристикой

трелевочной сети, показано существенное увеличение плотности и снижение пористости грунта с увеличением кривизны поворота машины для различных уклонов местности.

В работах [16–18] представлены методики проектирования сети трелевочных волоков, основывающиеся на оптимизации затрат на трелевку древесины с учетом рельефа и экологических особенностей местности. Для решения сформулированной таким образом задачи использовались жадный эвристический и метаэвристический алгоритмы, принцип Парето-оптимальных решений.

Для оценки эффективности разработанной сети волоков принято использовать набор различных критериев [4, 19–21], в частности: среднее расстояние трелевки; общий объем грузовой работы; количество проходов техники по одному месту трелевочного волока при известной несущей способности грунта; удобство передвижения машин по волокам (отсутствие тупиковых волоков, минимальное количество разворотов и др.). Для определения перечисленных критериев на практике и в научных исследованиях применяются различные подходы и методы.

Методика расчета среднего расстояния трелевки и величины грузовой работы способом интегрального суммирования элементарных грузовых работ для прямоугольных лесосек и стандартных схем расположения волоков представлена в работе [19]. В работах [22, 23] рассматривается расширение данной методики для лесосек произвольной формы путем разбиения территории на однородные треугольные и четырехугольные участки.

Рассматривая в целом используемые методы и подходы к проектированию сети трелевочных волоков и расчету критериев эффективности, следует отметить, что с их помощью решаются, хотя и принципиальные, но отдельные и частные задачи, что не позволяет отследить последовательную трансформацию сети волоков в зависимости от совокупности природно-производственных условий. Некоторые методы расчета оказываются достаточно сложными и неоднозначными, что затрудняет их программирование. Кроме того, для некоторых подходов к проектированию сети волоков свойственна существенная диспропорция в максимизации одних критериев эффективности за счет других.

Цель работы

Цель работы — разработка алгоритма и программы построения сети трелевочных волоков для лесосеки произвольной формы и с наличием неразрабатываемых участков при возможности трансформирования сети последовательным изменением параметров ориентации волоков.

Материалы и методы исследования

Проектирование схемы трелевочных волоков для разработки лесосеки начинается с выбора базовой стороны, на которой располагается погрузочный пункт, и направления основных магистральных волоков [24–26]. При наличии на лесосеке нескольких погрузочных пунктов, проектирование схемы волоков проводится для делянок, на которые разбивается лесосека по числу погрузочных пунктов. Количество применяемых магистральных волоков для разработки лесосеки (делянки), отходящих от погрузочного пункта, является важным классификационным признаком схемы разработки. Нами введено ограничение: схема волоков проектируется при двух основных магистральных волоках. Несмотря на это, общий алгоритм построения сети волоков оказывается одинаковым при любом их количестве.

Основными варьируемыми параметрами, позволяющими последовательно изменять сеть волоков, приняты направляющие углы магистральных волоков относительно базовой стороны лесосеки и место расположения погрузочного пункта, которое определяется условной точкой схождения магистральных волоков на базовой стороне. В исследовании также присутствуют следующие дополнительные (необязательные) варьируемые параметры: углы наклона групп пасечных волоков по выделенным участкам лесосеки и угол наклона линии, разделяющей площадь лесосеки на участки, с которых трелевка древесины ведется по одному из магистральных волоков.

Ориентировочная схема лесосеки с одним неразрабатываемым участком и указанием варьируемых параметров сети волоков представлена на рис. 1. На лесосеке кроме неразрабатываемых участков могут также быть расположены участки с ограничениями, например, по количеству проходов техники.

Основой алгоритма проектирования сети трелевочных волоков по рис. 1 является выделение и построение контуров однородных участков, на которые разбивается лесосека. Однородный участок представляет собой обособленную территорию лесосеки, примыкающую одной стороной (в некоторых случаях и более) к магистральному волоку, на котором пасечные волокна располагаются однотипно и параллельно. Расположение и форма однородных участков определяются исходными параметрами лесосеки (ее формой и природно-производственными условиями) и текущим положением основных магистральных волоков, которое зависит от варьируемых параметров — это углы наклона волоков и координаты начала волоков на погрузочном пункте.

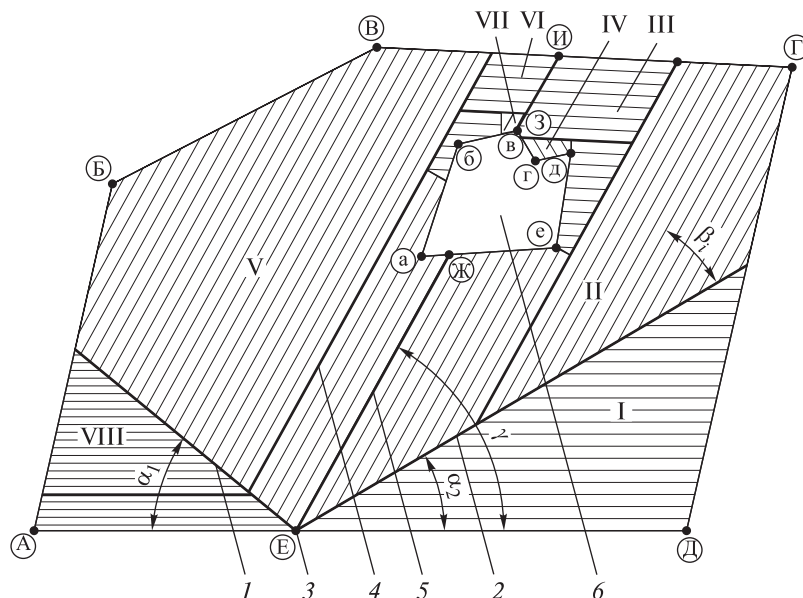


Рис. 1. Сеть волоков для разработки лесосеки с неразрабатываемым участком: 1, 2 — основные магистральные волоки; 3 — дополнительные магистральные волоки на погрузочном пункте; 4 — точка пересечения основных магистральных волоков на погрузочном пункте; 5 — разделительная линия; 6 — неразрабатываемый участок; I–VIII — номера однородных участков; А–И — номера узловых точек контура лесосеки; а–е — номера узловых точек контура неразрабатываемого участка

Fig. 1. The network of skidding trails for the development of a cutting area with an undeveloped site: 1, 2 — basic main skidding trails; 3 — additional main skidding trails; 4 — the intersection point of the basic main skidding trails on the loading point; 5 — dividing line; 6 — undeveloped area; I–VIII — numbers of homogeneous plots; А–И — numbers of nodal points of the cutting area contour; а–е — numbers of nodal points of the undeveloped plot contour

Если однородные участки примыкают к основным магистральным волокам, то такие участки условно называются участками первого уровня. При построении пасек и пасечных волоков для участков первого уровня иногда возникает ситуация, когда границы очередной пасеки упрутся в вогнутую границу лесосеки или границы неразрабатываемого участка. В результате может образоваться территория на лесосеке, недоступная сети пасечных волоков текущего однородного участка. В этом случае пасечный волок данной пасеки преобразуется в дополнительный магистральный волок, а на недоступной территории образуется новый однородный участок второго уровня. Если при построении пасек и прокладке пасечных волоков однородного участка второго уровня рассматриваемая ситуация повторяется, то выделяется участок третьего уровня с новым дополнительным магистральным волоком. Это продолжается до тех пор, пока в данном месте лесосеки не остается недоступных территорий. Способы выделения уровней магистральных волоков и их классификация предложены в работе [27].

Алгоритм построения сети трелевочных волоков с выделением однородных участков представ-

лен на рис. 2. Данный алгоритм использует метод рекурсии, при котором подпрограммы вызывают сами себя для построения и расчета однородных участков более высокого уровня, образуя определенную замкнутую цепочку действий. Прямой рекурсивный ход начинается при невозможности достроить очередную пасеку однородного участка текущего уровня. В этом случае построение пасеки прерывается, и программа начинает работать с участком более высокого уровня. Повышение уровня участка и циклический вызов связанным набором подпрограмм самих себя заканчивается с завершением разработки однородного участка наибольшего уровня. После этого начинается обратный рекурсивный ход, при котором понижается уровень однородных участков с одновременным их достраиванием. Следует отметить, что при выполнении обратного рекурсивного хода вследствие особенностей прокладки пасечных волоков для данных исходных условий рассматриваемой лесосеки цикл прямого рекурсивного хода может быть возобновлен.

Ключевыми процедурами алгоритма, определяющими логику работы программы (см. рис. 2), являются блоки, в которых анализируется

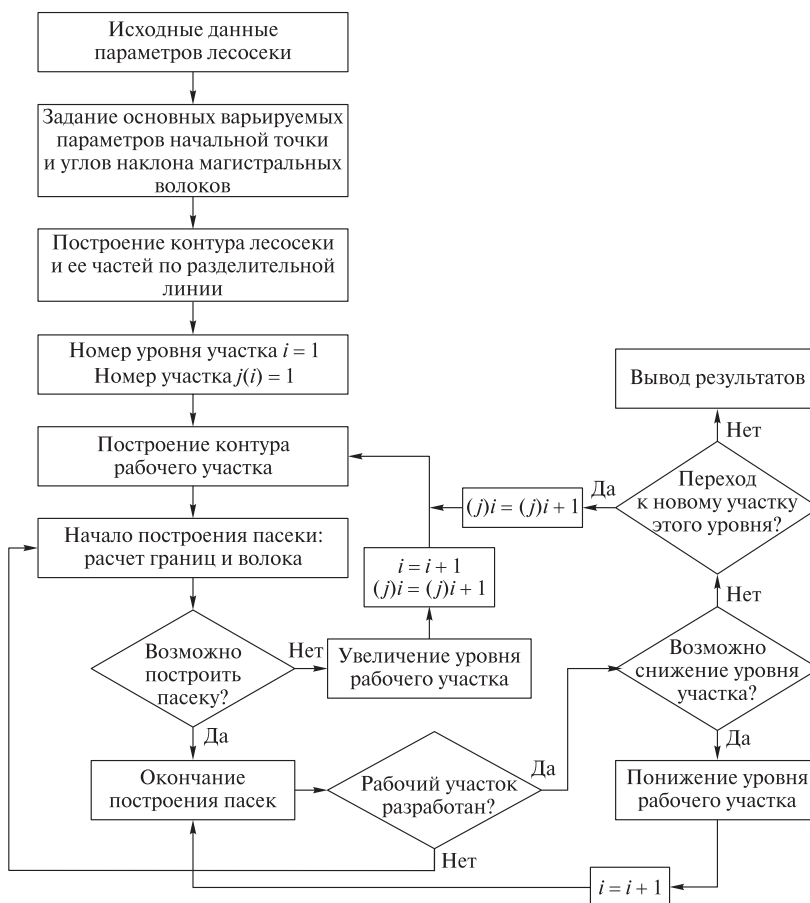


Рис. 2. Алгоритм построения сети пасечных волоков на лесосеке
 Fig. 2. Algorithm for building a network of strip cutting trail in a cutting area

возможность и выполняется построение контура очередной пасеки при известных координатах боковых границ и волока. Возможные варианты пересечения боковых границ пасек и пасечных волоков с границами контура разрабатываемого участка, представлены на рис. 3.

Анализ возможности построения пасеки основывается на сравнении длин боковых сторон пасеки и волока и номеров граничных линий участка, с которыми они пересекаются. Варианты 1–4, 10 (см. рис. 3) демонстрируют случаи построения границ пасек без образования недоступных зон лесосеки и необходимости выделения участков более высокого уровня. Для остальных вариантов построения пасек такая необходимость выделения участков следующего уровня появляется. На основании алгоритма (см. рис. 2) это означает, что построение текущей пасеки прерывается, работа программы переходит на более высокий уровень, на котором строится новый участок и пасеки этого участка.

Варианты 5–9 (см. рис. 3) показывают случаи, когда при построении контура пасеки одна из ее границ пересекается с границами неразрабатываемого участка и оказывается значительно

меньше или значительно больше пасечного волока. Обнаружение части территории данного участка, которая недоступна для машины с волока текущей пасеки, проводится на основании расчета расстояния между точками участка, которые находятся между окончаниями правой и левой границ пасеки по контуру и пасечным волоком. Если некоторые из этих расстояний оказываются больше половины ширины пасеки, то можно сделать вывод о необходимости построения нового участка более высокого уровня в составе участка текущего уровня.

Варианты 10–12 (см. рис. 3) представляют случаи построения пасек, при которых правая и левая их границы пересекаются с разными неразрабатываемыми территориями лесосеки, а пасечный волок проходит между этими территориями. Выделение участков нового более высокого уровня проводится по тому же алгоритму, что и для вариантов 5–9, но при отличии — проверка на необходимость построения новых участков проводится для обеих сторон от пасечного волока. Варианты 11 и 12 — это случаи обнаружения только одного нового участка более высокого уровня.

