

ЛЕСНОЙ ВЕСТНИК / FORESTRY BULLETIN

Научно-информационный журнал

№ 2 ' 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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

Ответственный секретарь Расева Елена Александровна

Редактор Л.В. Сивай

Перевод М.А. Карпухиной

Электронная версия Ю.А. Рязской

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 24.03.2022.

Тираж 600 экз.

Заказ №

Объем 16,75 п. л.

Цена свободная

LESNOY VESTNIK / FORESTRY BULLETIN

Scientific Information Journal
No. 2 ' 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 «Kudensnik», 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 TSNIIAMASH, 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 24.03.2022.
Circulation 600 copies
Order №
Volume 16,75 p. p.
Price free

СОДЕРЖАНИЕ

БИОЛОГИЧЕСКИЕ И ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЕ АСПЕКТЫ ЛЕСНОГО ХОЗЯЙСТВА

Коновалова И.С., Бабич Н.А., Коновалов Д.Ю. Биоразнообразие видов растений напочвенного покрова лесных питомников и их фитоценотическая активность	5
Коляда Н.А. Формирование монодоминантных сообществ клена ясенелистного (<i>Acer negundo</i> L.) на юге Дальнего Востока России	14
Соболев А.Н., Феклистов П.А., Грязькин А.В., Гаевский Н.П., Барзут О.С. Рост древостоев разных пород в одинаковых условиях местопроизрастания на Большом Соловецком острове	24
Островский А.М. Новые находки кокцид (Rhynchota: Sternorrhyncha: Coccinea) — вредителей дуба черешчатого (<i>Quercus robur</i> Linnaeus, 1753) в фауне Беларуси	31
Корпачев В.П., Пережилин А.И., Андрияс А.А. Засорение древесной массой водохранилищ гидроэлектростанций, построенных на покрытых лесом землях	36
Потапов Д.И., Ушкова Д.А., Горепекин И.В., Федотов Г.Н., Батырев Ю.П., Шалаев В.С. О влиянии амплитуды вибрации на разрушение почвенных агрегатов при определении их водостойчивости при ситовом анализе	44

ЛАНДШАФТНАЯ АРХИТЕКТУРА

Теодоронский В.С., Парфенова А.Е. Особенности ландшафтной организации мемориальных комплексов г. Севастополя	50
Кругляк В.В., Гурьева Е.И. Принципы формирования ландшафтного тематического комплекса в Центральном Черноземье	59

ДЕРЕВООБРАБОТКА И ХИМИЧЕСКАЯ ПЕРЕРАБОТКА ДРЕВЕСИНЫ

Кононов Г.Н., Вережкин А.Н., Сердюкова Ю.В., Жукова В.А. Древесина как химическое сырье. История и современность. IV. Делигнификация древесины как путь получения целлюлозы. Часть II	69
Моисеев С.А., Деянов Д.И., Косарин А.А., Курышов Г.Н. Импульсная сушка пиломатериалов из древесины грецкого и американского черного ореха в конвективных сушильных камерах	85
Лоскутов С.Р., Шапченкова О.А., Анискина А.А., Пастори Э. Гигроскопические свойства древесины лиственных пород	92
Запруднов В.И. Прочность древесно-цементного композита при воздействии химических добавок на наполнитель	103

ЛЕСОИНЖЕНЕРНОЕ ДЕЛО

Никитин В.В., Скрыпников А.В., Козлов В.Г., Михайленко Е.В., Пильник Ю.Н., Козлов Д.Г., Сапелкин Р.С. Математическое обоснование влияния вида рубки главного пользования на удельные затраты	110
Побединский В.В., Иовлев Г.А., Ляхов С.В., Голдина И.И. Нейро-нечеткая сеть для оценки остаточного ресурса тракторных двигателей	120

МАТЕМАТИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ

Полещук О.М. Оценка состояний групп объектов на основе лингвистических Z-чисел	131
--	-----