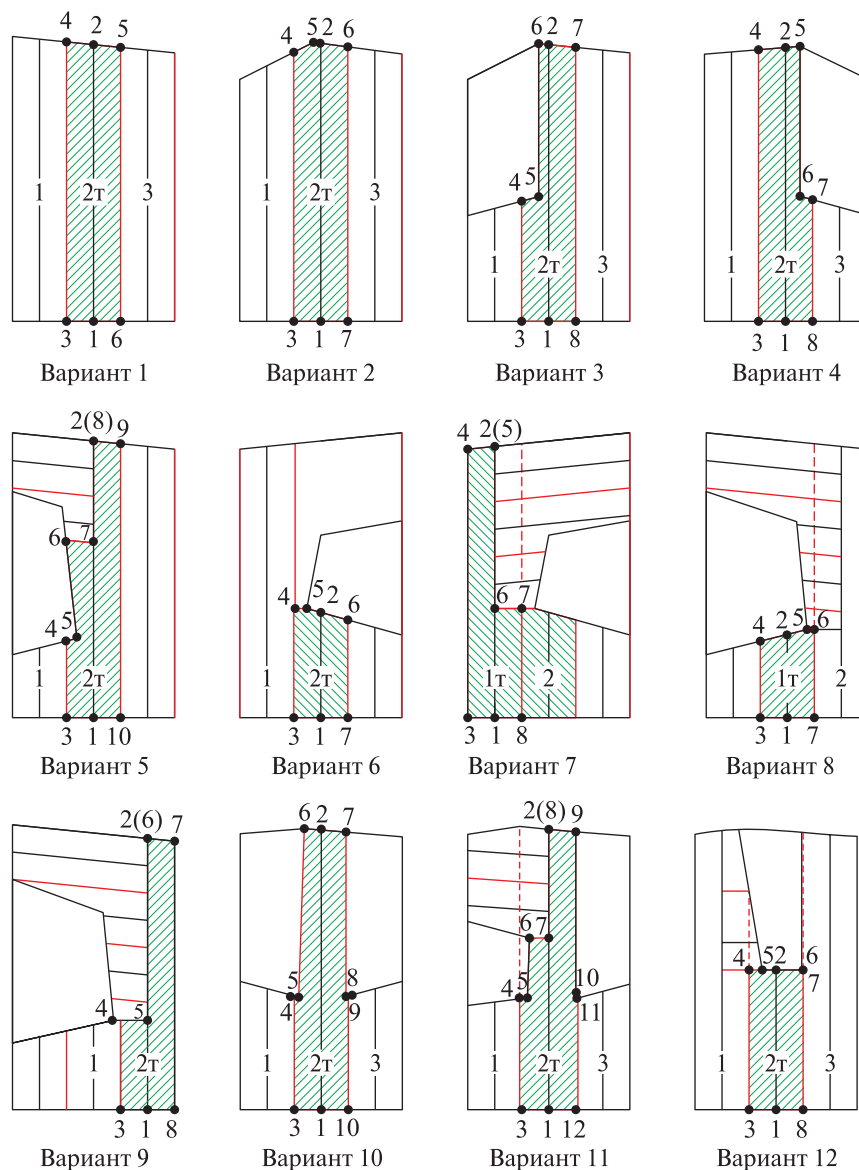


Рис. 3. Варианты построения пасек: 1–3 — номера пасек; 1г, 2г — номера текущих пасек построения; 1–12 — точки контура пасек с координатами $x_1, y_1; x_2, y_2; x_3, y_3$
Fig. 3. Variants for building the cutting strip: 1–3 — numbers of the cutting strip; 1г, 2г — numbers of the current cutting strips of building; 1–12 — the cutting strip points with coordinates $x_1, y_1; x_2, y_2; x_3, y_3$

После построения сети трелевочных волоков при определенных значениях переменных параметров проводится расчет критериев эффективности — среднего расстояния трелевки, грузовой работы и др.

Результаты и обсуждение

Результатом построения сети трелевочных волоков на территории лесосеки (делянке) является массив координат точек, определяющих границы пасек, на которые разбита лесосека, и расположение пасечных и магистральных волоков. На основании этих данных рассчитать грузovou работу Gr и среднее расстояние трелевки L_{cp} можно непосредственно по формулам

$$Gr = \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^{k_i} \left[S_{j,i} \frac{q_{j,i}}{10000} (L_{ц_{j,i}} + Lm_{j,i}) \right],$$

$$L_{cp} = \frac{Gr}{\sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^{k_i} S_{j,i} \frac{q_{j,i}}{10000}},$$

где $S_{j,i}$ — площадь i -й пасеки j -го однородного участка, m^2 ;
 $q_{j,i}$ — средний запас древесины на 1 га для i -й пасеки j -го однородного участка, m^3 ;
 $L_{ц_{j,i}}$ — расстояние от центра тяжести пасеки до начала пасечного волока для i -й пасеки j -го однородного участка, m ;

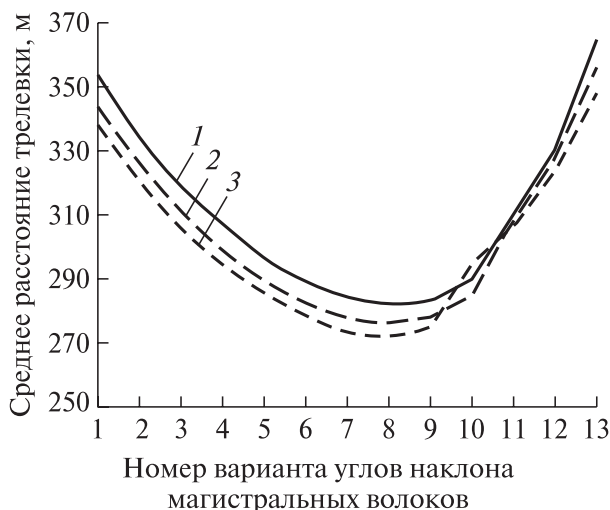


Рис. 4. Зависимость среднего расстояния трелевки от углов наклона магистральных волоков и величины смещения центра погрузочного пункта от середины базовой стороны лесосеки: 1 — при смещении центра на 10 % длины базовой стороны; 2 — при смещении центра на 6 % длины базовой стороны; 3 — при смещении центра на 2 % длины базовой стороны

Fig. 4. The dependence of the average skidding distance on the slope angles of the main skidding trails and the value of the displacement of the center of the loading point from the middle of the base side of the cutting area: 1 — when the center is shifted by 10 % of the length of the base side; 2 — when the center is shifted by 6 % of the length of the base side; 3 — when the center is shifted by 2 % of the length of the base side

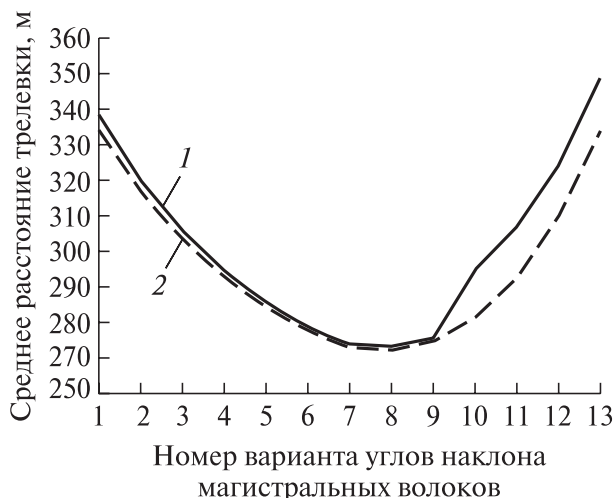


Рис. 5. Зависимость среднего расстояния трелевки от углов наклона магистральных волоков при расположении центра погрузочного пункта около середины базовой стороны лесосеки: 1 — для лесосеки с неразрабатываемым участком; 2 — для лесосеки без неразрабатываемого участка

Fig. 5. The dependence of the average skidding distance on the slope angles of the main skidding trails when the center of the loading point is located near the middle of the base side of the cutting area: 1 — for the cutting area with an undeveloped plot; 2 — for the cutting area without an undeveloped plot

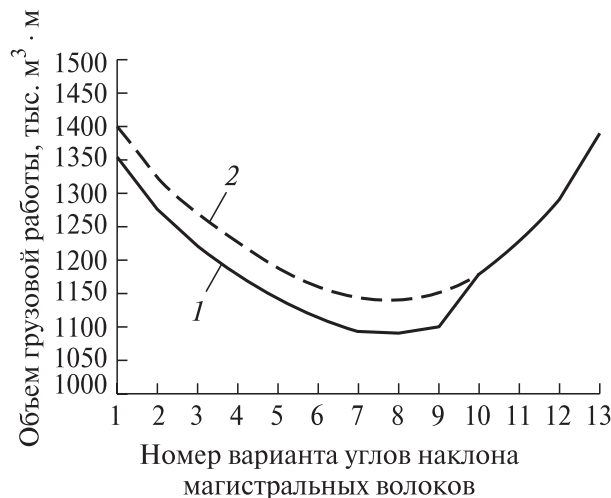


Рис. 6. Зависимость объема грузовой работы от углов наклона магистральных волоков при расположении центра погрузочного пункта около середины базовой стороны лесосеки: 1 — для лесосеки с неразрабатываемым участком; 2 — для лесосеки без неразрабатываемого участка

Fig. 6. The dependence of the volume of cargo work on the slope angles of the main skidding trails when the center of the loading point is located near the middle of the base side of the cutting area: 1 — for the cutting area with an undeveloped plot; 2 — for the cutting area without an undeveloped plot

$L_{m_{j,i}}$ — расстояние трелевки по магистральным волокам для i -й пасеки j -го однородного участка, м.

На основании разработанной математической модели и компьютерной программы рассматриваемые критерии Gr и L_{cp} были определены для нескольких вариантов схем трелевочных волоков, которые отличались значениями углов наклона магистральных волоков и центром расположения погрузочного пункта на заданные дискретные значения. Углы наклона левого и правого магистральных волоков изменялись синхронно, на 1/12 от значений углов с левой и правой стороны

от разделительной линии (см. рис. 1, 5) до базовой стороны лесосеки. Таким образом, было образовано 13 вариантов схем трелевочных волоков в зависимости от наклона магистральных волоков от начального значения, при котором волокни параллельны базовой стороне лесосеки до соединения магистральных волоков вдоль разделительной линии. Центру погрузочного пункта как месту пересечения магистральных волоков на базовой стороне лесосеки придавалось последовательно несколько положений, начиная от середины базовой стороны и далее вправо с шагом, равным 5 % относительно длины базовой стороны (рис. 4–6).

На рис. 4 приведены зависимости среднего расстояния трелевки для схемы лесосеки (см. рис. 1) от синхронизированных значений углов наклона магистральных волоков при трех вариантах положения погрузочного пункта. Как видно из рисунков, диапазон значений среднего расстояния трелевки достигает 22 %, а минимум соответствует варианту 8 расположения магистральных волоков (кривая 3), при котором правый и левый волоки имеют углы наклона 42,1° и 62,9° соответственно.

На рис. 5 и 6 представлены зависимости среднего расстояния трелевки и объема грузовой работы от значений углов наклона магистральных волоков для варианта лесосеки (см. рис. 1) с наличием неразрабатываемого участка и для варианта той же лесосеки, но без неразрабатываемого участка. Расположение центра погрузочного пункта для обоих случаев принято вблизи середины базовой стороны лесосеки.

Как видно из рис. 5 и 6, среднее расстояние трелевки для лесосеки без неразрабатываемого участка меньше на 1...4 % по сравнению с той же лесосекой, но на которой расположен такой участок. Для величины объема грузовой работы для вариантов 1–9 результат сравнения имеет обратное значение. Данный параметр на 3...4 % больше для лесосеки без неразрабатываемого участка. Для вариантов 10–13 объем грузовой работы примерно одинаков для обеих лесосек.

Выводы

1. Предлагаемая методика и математическая модель построения сети трелевочных волоков на лесосеках неправильной формы с наличием неразрабатываемых участков позволяет последовательно трансформировать сеть трелевочных волоков с постоянным отслеживанием значений выбранных критериев эффективности. Рекурсивный способ разбиения лесосеки на однородные участки с набором параллельных пазов для каждого магистрального волока предоставляет возможность сети волоков огибать неразрабатываемые участки лесосеки, причем варианты выделения однородных участков могут быть разные, но при заранее разработанных программных процедурах.

2. Значения критериев среднего расстояния трелевки и объема грузовой работы в зависимости от углов наклона магистральных волоков и выбранного варианта разбиения лесосеки на неразрабатываемые участки могут изменяться в пределах 20...25 %, что позволяет оптимизировать расположение трелевочных волоков по данным параметрам.

3. Рассматриваемый вариант размещения неразрабатываемого участка (группа молодняков, заболоченный участок и др.) на лесосеке

приводит к некоторому увеличению среднего расстояния трелевки и уменьшению грузовой работы. При иных вариантах размещения одного или нескольких неразрабатываемых участков на лесосеке и применению других процедур для проектирования сети трелевочных волоков, значения критериев эффективности могут быть иными. На основании анализа полученных результатов можно сделать заключение, что наличие неразрабатываемых участков на лесосеке существенным образом влияет на среднее расстояние трелевки и объем грузовой работы для различных схем трелевочных волоков.

Список литературы

- [1] Правила заготовки древесины и особенности заготовки древесины в лесничествах, указанных в статье 23 Лесного кодекса Российской Федерации. URL: <https://docs.cntd.ru/document/573123735> (дата обращения 02.03.2021).
- [2] Азаренок В.А. Экологизированные рубки леса. Екатеринбург: Изд-во УГЛТА, 1998. 99 с.
- [3] Герц Э.Ф. Оценка технологии лесопользования на лесосечных работах. Екатеринбург: Изд-во УГЛТУ, 2003. 120 с.
- [4] Виногоров Г.К. Лесосечные работы. М.: Лесная промышленность, 1981. 272 с.
- [5] Барановский В.А., Некрасов Р.М. Системы машин для лесозаготовок. М.: Лесная промышленность, 1977. 248 с.
- [6] Дербин В.М., Дербин М.В. Технология заготовки древесины с сохранением подроста // Лесотехнический журнал, 2015. Т.5. № 1 (17). С. 136–143.
- [7] Григорьев И.В., Жукова А.И., Григорьева О.И., Иванов А.В. Средоохраняющие технологии разработки лесосек в условиях северо-западного региона Российской Федерации. СПб.: Изд-во СПбЛТА, 2008. 174 с.
- [8] Пискунов М.А. Использование метода динамического программирования для построения схем трелевочных волоков с учетом распределения несущей способности свойств грунта по площади лесосеки // Науковедение, 2014. Вып. 2 (21). 9 с.
- [9] Салминен Э. О., Гуров С.В., Большаков Б.М. Размещение волоков на заболоченных лесосеках // Лесная промышленность, 1988. № 3. С. 32–33.
- [10] Воронова А.М., Пискунов М.А. Моделирование параметров лесосеки для тестирования алгоритма построения системы транспортных путей // Уч. зап. Петрозаводского государственного университета. Сер. Технические науки, 2014. № 6 (143). С. 88–92.
- [11] Есипов Б.А. Методы исследования операций. СПб.: Лань, 2021. 304 с.
- [12] Палий И.А. Дискретная математика. М.: Эксмо, 2008. 352 с.
- [13] Picard N., Gazull L., Freycon V. Finding Optimal Routes for Harvesting Tree Access // International J. of Forest Engineering, 2006, v. 17, pp. 35–50.
- [14] Solgi A., Naghdi R., Zenner E.K., Tsioras P.A., Hemmati V. Effects of ground-based skidding on soil physical properties in skid trail switchbacks // Croatian J. of Forest Engineering, 2019, no. 2, v. 40, pp. 341–350.
- [15] Григорьев И.В., Былев А.Б., Хахина А.М., Никифорова А.И. Математическая модель уплотняющего воздействия динамики поворота лесозаготовительной машины на боковые полосы трелевочного волока // Уч. зап. Петрозаводского государственного университета, 2012. № 8–1 (129). С. 72–77.

- [16] Hosseini A., Lindroos O., Wadbro E. A holistic optimization framework for forest machine trail network design accounting for multiple objectives and machines // *Canadian J. of Forest Research*, 2019, no. 2, v. 49, pp. 111–120.
- [17] Søvde N.E., Løkketangen A., Talbot B. Applicability of the GRASP metaheuristic method in designing machine trail layout // *Forest Science and Technology*, 2013, v. 9, iss. 4, pp. 187–194.
- [18] Абрамов В.В. Обоснование оптимальных параметров работы трелевочных средств на несплошных вырубках // *Лесотехнический журнал*, 2011. № 1. С. 78–83.
- [19] Кочегаров В.Г., Бит Ю.А., Меньшиков В.Н. Технология и машины лесосечных работ. М.: Лесн. пром-сть, 1990. 392 с.
- [20] Кочнев А.М., Юшков А.Н. Методология выбора трелевочных волоков лесосеки // *Лесной журнал*, 2013. № 3. С. 65–70.
- [21] Сюнев В.С. Сравнение технологий лесосечных работ в лесозаготовительных компаниях Республики Карелия. Йоенсуу, Финляндия: Изд-во НИИлеса Финляндии (Metla), 2008. 126 с.
- [22] Ширнин Ю.А., Рукомойников К.П., Роженцова Н.И., Ширнин А.Ю. Обоснование технологических параметров лесосек и режимов работы лесозаготовительных машин. Йошкар-Ола: Изд-во МарГТУ, 2009. 172 с.
- [23] Рукомойников К.П., Царев Е.М., Анисимов С.Е. Обоснование среднего расстояния трелевки лесоматериалов при комплексном освоении лесных участков // *ИВУЗ Лесной журнал*, 2017. № 4. С. 95–105.
- [24] Макаренко А.В. Оптимизация размещения сети трелевочных волоков на лесосеке // *Лесозаготовительное производство: проблемы и решения*, Минск, 26–28 апреля 2017 г. Минск: Изд-во БГТУ, 2017. С. 233–237.
- [25] Макаренко А.В. Моделирование и оценка эффективности прокладки трелевочных волоков на лесосеке // *Лесной вестник / Forestry Bulletin*, 2018. Т. 22. № 6. С. 70–78.
- [26] Makarenko A.V., Redkin A.K., Bykovsky M.A., Shadrin A.A. Using space images of forest territories for their statistical analysis // *AIP Conference Proceedings*, 2019, v. 2171, iss. 1, pp. 158–169.
- [27] Пискунов М.А. Распределение проходов форвардера и построение оптимальных схем расположения трелевочных волоков на лесосеке // *Вестник Поволжского государственного технологического университета. Сер. Лес. Экология. Природопользование*, 2017. № 2 (34). С. 37–48.

Сведения об авторе

Макаренко Андрей Владимирович — канд. техн. наук, доцент МГТУ им. Н.Э. Баумана (Мытищинский филиал), makarenko@mgul.ac.ru

Поступила в редакцию 01.07.2021.

Одобрено после рецензирования 23.09.2021.

Принята к публикации 06.12.2021.

DESIGN OF SKIDDING TRAILS AT UNTAPPED CUTTING AREA

A.V. Makarenko

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

makarenko@mgul.ac.ru

The method of designing variants of skidding trails nets is considered for cutting areas which has undeveloped areas (areas of young trees, swamps, territories of natural objects, etc.) when parameters are changed for slope angles of main and strip skid trails and the location of the loading point. An algorithm is developed and presented for allocation homogeneous areas where strip skidding trails are located parallel to each other and adjacent to one main skidding trail. To assess the effectiveness of variants of trail nets, the indicators were used by the average skidding distance and volume of cargo work, which are calculated directly on the basis of geometric characteristics for each of variants of trail nets. The calculation of the values of the efficiency indicators and the design of the trail nets is carried out by a developed computer program with a sequential change in the variable parameters. Graphs of the results are presented calculations of the average skidding distance and the volume of cargo work which depend on slope angles of the main skid trails and some values of the coordinates of the loading point. It was determined the ranges of variation of the efficiency parameters and the conditions under which they take the minimum values.

Keywords: cutting area, strip skidding trail, main skidding trail, network of skidding trails, average skidding distance

Suggested citation: Makarenko A.V. *Proektirovanie skhem trelevochnykh volokov na lesoseke s nerazrabatyvaemym uchastkom* [Design of skidding trails at untapped cutting area]. *Lesnoy vestnik / Forestry Bulletin*, 2022, vol. 26, no. 1, pp. 126–134. DOI: 10.18698/2542-1468-2022-1-126-134

References

- [1] *Pravila zagotovki drevesiny i osobennosti zagotovki drevesiny v lesnichestvakh, ukazannykh v stat'e 23 Lesnogo kodeksa Rossiyskoy Federatsii* [The rules of timber harvesting and the specifics of timber harvesting in the forest districts specified in Article 23 of the Forest Code of the Russian Federation]. Available at: <https://docs.cntd.ru/document/573123735> (accessed 02.03.2021).
- [2] Azarenok V.A. *Ekologizirovannyye rubki lesa* [Eco-friendly forest felling]. Yekaterinburg: UGLTA, 1998, 99 p.

- [3] Gerts E.F. *Otsenka tekhnologii lesopol'zovaniya na lesosechnykh rabotakh* [Assessment of the technology of forest use in logging operations]. Yekaterinburg: Uralsky GLTU, 2003, 120 p.
- [4] Vinogorov G.K. *Lesosechnye raboty* [Logging works]. Moscow: Lesnaya prom-st' [Timber industry], 1981, 272 p.
- [5] Baranovskiy V.A., Nekrasov R.M. *Sistemy mashin dlya lesozagotovok* [Forestry machine systems]. Moscow: Lesnaya prom-st' [Timber industry], 1977, 248 p.
- [6] Derbin V.M., Derbin M.V. *Tekhnologiya zagotovki drevesiny s sokhraneniem podrosta* [Wood harvesting technology with preservation of undergrowth]. *Lesnoy Zhurnal* (Russian Forestry Journal), 2015, v. 5, no. 1 (17), pp. 136–143.
- [7] Grigor'ev I.V., Zhukova A.I., Grigor'eva O.I., Ivanov A.V. *Sredoshchadyashchie tekhnologii razrabotki lesosek v usloviyakh severo-zapadnogo regiona Rossiyskoy Federatsii* [Medium-sparing technologies for the development of cutting areas in the north-western region of the Russian Federation]. St. Petersburg: SPbLTA, 2008, 174 p.
- [8] Piskunov M.A. *Ispol'zovanie metoda dinamicheskogo programmirovaniya dlya postroeniya skhem trelevochnykh volokov s uchetom raspredeleniya nesushchey sposobnosti svoystv grunta po ploshchadi lesoseki* [Using the dynamic programming method for constructing skidding trails schemes taking into account the distribution of the bearing capacity of soil properties over the area of the cutting area]. *Naukovedenie*, 2014, no. 2 (21), 9 p.
- [9] Salminen E. O., Gurov S.V., Bol'shakov B.M. *Razmeshchenie volokov na zabolochennykh lesosekakh* [Placement of trails on boggy logging areas]. *Lesnaya promyshlennost'* [Timber industry], 1988, no. 3, pp. 32–33.
- [10] Voronova A.M., Piskunov M.A. *Modelirovanie parametrov lesoseki dlya testirovaniya algoritma postroeniya sistemy transportnykh putey* [Modeling of cutting area parameters for testing the algorithm for constructing a system of transport routes]. *Uchenye zapiski Petrozavodskogo gosudarstvennogo universiteta. Ser. Tekhnicheskie nauki* [Scientific notes of Petrozavodsk State University. Ser. Technical Sciences], 2014, no. 6 (143), pp. 88–92.
- [11] Esipov B.A. *Metody issledovaniya operatsiy* [Operations research methods]. St. Petersburg: Lan', 2021, 304 p.
- [12] Paliy I.A. *Diskretnaya matematika* [Discrete Math]. Moscow: Eksmo, 2008, 352 p.
- [13] Picard N., Gazull L., Freycon V. Finding Optimal Routes for Harvesting Tree Access. *International J. of Forest Engineering*, 2006, v. 17, pp. 35–50.
- [14] Solgi A., Naghdi R., Zenner E.K., Tsiaras P.A., Hemmati V. Effects of ground-based skidding on soil physical properties in skid trail switchbacks. *Croatian J. of Forest Engineering*, 2019, no. 2, v. 40, pp. 341–350.
- [15] Grigor'ev I.V., Bylev A.B., Khakhina A.M., Nikiforova A.I. *Matematicheskaya model' uplotnyayushchego vozdeystviya dinamiki povorota lesozagotovitel'noy mashiny na bokovye polosy trelevochnogo voloka* [Mathematical model of the compacting effect of the dynamics of the turn of the logging machine on the side strips of the skidding trail]. *Uchenye zapiski Petrozavodskogo gosudarstvennogo universiteta*, 2012, no. 8–1 (129), pp. 72–77.
- [16] Hosseini A., Lindroos O., Wadbro E. A holistic optimization framework for forest machine trail network design accounting for multiple objectives and machines. *Canadian J. of Forest Research*, 2019, no. 2, v. 49, pp. 111–120.
- [17] Søvde N.E., Løkketangen A., Talbot B. Applicability of the GRASP metaheuristic method in designing machine trail layout. *Forest Science and Technology*, 2013, v. 9, iss. 4, pp. 187–194.
- [18] Abramov V.V. *Obosnovanie optimal'nykh parametrov raboty trelevochnykh sredstv na nesploshnykh vyrubkakh* [Substantiation of optimal parameters of operation of skidders in non-continuous felling areas]. *Lesotekhnicheskii Zhurnal* [Forestry journal], 2011, no. 1, pp. 78–83.
- [19] Kochegarov V.G., Bit Yu.A., Men'shikov V.N. *Tekhnologiya i mashiny lesosechnykh rabot* [Logging technology and machines]. Moscow: Lesnaya prom-st' [Timber industry], 1990, 392 p.
- [20] Kochnev A.M., Yushkov A.N. *Metodologiya vybora trelevochnykh volokov lesoseki* [Methodology for the selection of logging trails of the cutting area]. *Lesnoy Zhurnal* (Russian Forestry Journal), 2013, no. 3, pp. 65–70.
- [21] Syuney V.S. *Sravnienie tekhnologiy lesosechnykh rabot v lesozagotovitel'nykh kompaniyakh Respubliki Kareliya* [Comparison of logging technologies in logging companies of the Republic of Karelia]. Joensuu: Finland: Research Institute of Finnish Forests (Metla), 2008, 126 p.
- [22] Shirnin Yu.A., Rukomoynikov K.P., Rozhentsova N.I., Shirnin A.Yu. *Obosnovanie tekhnologicheskikh parametrov lesosek i rezhimov raboty lesozagotovitel'nykh mashin* [Substantiation of technological parameters of cutting areas and operating modes of harvesting machines]. Yoshkar-Ola: MarSTU, 2009, 172 p.
- [23] Rukomoynikov K.P., Tsarev E.M., Anisimov S.E. *Obosnovanie srednego rasstoyaniya trelevki lesomaterialov pri kompleksnom osvoenii lesnykh uchastkov* [Substantiation of the average distance of skidding timber in the complex development of forest areas]. *IVUZ Lesnoy Zhurnal*, 2017, no. 4, pp. 95–105.
- [24] Makarenko A.V. *Optimizatsiya razmeshcheniya seti trelevochnykh volokov na lesoseke* [Optimization of the placement of a network of skid trails in the logging area]. *Lesozagotovitel'noe proizvodstvo: problemy i resheniya* [Logging production: problems and solutions], Minsk, BSTU, April 26–28, 2017. Minsk: BSTU, 2017, pp. 233–237.
- [25] Makarenko A.V. *Modelirovanie i otsenka effektivnosti prokladki trelevochnykh volokov na lesoseke* [Modeling and Evaluation of the Efficiency of Laying Skid Trails in the Cutting Area]. *Lesnoy vestnik / Forestry Bulletin*, 2018, v. 22, no. 6, pp. 70–78.
- [26] Makarenko A.V., Redkin A.K., Bykovskiy M.A., Shadrin A.A. Using space images of forest territories for their statistical analysis. *AIP Conference Proceedings*, 2019, v. 2171, iss. 1, pp. 158–169.
- [27] Piskunov M.A. *Raspredelenie prokhodov forvardera i postroenie optimal'nykh skhem raspolozheniya trelevochnykh volokov na lesoseke* [Distribution of forwarder passes and construction of optimal layouts of skid trails in the logging area]. *Vestnik Povolzhskogo gosudarstvennogo tekhnologicheskogo universiteta. Seriya: Les. Ekologiya. Prirodopol'zovanie* [Bulletin of the Volga State Technological University. Series: Forest. Ecology. Nature management], 2017, no. 2 (34), pp. 37–48.

Author's information

Makarenko Andrey Vladimirovich — Cand. Sci. (Tech.), Associate Professor of the BMSTU (Mytishchi branch), makarenko@mgul.ac.ru

Received 01.07.2021.

Approved after review 23.09.2021.

Accepted for publication 06.12.2021.

ОСОБЕННОСТИ ПРОВЕДЕНИЯ КОСМИЧЕСКОГО ЭКСПЕРИМЕНТА «ДУБРАВА» С БОРТА РОССИЙСКОГО СЕГМЕНТА МКС

Ю.П. Батырев¹✉, Н.Г. Поярков¹, С.И. Чумаченко¹,
М.Ю. Беляев^{1, 2}, Э.Э. Сармин², А.М. Есаков², М.В. Черемисин^{1, 2}

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

²ПАО РКК «Энергия» им. С.П. Королева, 141070, Московская обл., г. Королев, ул. Ленина, д. 4А

batyrev@bmstu.ru

Приведен актуальный и перспективный набор инструментов для проведения космического эксперимента «Дубрава». Указаны особенности их использования для обеспечения максимального числа сеансов наблюдения выбранных лесных территорий.

Ключевые слова: мониторинг лесов, дистанционное зондирование Земли, космический эксперимент «Дубрава», Российский сегмент Международной космической станции, научная аппаратура, планирование сеансов

Ссылка для цитирования: Батырев Ю.П., Поярков Н.Г., Чумаченко С.И., Беляев М.Ю., Сармин Э.Э., Есаков А.М., Черемисин М.В. Особенности проведения космического эксперимента «Дубрава» с борта Российского сегмента МКС // Лесной вестник / Forestry Bulletin, 2022. Т. 26. № 1. С. 135–142.

DOI: 10.18698/2542-1468-2022-1-135-142

Начиная с 2016 г. на борту Международной космической станции (МКС) проводится космический эксперимент «Дубрава», постановщиком которого является Мытищинский филиал МГТУ им. Н.Э.Баумана (Московский государственный университет леса — на момент начала разработки программы эксперимента).

Цель работы

Цель работы — отработка методов инвентаризации лесов и лесохозяйственной деятельности, определения воздействий на лесной покров природных и техногенных факторов с борта МКС с использованием визуально-инструментального и спектрометрического мониторинга, а также гиперспектральной и инфракрасной аппаратуры на последующих этапах эксперимента после ее доставки на МКС.

Основными задачами космического эксперимента «Дубрава» являются следующие:

– отработка метода совместного визуально-инструментального наблюдения и спектрометрического измерения лесных экосистем в целях обеспечения создания специализированной гиперспектральной бортовой аппаратуры и разработки технологии гиперспектрального космического мониторинга лесов;

– определение наиболее значимых дешифровочных и спектральных признаков деградации лесных экосистем и отработка методов их измерения, в том числе для выявления и оценки:

а) площадей лесных насаждений, поврежденных вредителями и болезнями;

б) погибших насаждений и площадей, пострадавших в результате пожаров и других природных явлений;

в) площадей насаждений, поврежденных в результате антропогенных воздействий и неблагоприятной экологической ситуации;

г) некоторых таксационных характеристик лесных насаждений;

д) класса пожарной опасности лесов;
– отработка автоматизированных методов оценки площадей лесонасаждений, пострадавших в результате природных и антропогенных воздействий и неблагоприятной экологической ситуации;

– отработка методов дистанционного мониторинга для определения количественных и качественных оценок биоразнообразия лесов.

В задачи Мытищинского филиала МГТУ им. Н.Э.Баумана для космического эксперимента «Дубрава» входят следующие:

– разработка заявок на проведение работ по тематике космического эксперимента экипажами МКС и их передача в ЦУП-М (через РКК «Энергия»);

– осуществление научного обоснования цели и постановка задач эксперимента, а также методическое руководство при разработке программы и методики эксперимента и плана реализации его результатов;

– совместная с РКК «Энергия» разработка программно-методической документации и необходимые экипажу информационно-справочные материалы по эксперименту;

– разработка автоматизированных рабочих мест для планирования эксперимента и обработки полученных результатов;

- обработка аэрокосмических снимков лесных экосистем;
- моделирование развития экосистемы с использованием соответствующего программного обеспечения по результатам обработки информационных материалов, возвращенных на землю;
- участие в разработке материалов научных отчетов и методики взаимодействия экипажей МКС;
- организация проведения мероприятий по практическому использованию результатов выполненного космического эксперимента;
- выпуск экспресс-отчетов в качестве ответственного исполнителя;
- разработка и реализация мероприятий по совершенствованию существующей базы данных с учетом полученных результатов космического эксперимента.

Материалы и методы

Научная аппаратура, входящая в состав Российского сегмента МКС и используемая для космического эксперимента «Дубрава», включает в себя следующее оборудование [1–10]:

- 1) спектрометрическая аппаратура: фотоспектральная система (ФСС) с рабочим спектральным диапазоном 350...1050 нм;
- 2) видеоспектральная система (ВСС), используемая для проведения измерений характеристик отраженного излучения подстилающих поверхностей в диапазоне длин волн от 400 до 950 нм;
- 3) цифровые фотоаппараты Nikon D3X, Nikon D800E и Nikon D5 с телеобъективами SIGMA AF 300-800 F/5.6 и AF-S Nikkor 600mm f/4 с телеконверторами Nikon TC-15E и Nikon TC-20E. [1, 7, 9];
- 4) система ориентирования видеоспектральной аппаратуры — «СОВА», предназначенная для установки внутри МКС — на иллюминаторах ее

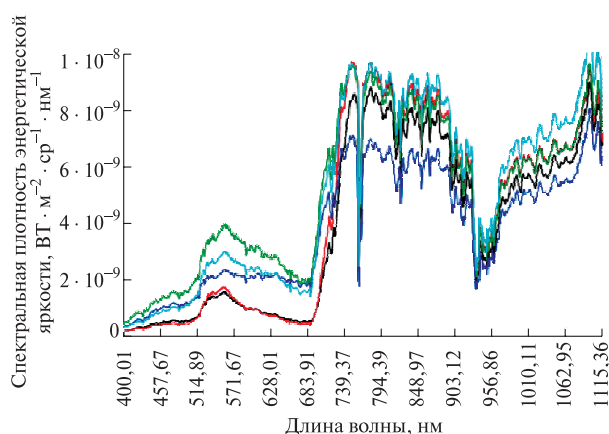


Рис. 1. Измерения растительного покрова, получаемые со спектрометрической аппаратуры фотоспектральной системы

Fig. 1. Admeasurements of the vegetation cover obtained from the spectrometric equipment of the photospectral system

служебного модуля и многоцелевого лабораторного модуля [6].

Фотоспектральная система была первым спектрометрическим прибором, используемым на Российском сегменте МКС. С его помощью измерен растительный покров (рис. 1) [2].

В настоящее время для съемки земной поверхности используется ВСС [1, 5, 11–13], характеристики которой обеспечивают максимальную расчетную разрешающую способность фотоизображения на местности порядка 10 м/пиксель, при этом охват территории одним снимком составляет 36,9 × 28,5 км [1].

Для классификации по спектральным сигнатурам можно использовать такие хорошо известные алгоритмы контролируемой и неконтролируемой классификации, как, например, метод *k*-средних и широкий диапазон метрик, включая расстояние Евклида, косинусную меру или метод максимального правдоподобия (Байеса).

Также спектрометрические данные позволяют рассчитывать разнообразные вегетационные индексы (NDVI, SAVI, MSAVI, EVI) [14–16].

Использование платформы наведения «СОВА» позволяет проводить съемку и спектрометрирование объектов исследования по трассе полета в зоне подстилающей поверхности при углах визирования от -30° до $+30^\circ$ градусов от надира. В результате по сравнению с использованием жестко закрепленных на кронштейне приборов в режиме автоматической съемки резко увеличивается доступная для наблюдений площадь земной поверхности, приближаясь к возможностям «ручной» съемки экипажем (причем автоматическую съемку можно проводить в любое время бортовых суток). Использование платформы наведения «СОВА» позволяет планировать съемку множества объектов в рамках одного сеанса. При этом появляется прикладная задача оптимального управления платформой наведения, которую можно решить с использованием методов оптимизации [17, 18].

На втором этапе космического эксперимента (с 2022 г.) предполагается использование в дополнение к существующей новой научной аппаратуры (НА) ДЗЗ–НА «Гиперспектрометр» (ручной прибор) [10] и НА «Радиометр инфракрасный высокого разрешения» [1], а также вспомогательного оборудования «СОВА» и СКПФ-У (система координатной привязки фотоизображений). Разработка данных приборов выполняется в рамках космического эксперимента «Ураган».

Результаты и обсуждение

Необходимо отметить, что обширные районы России недоступны для наблюдений с борта МКС. Но даже несмотря на это, потенциал стан-

ции как платформы для дистанционного зондирования весьма велик. В ходе оценки возможности планирования съемки было проведено моделирование условий наблюдения в 2021 г. нескольких объектов исследований космического эксперимента «Дубрава»: Государственного природного биосферного заповедника «Брянский лес» (Брянская обл.) и Теллермановского лесничества (Воронежская обл.) с учетом характеристик как имеющейся на борту аппаратуры, так и перспективных разрабатываемых ее образцов (рис. 2–5).

В силу влияния ограничений, действующих в отношении ориентирования аппаратуры наблюдения, заповедник «Брянский лес» не доступен для мониторинга с Российского сегмента МКС с использованием научной аппаратуры «Гиперспектрометр» и «Радиометр инфракрасный высокого разрешения». Тем не менее проведенные расчеты показали, что при использовании научной аппаратуры ВСС обеспечивается от 88 до 146 сеансов наблюдений в год, в зависимости от используемого типа наведения.

Из рис. 3 видно, что неравномерность распределения сеансов приводит к полному отсутствию возможности наблюдать объект на протяжении нескольких месяцев подряд. При этом имеются значительные периоды времени с возможностью ежесуточного мониторинга этого заповедника. Таким образом, с учетом данных, полученных с автоматических космических аппаратов, мониторинг данного объекта можно осуществлять с приемлемой частотой.

Теллермановское лесничество имеет значительно более выгодное географическое положение для наблюдения с МКС. Моделирование условий наблюдений Теллермановского лесничества показало, что вся научная аппаратура Российского сегмента МКС может быть задействована для его мониторинга.

Из рис. 4 видно, что в зависимости от типа используемой аппаратуры обеспечивается от 108 до 438 сеансов наблюдений. Имеется при этом неравномерность распределения сеансов: использование ВСС и научной аппаратуры «Гиперспектрометр» ограничивается освещенностью исследуемого объекта. Поскольку «Радиометр инфракрасный высокого разрешения» работает в среднем и дальнем диапазонах инфракрасного излучения, на него это ограничение не распространяется, поэтому возможно обеспечение ежесуточного мониторинга исследуемого объекта. Прогнозируемое количество наблюдений Теллермановского лесничества в 2021 г. по месяцам представлено на рис. 5.

Таким образом, можно сделать вывод, что мониторинг Теллермановского лесничества можно

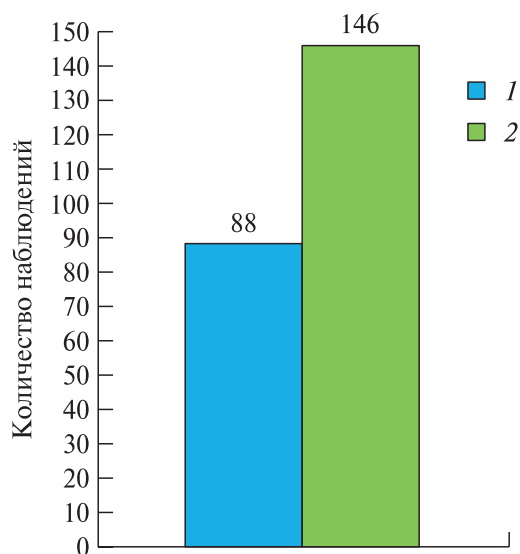


Рис. 2. Прогнозируемое количество наблюдений заповедника «Брянский лес» в 2021 г.: 1 — видеоспектральная система (ручное наведение); 2 — видеоспектральная система (автоматическое наведение)

Fig. 2. Predicted number of observations in the Bryansk Forest Reserve in 2021: 1 — video spectral system (manual guidance); 2 — video spectral system (automatic guidance)

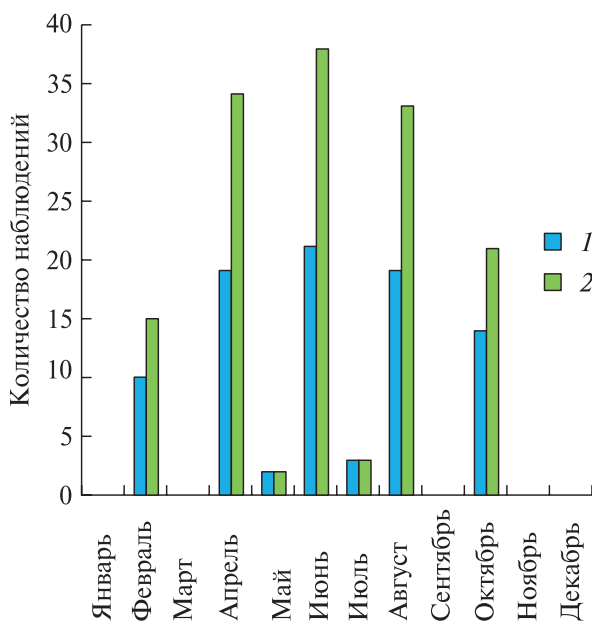


Рис. 3. Прогнозируемое количество наблюдений заповедника «Брянский лес» в 2021 г. по месяцам: 1 — видеоспектральная система (ручное наведение); 2 — видеоспектральная система (автоматическое наведение)

Fig. 3. Predicted number of observations in the Bryansk Forest Reserve in 2021 by months: 1 — video spectral system (manual guidance); 2 — video spectral system (automatic guidance)

осуществлять фактически в ежесуточном режиме, заполняя «пробелы» в данных, получаемых с автоматических аппаратов, информацией, получаемой со станции.

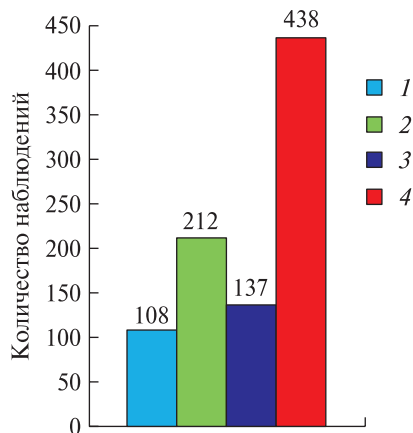


Рис. 4. Прогнозируемое количество наблюдений Теллермановского лесничества в 2021 г.: 1 — видеоспектральная система (ручное наведение); 2 — видеоспектральная система (автоматическое наведение); 3 — гиперспектрометр; 4 — радиометр инфракрасный высокого разрешения

Fig. 4. Predicted number of observations in the Tellermanovsky forestry in 2021: 1 — video spectral system (manual guidance); 2 — video spectral system (automatic guidance); 3 — hyperspectrometer; 4 — high resolution infrared radiometer

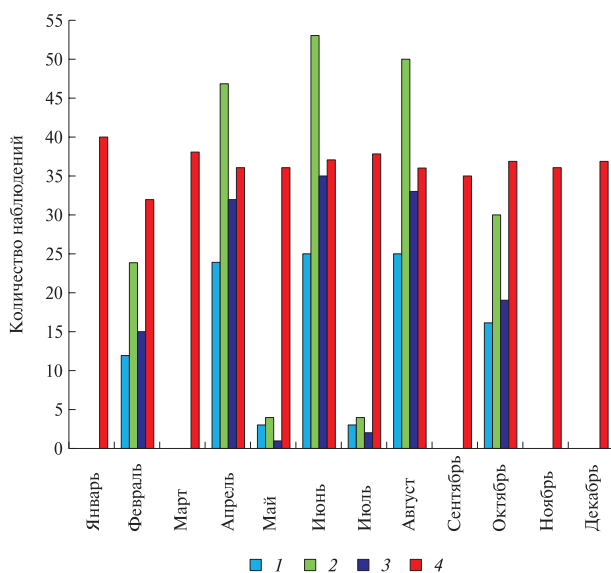


Рис. 5. Прогнозируемое количество наблюдений Теллермановского лесничества в 2021 г. по месяцам: 1 — видеоспектральная система (ручное наведение); 2 — видеоспектральная система (автоматическое наведение); 3 — гиперспектрометр; 4 — радиометр инфракрасный высокого разрешения

Fig. 5. Predicted number of observations in the Tellermanovsky forestry in 2021 by months: 1 — video spectral system (manual guidance); 2 — video spectral system (automatic guidance); 3 — hyperspectrometer; 4 — high resolution infrared radiometer

Учитывая изложенное, планирование сеансов наблюдения объектов исследования космического эксперимента «Дубрава» с учетом специфики станции, ограничений, влияющих на планиро-

вание сеансов съемок изучаемых объектов, особенностей имеющейся на борту и перспективной научной аппаратуры осуществляется следующим образом.

1. Составление списка потенциальных объектов съемки по заявкам участников космического эксперимента.

2. Моделирование баллистических условий и анализ доступности объектов с учетом естественных ограничений и исходных данных по объектам от участников эксперимента.

3. Ранжирование доступных объектов с присвоением большего приоритета объектам, на которых запланированы научные и полевые работы участников космического эксперимента.

4. Моделирование условий проведения сеансов и составление заявки с исходными данными для планирования недельного интервала съемок.

5. Окончательная фильтрация списка объектов в ходе формирования плана полета.

6. Разработка исходных данных для создания радиограммы.

7. Согласование радиограммы и ее отправка на борт.

8. Экспресс-анализ результатов съемки, при необходимости — изменение приоритетности объектов наблюдений для использования при составлении последующей заявки на проведение съемок.

Алгоритм экспресс-обработки данных научной аппаратуры «Гиперспектрометр» для оперативного планирования космического эксперимента «Дубрава», разработанный в составе методического обеспечения, можно представить в виде обобщенной блок-схемы/сценария для его оперативного планирования, в виде отдельной процедуры ПО ВУМ во взаимодействии с геоинформационной системой (рис. 6).

Для формирования базы геопространственных данных космического эксперимента «Дубрава» и проведения анализа результатов дистанционного зондирования Земли была выбрана геоинформационная система Quantum GIS (QGIS). Это — свободная кроссплатформенная геоинформационная система для создания, редактирования, визуализации, анализа и публикации геопространственной информации с открытым исходным кодом.

Эффективное выполнение космических экспериментов на МКС предусматривает разработку и использование специального методического обеспечения для всех этапов космического эксперимента.

Выводы

С учетом высокой стоимости используемых для выполнения космического эксперимента «Дубрава» ресурсов и его важности для страны и лесной науки и особенностей проведения экспе-

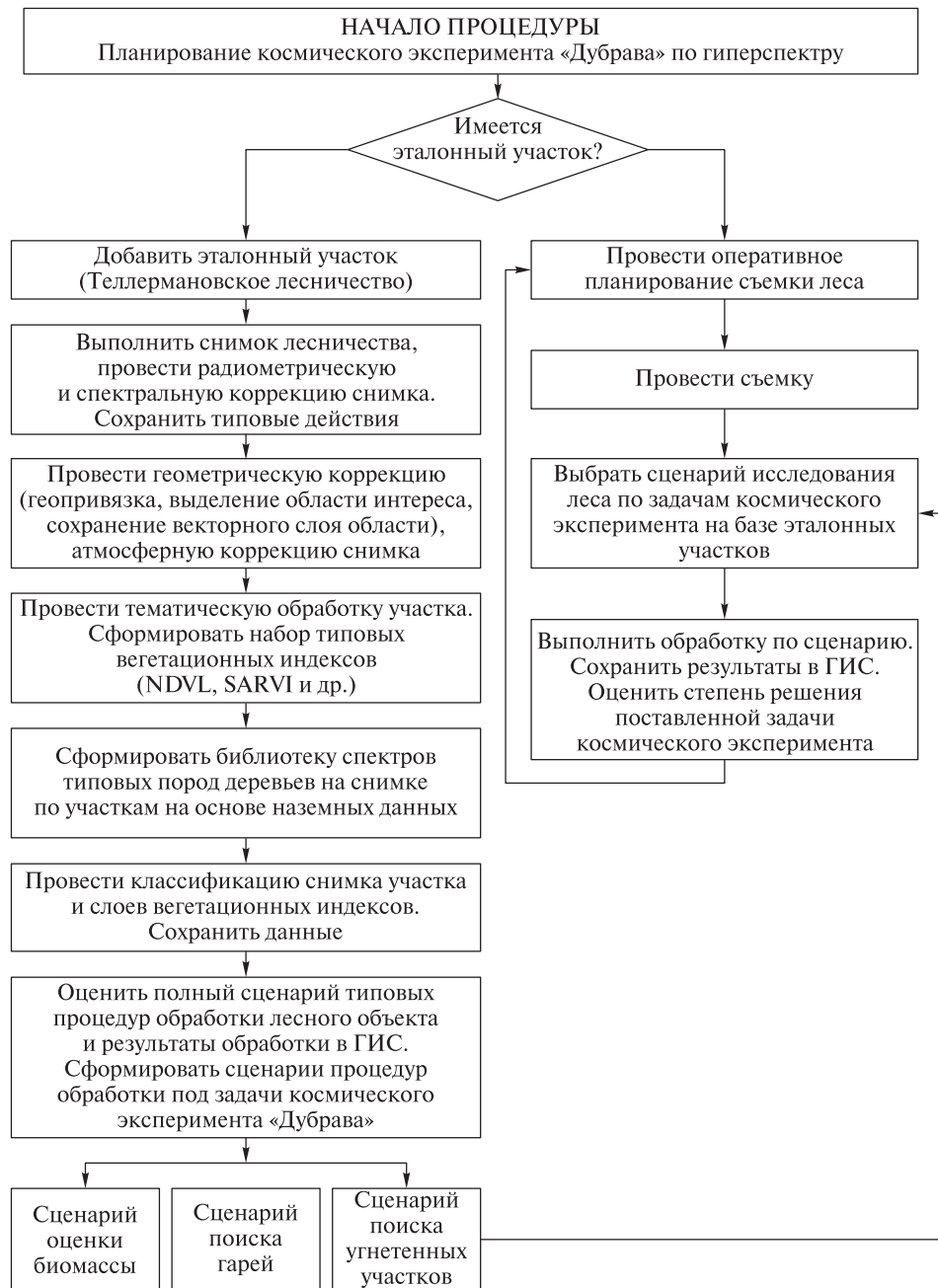


Рис. 6. Алгоритм экспресс-обработки данных научной аппаратуры «Гиперспектрометр» для оперативного планирования космического эксперимента «Дубрава»

Fig. 6. Express processing algorithm of data from scientific equipment «Hyperspectrometer» for operational planning of the space experiment «Dubrava»

римента разработано методическое обеспечение, позволяющее рационально планировать и, при необходимости, оперативно изменять запланированные сеансы наблюдений. Кроме того, созданное методическое обеспечение позволяет в процессе полета и оперативного планирования полетных суток оперативно оценивать результаты выполненных сеансов наблюдения, что обеспечивается использованием информации от наземных тестовых объектов и экспресс-анализом получаемых в космическом эксперименте данных.

Проведение в полете экспресс-обработки и анализа данных эксперимента позволяет оценить вероятность достижения целей космического эксперимента, поставленных в данном сеансе, и при необходимости оперативно принять решение о повторении наблюдения исследуемого объекта либо осуществить переход для изучения других объектов программы космического эксперимента.

Методическое обеспечение содержит созданные методики, которые предназначены для следующих процедур:

- выбора объектов исследования в космическом эксперименте «Дубрава»;
- планирования сеансов наблюдения;
- наблюдения объектов несколькими приборами;
- географической привязки получаемых данных в космическом эксперименте «Дубрава»;
- экспресс-обработки получаемой с борта информации для целей оперативного планирования наблюдений объектов космического эксперимента «Дубрава» в ходе полета Российского сегмента МКС;
- оперативной обработки телеметрической информации с целью коррекции программы съемок в ходе выполнения космического эксперимента «Дубрава».

Разработанное методическое обеспечение позволяет эффективно решать указанные задачи в ходе проведения космического эксперимента «Дубрава» на Российском сегменте МКС.

Список литературы

- [1] Belyaev M.Yu., Cheremisin M.V., Esakov A.M. Integrated monitoring of earth surface from onboard ISS Russian segment // 69th International Astronautical Congress (IAC), Bremen, Germany, 1–5 October 2018. International Astronautical Federation (IAF). IAC-18, 2018, simp. B.3, session 3, p. x46752.
- [2] Беляев М.Ю., Беляев Б.И., Катковский Л.В., Крот Ю.А., Роговец А.В., Сармин Э.Э., Хвалей С.В. Некоторые результаты летных испытаний фотоспектральной системы ФСС // Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса, 2011. Т. 8. № 2. С. 264–272.
- [3] Беляев Б.И., Беляев М.Ю., Десинов Л.В., Роговец А.В., Рязанцев В.В., Сармин Э.Э., Сосенко В.А. Летная отработка исследовательской аппаратуры «Фотоспектральная система» на борту Российского сегмента Международной космической станции // Космическая техника и технологии. 2014. № 1. С. 22–28.
- [4] Беляев Б.И., Беляев М.Ю., Десинов Л.В., Катковский Л.В., Крот Ю.А., Сармин Э.Э. Результаты испытаний фотоспектральной системы на МКС // Исследование Земли из космоса, 2014. № 6. С. 27–39. DOI: 10.7868/S0205961414060013
- [5] Беляев Б.И., Беляев М.Ю., Сармин Э.Э., Гусев В.Ф., Десинов Л.В., Иванов В.А., Крот Ю.А., Мартинов А.О., Рязанцев В.В., Сосенко В.А. Устройство и летные испытания научной аппаратуры «Видеоспектральная система» на борту российского сегмента МКС // Космическая техника и технологии, 2016. № 2. С. 70–79.
- [6] Беляев Б.И., Беляев М.Ю., Боровихин П.А., Голубев Ю.В., Ломако А.А., Рязанцев В.В., Сармин Э.Э., Сосенко В.А. Система автоматической ориентации научной аппаратуры в эксперименте «Ураган» на Международной космической станции // Космическая техника и технологии. 2018. № 4(23). С. 70–80.
- [7] Беляев М.Ю., Десинов Л.В., Караваев Д.Ю., Сармин Э.Э., Юрина О.А. Аппаратура и программно-математическое обеспечение для изучения земной поверхности с борта российского сегмента Международной космической станции по программе «Ураган» // Космонавтика и ракетостроение, 2015. № 1. С. 63–70.
- [8] Беляев М.Ю., Десинов Л.В., Караваев Д.Ю., Сармин Э.Э., Юрина О.А. Изучение с борта российского сегмента Международной космической станции в рамках программы «Ураган» катастрофических явлений, вызывающих экологические проблемы // Космонавтика и ракетостроение, 2015. № 1. С. 71–79.
- [9] Беляев М.Ю., Десинов Л.В., Караваев Д.Ю., Легостаев В.П., Рязанцев В.В., Юрина О.А. Особенности проведения и использования результатов съемки земной поверхности, выполняемой экипажами российского сегмента МКС // Космическая техника и технологии, 2015. № 1. С. 17–30.
- [10] Беляев М.Ю., Коротков Д.М., Кузьмичев А.С., Николенко А.А., Черемисин М.В., Шибанов С.Ю., Щербаков М.В., Щербина Г.А. Дистанционное зондирование Земли с Российского сегмента МКС с использованием перспективной научной аппаратуры гиперспектрометр // Материалы 17-й Всерос. открытой конф. «Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса». Москва, 11–15 ноября 2019 г. М.: ИКИ РАН, 2019. С. 508.
- [11] Беляев М.Ю., Беляев Б.И., Иванов Д.А., Катковский Л.В., Мартинов А.О., Рязанцев В.В., Сармин Э.Э., Силюк О.О., Шукайло В.Г. Атмосферная коррекция данных, регистрируемых с борта МКС. Ч. I. Методика для спектров // Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса, 2018. Т. 15. № 6. С. 213–222. DOI:10.21046/2070-7401-2018-15-6-213-222
- [12] Беляев М.Ю., Беляев Б.И., Иванов Д.А., Катковский Л.В., Мартинов А.О., Рязанцев В.В., Сармин Э.Э., Силюк О.О., Шукайло В.Г. Атмосферная коррекция данных, регистрируемых с борта МКС. Часть II. Методика для изображений и результаты применения // Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса, 2018. Т. 15. № 6. С. 223–234. DOI:10.21046/2070-7401-2018-15-6-223-234
- [13] Беляев М.Ю., Беляев Б.И., Катковский Л.В., Мартинов А.О., Сармин Э.Э., Силюк О.О., Чумаков А.В. Классификация водных объектов по спектрам, измеренным с борта МКС в космическом эксперименте «Ураган» // Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса. 2019. Т. 16. № 6. С. 201–208. DOI: 10.21046/2070-7401-2019-16-6-201-208.
- [14] Малышева Н.В. Автоматизированное дешифрирование аэрокосмических изображений лесных насаждений. М.: МГУЛ, 2012. 154 с.
- [15] Rouse J.W., Haas R.H., Schell J.A., Deering D.W. Monitoring vegetation systems in the great plains with ERTS // Third ERTS Symp., NASA SP-351, Washington DC, 10–14 December, 1973, v. 1, pp. 309–317.
- [16] Huete A., Miura T., Didan K., Rodriguez E.P. Overview of the radiometric and biophysical performance of the MODIS vegetation indices // Remote Sensing of Environment, v. 83, № 1–2, 2002, pp. 195–213.
- [17] Беляев М.Ю. Научные эксперименты на космических кораблях и орбитальных станциях. М.: Машиностроение, 1984. 264 с.
- [18] Беляев М.Ю. Проблемы управления при проведении экспериментов на Международной космической станции // Проблемы управления, обработки и передачи информации (УОПИ-2018) / Под ред. А.А. Львова, М.С. Светлова. Саратов: Изд-во Саратовского государственного технического университета имени Гагарина Ю.А., 2019. С. 7–16.

Сведения об авторах

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

Поляков Николай Геннадьевич — канд. техн. наук, доцент, декан Космического факультета МГТУ им. Н.Э. Баумана (Мытищинский филиал), poarkov@mgul.ac.ru

Чумаченко Сергей Иванович — д-р биол. наук, профессор МГТУ им. Н.Э. Баумана (Мытищинский филиал), chumachenko@mgul.ac.ru

Беляев Михаил Юрьевич — д-р техн. наук, профессор МГТУ им. Н.Э. Баумана (Мытищинский филиал), mikhail.belyaev@rsce.ru

Сармин Эрик Эдуардович — инженер-программист, ПАО РКК «Энергия», Erik.Sarmin@rsce.ru

Есаков Алексей Михайлович — инженер, ПАО РКК «Энергия», alexesakov@gmail.com

Черемисин Максим Владимирович — канд. техн. наук, ст. науч. сотр., ПАО РКК «Энергия», Maksim.Cheremisin@rsce.ru

Поступила в редакцию 16.08.2021.

Одобрено после рецензирования 04.10.2021.

Принята к публикации 06.12.2021.

FEATURES OF CONDUCTING «DUBRAVA» SPACE EXPERIMENT ON BOARD RUSSIAN SEGMENT OF ISS

Yu.P. Batyrev¹✉, **N.G. Poyarkov**¹, **S.I. Chumachenko**¹, **M. Yu. Belyaev**^{1,2}, **E.E. Sarmin**², **A.M. Esakov**², **M.V. Cheremisin**^{1,2}

¹BMSTU (Mytishchi branch), 1, 1st Institut'skaya st., 141005, Mytishchi, Moscow reg., Russia

²S.P. Korolev Rocket and Space Corporation Energia, 4a, Lenin st., 141070, Korolev, Moscow reg., Russia

batyrev@bmstu.ru

The article provides an up-to-date and promising set of tools for conducting «Dubrava» space experiment and features of their usage to maximize number of observation sessions for selected forest areas.

Keywords: monitoring of forests, remote sensing, space experiment «Dubrava», RS ISS, scientific equipment, session planning

Suggested citation: Batyrev Yu.P., Poyarkov N.G., Chumachenko S.I., Belyaev M.Yu., Sarmin E.E., Esakov A.M., Cheremisin M.V. *Osobennosti provedeniya kosmicheskogo eksperimenta «Dubrava» s borta Rossiyskogo segmenta MKS* [Features of conducting «Dubrava» space experiment on board Russian segment of ISS]. *Lesnoy vestnik / Forestry Bulletin*, 2022, vol. 26, no. 1, pp. 135–142. DOI: 10.18698/2542-1468-2022-1-135-142

References

- [1] Belyaev M.Yu., Cheremisin M.V., Esakov A.M. Integrated monitoring of earth surface from onboard ISS Russian segment. 69th International Astronautical Congress (IAC), Bremen, Germany, 1–5 October 2018. International Astronautical Federation (IAF). IAC-18, 2018, simp. B.3, session 3, p. x46752.
- [2] Belyaev M.Yu., Belyaev B.I., Katkovskiy L.V., Krot Yu.A., Rogovets A.V., Sarmin E.E., Khvalev S.V. *Nekotorye rezul'taty letnykh ispytaniy fotospektral'noy sistemy FSS* [Some results of flight tests of the FSS photospectral system]. *Sovremennyye problemy distantsionnogo zondirovaniya Zemli iz kosmosa* [Modern problems of remote sensing of the Earth from space], 2011, t. 8, no. 2, pp. 264–272.
- [3] Belyaev B.I., Belyaev M.Yu., Desinov L.V., Rogovets A.V., Ryazantsev V.V., Sarmin E.E., Sosenko V.A. *Letnaya otrabotka issledovatel'skoy apparatury «Fotospektral'naya sistema» na bortu Rossiyskogo segmenta Mezhdunarodnoy kosmicheskoy stantsii* [Flight testing of the research equipment «Photospectral system» on board the Russian segment of the International Space Station]. *Kosmicheskaya tekhnika i tekhnologii* [Space technology and technologies], 2014, no. 1, pp. 22–28.
- [4] Belyaev B.I., Belyaev M.Yu., Desinov L.V., Katkovskiy L.V., Krot Yu.A., Sarmin E.E. *Rezul'taty ispytaniy fotospektral'noy sistemy na MKS* [Results of tests of the photospectral system on the ISS]. *Issledovanie Zemli iz kosmosa* [Earth Research from Space], 2014, no. 6, pp. 27–39. DOI: 10.7868 / S0205961414060013
- [5] Belyaev B.I., Belyaev M.Yu., Sarmin E.E., Gusev V.F., Desinov L.V., Ivanov V.A., Krot Yu.A., Martinov A.O., Ryazantsev V.V., Sosenko V.A. *Ustroystvo i letnye ispytaniya nauchnoy apparatury «Videospektral'naya sistema» na bortu rossiyskogo segmenta MKS* [The device and flight tests of the scientific equipment «Videospectral system» on board the Russian segment of the ISS]. *[Space technology and technologies]*, 2016, no. 2, pp. 70–79.
- [6] Belyaev B.I., Belyaev M.Yu., Borovikhin P.A., Golubev Yu.V., Lomako A.A., Ryazantsev V.V., Sarmin E.E., Sosenko V.A. *Sistema avtomaticheskoy orientatsii nauchnoy apparatury v eksperimente «Uragan» na Mezhdunarodnoy kosmicheskoy stantsii* [System of automatic orientation of scientific equipment in the experiment «Hurricane» at the International Space Station]. *Kosmicheskaya tekhnika i tekhnologii* [Space technology and technology], 2018, no. 4 (23), pp. 70–80.

- [7] Belyaev M.Yu., Desinov L.V., Karavaev D.Yu., Sarmin E.E., Yurina O.A. *Apparatura i programmno-matematicheskoe obespechenie dlya izucheniya zemnoy poverkhnosti s borta rossiyskogo segmenta Mezhdunarodnoy kosmicheskoy stantsii po programme «Uragan»* [Hardware and software for studying the earth's surface from the Russian segment of the International Space Station under the Uragan program]. *Kosmonavtika i raketostroenie* [Cosmonautics and Rocket Engineering], 2015, no. 1, pp. 63–70.
- [8] Belyaev M.Yu., Desinov L.V., Karavaev D.Yu., Sarmin E.E., Yurina O.A. *Izuchenie s borta rossiyskogo segmenta Mezhdunarodnoy kosmicheskoy stantsii v ramkakh programmy «Uragan» katastroficheskikh yavleniy, vyzvyvayushchikh ekologicheskie problemy* [Study of catastrophic phenomena causing environmental problems from the Russian segment of the International Space Station within the framework of the Hurricane program]. *Kosmonavtika i raketostroenie* [Cosmonautics and Rocket Engineering], 2015, no. 1, pp. 71–79.
- [9] Belyaev M.Yu., Desinov L.V., Karavaev D.Yu., Legostaev V.P., Ryazantsev V.V., Yurina O.A. *Osobennosti provedeniya i ispol'zovaniya rezul'tatov s'emki zemnoy poverkhnosti, vypolnyaemoy ekipazhami rossiyskogo segmenta MKS* [Peculiarities of conducting and using the results of surveying the earth's surface performed by the crews of the ISS Russian segment]. *Kosmicheskaya tekhnika i tekhnologii* [Space technology and technologies], 2015, no. 1, pp. 17–30.
- [10] Belyaev M.Yu., Korotkov D.M., Kuz'michev A.S., Nikolenko A.A., Cheremisin M.V., Shibanov S.Yu., Shcherbakov M.V., Shcherbina G.A. *Distsionnoe zondirovanie Zemli s Rossiyskogo segmenta MKS s ispol'zovaniem perspektivnoy nauchnoy apparatury giperspektrometr* [Remote sensing of the Earth from the Russian segment of the ISS using the promising scientific equipment hyperspectrometer]. *Materialy 17-y Vserossiyskoy otkrytoy konferentsii «Sovremennye problemy distantsionnogo zondirovaniya Zemli iz kosmosa»* [Materials of the 17th All-Russian open conference «Modern problems of remote sensing of the Earth from space»]. Moscow: IKI RAN, 2019, p. 508.
- [11] Belyaev M.Yu., Belyaev B.I., Ivanov D.A., Katkovskiy L.V., Martinov A.O., Ryazantsev V.V., Sarmin E.E., Silyuk O.O., Shukaylo V.G. *Atmosfernaya korrektsiya dannykh, registriruemyykh s borta MKS. Chast' I. Metodika dlya spektrov* [Atmospheric correction of data recorded from the ISS. Part I. Technique for spectra]. *Sovremennye problemy distantsionnogo zondirovaniya Zemli iz kosmosa* [Modern problems of remote sensing of the Earth from space], 2018, v. 15, no. 6, pp. 213–222. DOI: 10.21046 / 2070-7401-2018-15-6-213-222
- [12] Belyaev M.Yu., Belyaev B.I., Ivanov D.A., Katkovskiy L.V., Martinov A.O., Ryazantsev V.V., Sarmin E.E., Silyuk O.O., Shukaylo V.G. *Atmosfernaya korrektsiya dannykh, registriruemyykh s borta MKS. Chast' II. Metodika dlya izobrazheniy i rezul'taty primeneniya* [Atmospheric correction of data recorded from the ISS. Part II. Technique for images and application results]. *Sovremennye problemy distantsionnogo zondirovaniya Zemli iz kosmosa* [Modern problems of remote sensing of the Earth from space], 2018, v. 15, no. 6, pp. 223–234. DOI: 10.21046 / 2070-7401-2018-15-6-223-234
- [13] Belyaev M.Yu., Belyaev B.I., Katkovskiy L.V., Martinov A.O., Sarmin E.E., Silyuk O.O., Chumakov A.V. *Klassifikatsiya vodnykh ob'ektov po spektram, izmerennym s borta MKS v kosmicheskoy eksperimente «Uragan»* [Classification of water bodies by spectra measured from the ISS in the Uragan space experiment]. *Sovremennye problemy distantsionnogo zondirovaniya Zemli iz kosmosa* [Modern problems of remote sensing of the Earth from space], 2019, v. 16, no. 6, pp. 201–208. DOI: 10.21046 / 2070-7401-2019-16-6-201-208.
- [14] Malysheva N.V. *Avtomatizirovanoe deshifirovanie aerokosmicheskikh izobrazheniy lesnykh nasazhdeniy* [Automated interpretation of aerospace images of forest stands]. Moscow: MGUL, 2012, 154 p.
- [15] Rouse J.W., Haas R.H., Schell J.A., Deering D.W. *Monitoring vegetation systems in the great plains with ERTS // Third ERTS Symp., NASA SP-351, Washington DC, 10–14 December, 1973, v. 1, pp. 309–317.*
- [16] Huete A., Miura T., Didan K., Rodriguez E.P. *Overview of the radiometric and biophysical performance of the MODIS vegetation indices // Remote Sensing of Environment, v. 83, № 1–2, 2002, pp. 195–213.*
- [17] Belyaev M.Yu. *Nauchnye eksperimenty na kosmicheskikh korablyakh i orbital'nykh stantsiyakh* [Scientific experiments on spaceships and orbital stations]. Moscow: Mashinostroenie, 1984, 264 p.
- [18] Belyaev M.Yu. *Nauchnye eksperimenty na kosmicheskikh korablyakh i orbital'nykh stantsiyakh* [Control problems during experiments on the International Space Station]. *Problemy upravleniya, obrabotki i peredachi informatsii (UOPI-2018)* [Control problems, processing and transmission of information (UOPI-2018)]. Ed. A.A. Lvov, M.S. Svetlov. Saratov: Yuri Gagarin Saratov State Technical University, 2019, pp. 7–16.

Authors' information

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

Poyarkov Nikolay Gennad'evich — Cand. Sci. (Tech.), Associate Professor, Dean of the Space Faculty of the BMSTU (Mytishchi branch), poyarkov@mgul.ac.ru

Chumachenko Sergey Ivanovich — Dr. Sci. (Biology), Professor of the BMSTU (Mytishchi branch), chumachenko@mgul.ac.ru

Belyaev Mikhail Yurievich — Dr. Sci. (Tech.), Professor of the BMSTU (Mytishchi branch), mikhael.belyaev@rsce.ru

Sarmin Eric Eduardovich — Software engineer of RSC Energia, Erik.Sarmin@rsce.ru

Esakov Aleksey Mikhaylovich — Engineer of RSC Energia, alexesakov@gmail.com

Cheremisin Maksim Vladimirovich — Senior Researcher, RSC Energia, Maksim.Cheremisin@rsce.ru

Received 16.08.2021.

Approved after review 04.10.2021.

Accepted for publication 06.12.2021.

Вклад авторов: все авторы в равной доле участвовали в написании статьи

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов

Authors' Contribution: All authors contributed equally to the writing of the article

The authors declare that there is no conflict of interest

КЛАСТЕРНЫЙ АНАЛИЗ ЭКСПЕРТНОЙ ИНФОРМАЦИИ НА ОСНОВЕ Z-ЧИСЕЛ

О.М. Полещук

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

Разработана модель кластерного анализа экспертных критериев оценки качественных (нечисловых) характеристик с определенным уровнем надежности. Для формализации индивидуальных критериев использованы Z-числа, представляющие собой упорядоченные пары обычных нечетких чисел. Первое число является оценкой характеристики, а второе число ее надежностью. Определены агрегирующие показатели для Z-чисел и их первых компонент на основе α -уровневых множеств нечетких чисел. Агрегирующие показатели использованы для определения индексов попарного различия экспертных критериев и индексов попарного сходства. На основе индексов попарного сходства экспертных критериев определено нечеткое бинарное отношение сходства на множестве всех критериев. Нечеткое отношение подобия на множестве критериев построено с использованием транзитивного замыкания нечеткого отношения сходства. Построенное нечеткое отношение подобия разложено на отношения эквивалентности. В зависимости от уровней значений нечеткого отношения подобия все индивидуальные экспертные критерии разбиты на кластеры подобных критериев с α -уровнями надежности.

Ключевые слова: Z-число, Z-информация, надежность

Ссылка для цитирования: Полещук О.М. Кластерный анализ экспертной информации на основе Z-чисел // Лесной вестник / Forestry Bulletin, 2022. Т. 26. № 1. С. 143–148. DOI: 10.18698/2542-1468-2022-1-143-148

Метод, используемый для группировки подобных данных в кластеры, называется кластеризацией. Кластерный анализ индивидуальных экспертных критериев оценки нечисловых характеристик является необходимым математическим аппаратом для решения задач по выявлению подобных критериев, формированию экспертных комиссий, построению группового экспертного критерия и многих других задач с активным участием экспертов.

С развитием теории нечетких множеств появилась возможность формализации экспертных критериев на основе лингвистических переменных и полных ортогональных семантических пространств [1–7].

Для кластеризации нечетких данных часто используется хорошо известный алгоритм нечеткой кластеризации c -средних (c -means) [8]. В работе [9] этот алгоритм комбинируется с генетическим алгоритмом. В работах [10–11] алгоритм нечеткой кластеризации c -средних улучшен за счет минимизации целевой функции с использованием алгоритма оптимизации роя частиц [12]. Использование алгоритма оптимизации роя частиц для нечеткой информации обсуждается в работах [13–16].

Для решения практических задач большой интерес представляет кластерный анализ экспертной информации на основе нечетких отношений и особенно транзитивных нечетких отношений [17, 18].

Транзитивные отношения обладают множеством удобных свойств и предоставляют возможность разбивать множество на непересекающиеся классы (кластеры) — подобия. Однако реальные результаты экспертных опросов зачастую не обладают свойством транзитивности.

Для решения практических задач нечеткого кластерного анализа экспертной информации заслуживает внимания преобразование исходного нетранзитивного отношения в транзитивное. Такое преобразование обеспечивается операцией транзитивного замыкания [19–21], в частности, предложена [19] процедура кластеризации, основанная на транзитивном замыкании отношения подобия, полученного в результате опроса экспертов. Кластерный анализ в условиях нечеткой информации и традиционный кластерный анализ обсуждаются в [22–25].

После определения Z-числа в 2011 г. проф. Лотфи Заде [26], возникла необходимость в разработке методов кластерного анализа Z-информации (информации с Z-числами).

Алгоритм нечеткой кластеризации объединяет преобразование Z-чисел в нечеткие числа и алгоритм нечеткой кластеризации c -средних [27]. В работе [28] проблема бимодальной кластеризации сформулирована в терминах построения Z-кластеров, а также в ней исследованы основы бимодальной кластеризации и предложен комплексный метод решения. Кроме того, предложен подход, основанный на доказанной в [29] связи между нечеткими множествами второго типа и Z-числами.

Учитывая недостаточность существующих методов кластерного анализа Z -информации, необходима их дальнейшая разработка.

Цель работы

Цель работы — разработка метода кластеризации экспертных критериев оценки качественных характеристик в условиях Z -информации, представленной полными ортогональными семантическими пространствами с определенным уровнем надежности. Разработка такого метода позволит уменьшить субъективный фактор и риски ошибок в задачах принятия решений.

Основные понятия и определения

Лингвистической переменной называется пятерка [2] — $\{X, T(X), U, V, S\}$,

где X — название переменной;

$T(X) = \{X_i, i = \overline{1, m}\}$ — терм-множество переменной X ;

V — синтаксическое правило, порождающее названия значений лингвистической переменной X ;

S — семантическое правило, которое ставит в соответствие каждой нечеткой переменной с названием из $T(X)$ нечеткое подмножество универсального множества U .

Семантическим пространством называется лингвистическая переменная с фиксированным терм-множеством [2].

Лингвистические переменные, функции принадлежности $\mu_l(x)$, $l = \overline{1, m}$ которых удовлетворяют сформулированным ниже требованиям, получили название полных ортогональных семантических пространств [5].

1. Для каждого понятия X_l , $l = \overline{1, m}$ существует $\widehat{U}_l \neq \emptyset$, где $\widehat{U}_l = \{x \in U : \mu_l(x) = 1\}$ — точка или отрезок.

2. Пусть $\widehat{U}_l = \{x \in U : \mu_l(x) = 1\}$, тогда $\mu_l(x)$, $l = \overline{1, m}$ не убывает слева от \widehat{U}_l и не возрастает справа от \widehat{U}_l .

3. $\mu_l(x)$, $l = \overline{1, m}$ имеют не более двух точек разрыва первого рода.

4. Для каждого $x \in U$ $\sum_{l=1}^m \mu_l(x) = 1$.

Z -числом называется упорядоченная пара нечетких чисел $Z = (\tilde{A}, \tilde{R})$, где \tilde{A} — нечеткое число с функцией принадлежности $\mu_A(x) : X \rightarrow [0, 1]$, которое является нечетким расширением значений действительной переменной X , а \tilde{R} — нечеткое число с функцией принадлежности $\mu_R(x) : [0, 1] \rightarrow [0, 1]$, которое является нечетким расширением значений меры надежности первой компоненты \tilde{A} , такой, как достоверность, уровень доверия, вероятность, возможность [26].

Для нечеткого числа

$$\tilde{B} = (b_1, b_2, b_L, b_R)$$

определен агрегирующий отрезок $[\beta_1, \beta_2]$ и агрегирующий показатель ϑ [30]:

$$\beta_1 = b_1 - \frac{1}{6}b_L, \quad \beta_2 = b_2 + \frac{1}{6}b_R, \quad (1)$$

$$\vartheta = \frac{b_1 + b_2}{2} + \frac{(b_R - b_L)}{12}. \quad (2)$$

Определим, используя выражения (1) и (2), агрегирующий отрезок $[\beta_Z^1, \beta_Z^2]$ и агрегирующий показатель β_Z для Z -числа

$$Z = (\tilde{A}, \tilde{R}), \quad \tilde{A} = (a_1, a_2, a_L, a_R), \quad \tilde{R} = (r_1, r_2, r_L, r_R):$$

$$\beta_Z^1 = r_1 \left(a_1 - \frac{1}{6}a_L \right) - r_L \left(\frac{1}{6}a_1 - \frac{1}{12}a_L \right),$$

$$\beta_Z^2 = r_2 \left(a_2 + \frac{1}{6}a_R \right) + r_R \left(\frac{1}{6}a_2 + \frac{1}{12}a_R \right),$$

$$\beta_Z = \frac{1}{2} \left(r_1 \left(a_1 - \frac{1}{6}a_L \right) - r_L \left(\frac{1}{6}a_1 - \frac{1}{12}a_L \right) \right) + \frac{1}{2} \left(r_2 \left(a_2 + \frac{1}{6}a_R \right) + r_R \left(\frac{1}{6}a_2 + \frac{1}{12}a_R \right) \right). \quad (3)$$

Определим расстояние между Z -числами $Z_1 = (\tilde{A}_1, \tilde{R}_1)$, $Z_2 = (\tilde{A}_2, \tilde{R}_2)$ с агрегирующими показателями β_{Z_1}, β_{Z_2} и агрегирующими показателями ϑ_1, ϑ_2 чисел \tilde{A}_1, \tilde{A}_2 :

$$d(Z_1, Z_2) = \sqrt{(\beta_{Z_1} - \beta_{Z_2})^2 + (\vartheta_1 - \vartheta_2)^2}. \quad (4)$$

Расстояние между Z -числами в следующем разделе будет использоваться для определения индексов различия и сходства экспертных критериев оценки качественных характеристик.

Постановка задачи и ее решение

Предположим, что n экспертов оценивают некоторую качественную (нечисловую) характеристику и используют шкалу с лингвистическими уровнями (значениями) B_j , $l = \overline{1, m}$.

В целях уменьшения рисков ошибок при принятии решений на основе поступающей от экспертов информации эксперты предоставляют свои данные с определенными уровнями надежности (уверенности), а для оценки этих уровней используют шкалу с лингвистическими значениями R_j , $j = \overline{1, k}$.

Для формализации используемых шкал используются методы на основе полных ортогональных семантических пространств [7, 23].

Пусть результаты оценки i -го эксперта представлены полным ортогональным семантическим пространством $B_i, i = \overline{1, n}$ с нечеткими значениями $\tilde{B}_{il} = (b_{il}^1, b_{il}^2, b_{il}^L, b_{il}^R), l = \overline{1, m}, i = \overline{1, n}$. Шкала для оценки надежности результатов формализуется также в виде полного ортогонального семантического пространства R с нечеткими значениями $\tilde{R}_j = (r_j^1, r_j^2, r_j^L, r_j^R), j = \overline{1, k}$.

Критерий оценки $Z_i, i = \overline{1, n}$ i -го эксперта представляется в виде множества Z -чисел — $Z_i = ((\tilde{B}_{il}, \tilde{R}_{il}), l = \overline{1, m}), i = \overline{1, n}$, где нечеткое число

$\tilde{R}_{il} = (r_{il}^1, r_{il}^2, r_{il}^L, r_{il}^R), l = \overline{1, m}, i = \overline{1, n}$ равно одному из нечетких чисел $\tilde{R}_j = (r_j^1, r_j^2, r_j^L, r_j^R), j = \overline{1, k}$.

Обозначим агрегирующие показатели для $(\tilde{B}_{il}, \tilde{R}_{il}), \tilde{B}_{il}, l = \overline{1, m}, i = \overline{1, n}$ через $\beta_{il}, b_{il}, l = \overline{1, m}, i = \overline{1, n}$.

Используя агрегирующие показатели, определим расстояние $d(Z_i, Z_j)$ между критериями оценки i -го j -го экспертов

$$d(Z_i, Z_j) = \frac{1}{m} \sum_{l=1}^m \sqrt{(\beta_{il} - \beta_{jl})^2 + (b_{il} - b_{jl})^2}, \quad (5)$$

$$i = \overline{1, n}, j = \overline{1, n}.$$

Пусть $d_{\max} = \max_{i,j} d(Z_i, Z_j), i = \overline{1, n}, j = \overline{1, n}$.

Тогда индекс различия критериев двух экспертов определим следующим образом

$$\delta_{ij} = \frac{d(Z_i, Z_j)}{d_{\max}}, i = \overline{1, n}, j = \overline{1, n}. \quad (6)$$

Используя выражение (6), определим индекс сходства критериев двух экспертов

$$\rho_{ij} = 1 - \delta_{ij}, i = \overline{1, n}, j = \overline{1, n}. \quad (7)$$

Тогда нечеткое множество $\tilde{\Psi}$ с функцией принадлежности $\mu_{\tilde{\Psi}}(Z_i, Z_j) = \rho_{ij}$ определяет нечеткое бинарное отношение сходства на множестве экспертных критериев $Z_i = ((\tilde{B}_{il}, \tilde{R}_{il}), l = \overline{1, m}), i = \overline{1, n}$. Докажем, что это действительно так, проверив для $\tilde{\Psi}$ свойства симметричности и рефлексивности.

Покажем, что

$$\mu_{\tilde{\Psi}}(Z_i, Z_j) = \mu_{\tilde{\Psi}}(Z_j, Z_i), i = \overline{1, n}, j = \overline{1, n}:$$

$$\begin{aligned} \mu_{\tilde{\Psi}}(Z_i, Z_j) &= \rho_{ij} = 1 - \delta_{ij} = \\ &= 1 - \frac{\frac{1}{m} \sum_{l=1}^m \sqrt{(\beta_{il} - \beta_{jl})^2 + (b_{il} - b_{jl})^2}}{d_{\max}} = \\ &= 1 - \frac{\frac{1}{m} \sum_{l=1}^m \sqrt{(\beta_{jl} - \beta_{il})^2 + (b_{jl} - b_{il})^2}}{d_{\max}} = \\ &= 1 - \delta_{ji} = \rho_{ji} = \mu_{\tilde{\Psi}}(Z_j, Z_i). \end{aligned} \quad (8)$$

Свойство симметричности $\tilde{\Psi}$ доказано.

Докажем свойство рефлексивности, то есть, что $\mu_{\tilde{\Psi}}(Z_i, Z_i) = 1, i = \overline{1, n}$

$$\begin{aligned} \mu_{\tilde{\Psi}}(Z_i, Z_i) &= \rho_{ii} = 1 - \delta_{ii} = \\ &= 1 - \frac{\frac{1}{m} \sum_{l=1}^m \sqrt{(\beta_{il} - \beta_{il})^2 + (b_{il} - b_{il})^2}}{d_{\max}} = 1. \end{aligned} \quad (9)$$

Свойство рефлексивности для $\tilde{\Psi}$ доказано. Таким образом, нечеткое множество $\tilde{\Psi}$ с функцией принадлежности $\mu_{\tilde{\Psi}}(Z_i, Z_j) = \rho_{ij}$ действительно определяет нечеткое бинарное отношение сходства на множестве экспертных критериев $Z_i = ((\tilde{B}_{il}, \tilde{R}_{il}), l = \overline{1, m}), i = \overline{1, n}$.

Основная проблема при построении отношения подобия состоит в том, что в общем случае $\tilde{\Psi}$ не является транзитивным отношением, то есть в общем случае не выполняется, что $\mu_{\tilde{\Psi}}(Z_i, Z_j) \geq \max_{Z_l} \min \{ \mu_{\tilde{\Psi}}(Z_i, Z_l), \mu_{\tilde{\Psi}}(Z_l, Z_j) \}, i = \overline{1, n}, j = \overline{1, n}, l = \overline{1, n}$. Сделать $\tilde{\Psi}$ транзитивным нечетким бинарным отношением подобия можно на основе объединения композиций $\tilde{\Psi}$ с собой, т. е. $\tilde{\Psi} = \tilde{\Psi} \circ \tilde{\Psi} [1]$.

Экспертные критерии $Z_1, Z_2, \dots, Z_p, p \leq n$ будем считать подобными с уровнем доверия $\alpha \in (0, 1)$, если $\mu_{\tilde{\Psi}}(Z_i, Z_j) \geq \alpha$ для всех $Z_i, Z_j, i = \overline{1, p}, j = \overline{1, p}$.

Тогда $\tilde{\Psi}$ можно представить следующим образом: $\tilde{\Psi} = \max \{ \alpha \Psi_{\alpha} \}, 0 < \alpha \leq 1$, где Ψ_{α} является отношением эквивалентности в смысле обычной теории множеств.

Разработанная модель кластерного анализа Z -информации позволяет анализировать экспертные критерии оценки качественных (нечисловых) характеристик с определенным уровнем надежности, формализованные с помощью Z -чисел, также разбивать множество критериев на кластеры подобных. Возможность кластерного анализа экспертных критериев уменьшает не только субъективную составляющую в оценках экспертов, но и риски ошибок в процедурах принятия решений.

Выводы

Поскольку проблема кластерного анализа нечеткой информации, заданной с определенным уровнем достоверности (Z -информации), актуальна и требует решения, то в статье разработан метод кластеризации экспертных критериев оценки качественных характеристик в условиях Z -информации, представленной полными ортогональными семантическими пространствами.

Экспертные критерии представлены множествами Z -чисел. Число элементов этих множеств совпадает с числом уровней лингвистических шкал, используемых для оценки характеристик.

Формализации уровней шкал, а также уровней шкалы для оценки достоверности экспертной информации являются значениями полных ортогональных семантических пространств.

Определены индексы различия и сходства двух экспертных критериев на основе расстояния между ними. Используя индекс сходства, построено нечеткое бинарное отношение сходства на множестве экспертных критериев. С помощью транзитивного замыкания нечеткого бинарного отношения сходства построено нечеткое бинарное отношение подобия, которое можно разложить на отношения эквивалентности в смысле обычной теории множеств. Это позволяет анализировать экспертные критерии с конкретным уровнем надежности и определять кластеры подобных критериев.

Возможность такого анализа актуальна для решения задач, в которых доступна только экспертная информация, а от ее достоверности существенно зависят конечные результаты и принимаемые на их основе решения.

Список литературы

- [1] Poleshchuk O., Komarov E. Expert Fuzzy Information Processing // *Studies in Fuzziness and Soft Computing*, 2011, v. 268, pp. 1–239.
- [2] Zadeh L.A. Fuzzy logic and approximate reasoning // *Synthese*, 1975, v. 80, pp. 407–428.
- [3] Hwang C.L., Lin N.J. Group decision making under multiple criteria. Berlin: Springer, 1987, 400 p.
- [4] Borisov A.N., Krumberg O.A., Fedorov I.P. Decision making on the basis of fuzzy models: Examples of use. Riga: Zinatne, 1990, 184 p.
- [5] Ryjov A.P. The Concept of a Full Orthogonal Semantic Scope and the Measuring of Semantic Uncertainty // *Fifth International Conference Information Processing and Management of Uncertainty in Knowledge-Based Systems*, Berlin, 8–11 June, 1994. Berlin, 1994, pp. 33–34.
- [6] Ryjov A. Fuzzy Linguistic Scales: Definition, Properties and Applications. Eds Reznik L., Kreinovich V. *Soft Computing in Measurement and Information Acquisition // Studies in Fuzziness and Soft Computing*, 2003, v. 127, pp. 21–27.
- [7] Poleshchuk O.M. Creation of linguistic scales for expert evaluation of parameters of complex objects based on semantic scopes // *International Russian Automation Conference (RusAutoCon-2018)*, Sochi, 6–10 September 2018. Munchen, 2018, pp. 1–6.
- [8] Bezdek J.C. Selected applications in classifier design // *Pattern recognition with fuzzy objective function algorithms*, 1981, v. 2, pp. 203–239.
- [9] Bezdek J.C., Hathaway R.J. Optimization of fuzzy clustering criteria using genetic algorithm // *Proceedings of the IEEE Conference on Evolutionary Computation*, Vienna, 21–26 December, 1994. Vienna, 1994, v. 2, pp. 589–594.
- [10] Runkler T.A., Katz C. Fuzzy clustering by particle swarm optimization // *Proceedings of the IEEE International Conference on Fuzzy Systems*, Oslo, 1–4 November, 2006. Berlin, 2006, pp. 34–41.
- [11] Liu H.C., Yih J.M., Wu D.B., Liu S.W. Fuzzy *c*-mean clustering algorithms based on Picard iteration and particle swarm optimization // *Proceedings of the International Workshop on Geoscience and Remote Sensing (ETT and GRS-2008)*, Paris, 2008, pp. 75–84.
- [12] Kennedy J., Eberhart R.C. Particle swarm optimization // *Proceedings of the IEEE International Joint Conference on Neural Networks*, New York, 2–6 July, 1995. New York, 1995, v. 4, pp. 1942–1948.
- [13] Mehdizadeh E., Tavakkoli Moghaddam R. Fuzzy particle swarm optimization algorithm for a supplier clustering problem // *J. of Industrial Engineering*, 2008, v. 1, pp. 17–24.
- [14] Melin P., Olivas F., Castillo O., Valdez F., Soria J., Valdez M. Optimal design of fuzzy classification systems using PSO with dynamic parameter adaptation through fuzzy logic // *Expert Systems with Applications*, 2013, v. 40, no. 8, pp. 3196–3206.
- [15] Chen M., Ludwig A. Particle swarm optimization based fuzzy clustering approach to identify optimal number of clusters // *J. of Artificial Intelligence and Soft Computing Research*, 2014, v. 4, no. 1, pp. 43–56.
- [16] Phyo O., Chaw E. Comparative Study of Fuzzy PSO (FPSO) Clustering Algorithm and Fuzzy C-Means (FCM) Clustering Algorithm // *National J. of Parallel and Soft Computing*, 2019, v. 1, no. 1, pp. 62–67.
- [17] Ruspini E.H. A new approach to clustering // *Information and Control*, 1969, v. 15, pp. 22–32.
- [18] Ruspini E.H. Numerical methods for fuzzy clustering // *Information Sciences*, 1970, v. 2, pp. 319–350.
- [19] Tamura S., Higuchi S., Tanaka, K.: Pattern classification based on fuzzy relations // *IEEE Transactions on Systems, Man and Cybernetics*, 1971, v. 1, pp. 61–66.
- [20] Zadeh L.A. Similarity relations and fuzzy orderings // *Information Sciences*, 1971, v. 3, pp. 177–200.
- [21] Dunn J.C. A fuzzy relative of the ISODATA process and its use in detecting compact well-separated clusters // *J. of Cybernetics*, 1973, v. 3, pp. 32–57.
- [22] Ruspini E.H. Recent developments in fuzzy clustering // *Fuzzy Set and Possibility Theory*. N.Y.: Pergamon Press, 1982, pp. 133–146.
- [23] Poleshchuk O., Komarov E. The determination of rating points of objects with qualitative characteristics and their usage in decision making problems // *International J. of Computational and Mathematical Sciences*, 2009, v. 3, no. 7, pp. 360–364.
- [24] Darwish A., Poleshchuk O. New models for monitoring and clustering of the state of plant species based on semantic spaces // *J. of Intelligent and Fuzzy Systems*, 2014, v. 3, no. 26, pp. 1089–1094.
- [25] Poleshchuk O.M., Komarov E.G., Darwish A. Assessment of the state of plant species in urban environment based on fuzzy information of the expert group // *Proceedings of the XX IEEE International Conference on Soft Computing and Measurements (SCM-2017)*, Saint Petersburg, 23–25 May, 2017. Saint Petersburg, 2017, pp. 651–654.
- [26] Zadeh L.A. A Note on Z-numbers // *Information Sciences*, 2011, v. 14, no. 181, pp. 2923–2932.
- [27] Jamal M., Khalif K., Mohamad S. The implementation of Z-numbers in fuzzy clustering algorithm for wellness of chronic kidney disease patients // *J. of Physics: Conference Series*, 2018, v. 1366, pp. 201–209.
- [28] Aliev R.A., Pedrycz W., Guirimov B.G., Huseynov O.H. Clustering method for production of Z-numbers based if-then rules // *Information Sciences*, 2020, v. 520, pp. 155–176.
- [29] Aliev R., Guirimov B.: Z-number clustering based on general Type-II fuzzy sets // *Advances in Intelligent Systems and Computing*, 2018, v. 896, pp. 270–278.
- [30] Poleshchuk O.M. Object monitoring under Z-information based on rating points // *Advances in Intelligent Systems and Computing*, 2021, v. 1197, pp. 1191–1198. DOI:10.1007/978-3-030-51156-2_139.

Сведения об авторе

Полещук Ольга Митрофановна — д-р техн. наук, профессор, зав. кафедрой «Высшая математика и физика» МГТУ им. Н.Э. Баумана (Мытищинский филиал), poleshchuk@mgul.ac.ru

Поступила в редакцию 20.09.2021.
Одобрено после рецензирования 21.09.2021.
Принята к публикации 06.12.2021.

CLUSTER ANALYSIS OF EXPERT INFORMATION BASED ON Z-NUMBERS

O.M. Poleshchuk

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

poleshchuk@mgul.ac.ru

The paper developed a model of cluster analysis of expert criteria for assessing qualitative (non-numerical) characteristics with a certain level of reliability. To formalize individual criteria, Z -numbers are used, which are ordered pairs of ordinary fuzzy numbers. The first number is an estimate of the characteristic, and the second number is its reliability. For Z -numbers and their first components the aggregating indicators was defined based on α -cuts of fuzzy numbers. Aggregating indicators are used to determine the pairwise difference indexes of expert criteria and pairwise similarity indexes. Based on pairwise similarity indexes of expert criteria, a fuzzy binary relation of analogy is determined on the set of all criteria. A fuzzy similarity relation on a set of criteria is built using the transitive closure of a fuzzy relation of analogy. The constructed fuzzy similarity relation is decomposed into equivalence relations. Depending on the levels of values of the fuzzy similarity relation, all individual expert criteria are divided into clusters of similar criteria with α -levels of reliability.

Keywords: Z -number, expert criterion, reliability

Suggested citation: Poleshchuk O.M. *Klasternyy analiz ekspertnoy informatsii na osnove Z-chisel* [Cluster analysis of expert information based on Z -numbers]. *Lesnoy vestnik / Forestry Bulletin*, 2022, vol. 26, no. 1, pp. 143–148. DOI: 10.18698/2542-1468-2022-1-143-148

References

- [1] Poleshchuk O., Komarov E. Expert Fuzzy Information Processing // *Studies in Fuzziness and Soft Computing*, 2011, v. 268, pp. 1–239.
- [2] Zadeh L.A. Fuzzy logic and approximate reasoning // *Synthese*, 1975, v. 80, pp. 407–428.
- [3] Hwang C.L., Lin N.J. Group decision making under multiple criteria. Berlin: Springer, 1987, 400 p.
- [4] Borisov A.N., Krumberg O.A., Fedorov I.P. Decision making on the basis of fuzzy models: Examples of use. Riga: Zinatne, 1990, 184 p.
- [5] Ryjov A.P. The Concept of a Full Orthogonal Semantic Scope and the Measuring of Semantic Uncertainty // *Fifth International Conference Information Processing and Management of Uncertainty in Knowledge-Based Systems*, Berlin, 8-11 June 1994. Berlin, 1994, pp. 33–34.
- [6] Ryjov A. Fuzzy Linguistic Scales: Definition, Properties and Applications. Eds Reznik L., Kreinovich V. *Soft Computing in Measurement and Information Acquisition* // *Studies in Fuzziness and Soft Computing*, 2003, v. 127, pp. 21–27.
- [7] Poleshchuk O.M. Creation of linguistic scales for expert evaluation of parameters of complex objects based on semantic scopes // *International Russian Automation Conference (RusAutoCon -2018)*, Sochi, 6-10 September 2018. Munchen, 2018, pp. 1–6.
- [8] Bezdek J.C. Selected applications in classifier design // *Pattern recognition with fuzzy objective function algorithms*, 1981, v. 2, pp. 203–239.
- [9] Bezdek J.C., Hathaway R.J. Optimization of fuzzy clustering criteria using genetic algorithm // *Proceedings of the IEEE Conference on Evolutionary Computation*, Vienna, 21-26 December 1994. – Vienna, 1994, v. 2, pp. 589–594.
- [10] Runkler T.A., Katz C. Fuzzy clustering by particle swarm optimization // *Proceedings of the IEEE International Conference on Fuzzy Systems*, Oslo, 1–4 November, 2006. Berlin, 2006, pp. 34–41.
- [11] Liu H.C., Yih J.M., Wu D.B., Liu S.W. Fuzzy c-mean clustering algorithms based on Picard iteration and particle swarm optimization // *Proceedings of the International Workshop on Geoscience and Remote Sensing (ETT and GRS-2008)*, Paris, 2008, pp. 75–84.
- [12] Kennedy J., Eberhart R.C. Particle swarm optimization // *Proceedings of the IEEE International Joint Conference on Neural Networks*, New York, 2–6 July, 1995. New York, 1995, v. 4, pp. 1942–1948.
- [13] Mehdizadeh E., Tavakkoli Moghaddam R. Fuzzy particle swarm optimization algorithm for a supplier clustering problem // *J. of Industrial Engineering*, 2008, v. 1, pp. 17–24.
- [14] Melin P., Olivas F., Castillo O., Valdez F., Soria J., Valdez M. Optimal design of fuzzy classification systems using PSO with dynamic parameter adaptation through fuzzy logic // *Expert Systems with Applications*, 2013, v. 40, no. 8, pp. 3196–3206.

- [15] Chen M., Ludwig A. Particle swarm optimization based fuzzy clustering approach to identify optimal number of clusters // *J. of Artificial Intelligence and Soft Computing Research*, 2014, v. 4, no. 1, pp. 43–56.
- [16] Phyo O., Chaw E. Comparative Study of Fuzzy PSO (FPSO) Clustering Algorithm and Fuzzy C-Means (FCM) Clustering Algorithm // *National J. of Parallel and Soft Computing*, 2019, v. 1, no. 1, pp. 62–67.
- [17] Ruspini E.H. A new approach to clustering // *Information and Control*, 1969, v. 15, pp. 22–32.
- [18] Ruspini E.H. Numerical methods for fuzzy clustering // *Information Sciences*, 1970, v. 2, pp. 319–350.
- [19] Tamura S., Higuchi S., Tanaka, K.: Pattern classification based on fuzzy relations // *IEEE Transactions on Systems, Man and Cybernetics*, 1971, v. 1, pp. 61–66.
- [20] Zadeh L.A. Similarity relations and fuzzy orderings // *Information Sciences*, 1971, v. 3, pp. 177–200.
- [21] Dunn J.C. A fuzzy relative of the ISODATA process and its use in detecting compact well-separated clusters // *J. of Cybernetics*, 1973, v. 3, pp. 32–57.
- [22] Ruspini E.H. Recent developments in fuzzy clustering // *Fuzzy Set and Possibility Theory*. N.Y.: Pergamon Press, 1982, pp. 133–146.
- [23] Poleshchuk O., Komarov E. The determination of rating points of objects with qualitative characteristics and their usage in decision making problems // *International J. of Computational and Mathematical Sciences*, 2009, v. 3, no. 7, pp. 360–364.
- [24] Darwish A., Poleshchuk O. New models for monitoring and clustering of the state of plant species based on semantic spaces // *J. of Intelligent and Fuzzy Systems*, 2014, v. 3, no. 26, pp. 1089–1094.
- [25] Poleshchuk O.M., Komarov E.G., Darwish A. Assessment of the state of plant species in urban environment based on fuzzy information of the expert group // *Proceedings of the XX IEEE International Conference on Soft Computing and Measurements, (SCM-2017)*, Saint Petersburg, 23–25 May, 2017. Saint Petersburg, 2017, pp. 651–654.
- [26] Zadeh L.A. A Note on Z-numbers // *Information Sciences*, 2011, v. 14, no. 181, pp. 2923–2932.
- [27] Jamal M., Khalif K., Mohamad S. The implementation of Z-numbers in fuzzy clustering algorithm for wellness of chronic kidney disease patients // *J. of Physics: Conference Series*, 2018, v. 1366, pp. 201–209..
- [28] Aliev R.A., Pedrycz W., Guirimov B.G., Huseynov O.H. Clustering method for production of Z-numbers based if-then rules // *Information Sciences*, 2020, v. 520, pp. 155–176.
- [29] Aliev R., Guirimov B.: Z-number clustering based on general Type-II fuzzy sets // *Advances in Intelligent Systems and Computing*, 2018, v. 896, pp. 270–278.
- [30] Poleshchuk O.M. Object monitoring under Z-information based on rating points // *Advances in Intelligent Systems and Computing*, 2021, v. 1197, pp. 1191–1198. DOI:10.1007/978-3-030-51156-2_139.

Author's information

Poleshchuk Ol'ga Mitrofanovna — Dr. Sci. (Tech.), Professor, Head of Higher Mathematics and Physics Department of BMSTU (Mytishchi branch), poleshchuk@mgul.ac.ru

Received 20.09.2021.

Approved after review 21.09.2021.

Accepted for publication 06.12.2021.