CONTENTS

BIOLOGICAL AND TECHNOLOGICAL ASPECTS OF FORESTRY

Konovalova I.S., Babich N.A., Konovalov D.Yu. Plant species biodiversity in forest nursery ground vegetation and their phytocoenotic activity	5
Kolyada N.A. Formation of monodominant coenoses with ash-leaved maple (<i>Acer negundo</i> L) in the south of the Russian Far East	14
Sobolev A.N., Feklistov P.A., Gryazkin A.V., Gaevsky N.P., Barzut O.S. Multispecies stands growth in similar growing conditions on Bolshoy Solovetsky Island	24
Ostrovsky A.M. New records of scale insects (Rhynchota: Sternorrhyncha: Coccinea) — Pedunculate Oak pests (<i>Quercus robur</i> Linnaeus, 1753) in fauna of Belarus	31
Korpachev V.P., Perezhilin A.I., Andriyas A.A. Wood mass clogging of hydroelectric power plants reservoirs in forested areas	36
Potapov D.I., Gorepekin I.V., Ushkova D.A., Fedotov G.N., Batyrev Yu.P., Shalaev V.S. Vibration amplitude effect on soil aggregates destruction when determining water stability by sieving method	44

LANDSCAPE ARCHITECTURE

Teodoronsky V.S., Parfyonova A.E. Landscape organization of memorial complexes in Sevastopol	50
Kruglyak V.V., Gureva E.I. Principles of landscape themed complex formation in the Central Black Earth	59

WOODWORKING AND CHEMICAL WOOD PROCESSING

Kononov G.N., Verevkin A.N., Serdyukova Ju.V., Zhukova V.A. Wood as chemical raw material. History and modernity. IV. Wood delignification as a way to produce cellulose. Part II	69
Moiseev S.A., Deyanov D.I., Kosarin A.A., Kuryshov G.N. Walnut and American walnut wood impulse drying in convective drying tunnels	85
Loskutov S.R., Shapchenkova O.A., Aniskina A.A., Pászatory Z. Hygroscopic properties of hardwoods	92
Zaprudnov V.I. Strength of wood-cement composite when exposed to chemical additives on aggregate	103

FOREST ENGINEERING

Nikitin V.V., Skrypnikov A.V., Kozlov V.G., Mikhailenko E.V., Pilnik Yu.N., Kozlov D.G., Sapelkin R.S. Influence of final felling on costs per unit and it's mathematical justification	110
Pobedinsky V.V., Iovlev G.A., Lyakhov S.V., Goldina I.I. Neuro-fuzzy network for evaluating tractor engines residual life	120

MATH MODELING

Poleshchuk O.M. Groups of objects state assessment based on linguistic Z-numbers	131
--	-----

БИОРАЗНООБРАЗИЕ ВИДОВ РАСТЕНИЙ НАПОЧВЕННОГО ПОКРОВА ЛЕСНЫХ ПИТОМНИКОВ И ИХ ФИТОЦЕНОТИЧЕСКАЯ АКТИВНОСТЬ

И.С. Коновалова[✉], Н.А. Бабич, Д.Ю. Коновалов

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

i.konovalova@narfu.ru

Представлены морфологическая структура напочвенного покрова лесных питомников на территории Архангельской обл. и фитоценотическая активность сорных растений. Установлено, что в соответствии с уровнем фитоценотической активности 44 % видов растений на рассматриваемых участках относятся к высокоактивным (12 %) и активным (32 %) видам, среднеактивные составляют 23 %. Определено, что наиболее крупную биогруппу флоры образуют многолетние растения, представленные вегетативно подвижными, мало- и неподвижными растениями. Выявлено преобладание длиннокорневищных и стержнекорневых многолетних видов по численному составу. Результаты проведенного анализа отражают разнообразие биоэкологических адаптаций сорных растений к условиям полевых сообществ, имеют важное практическое значение, поскольку позволяют повысить эффективность системы контроля над сорной растительностью.

Ключевые слова: биоразнообразие, лесной питомник, активность видов, фитоценоз, морфологическая структура, постоянство вида, обилие вида

Ссылка для цитирования: Коновалова И.С., Бабич Н.А., Коновалов Д.Ю. Биоразнообразие видов растений напочвенного покрова лесных питомников и их фитоценотическая активность // Лесной вестник / Forestry Bulletin, 2022. Т. 26. № 2. С. 5–13. DOI: 10.18698/2542-1468-2022-2-5-13

Активность видов растений имеет важное значение в организации и функционировании фитоценозов. В течение всего периода формирования агрофитоценозов лесных питомников в составе растительных сообществ происходит отбор видов и жизненных форм растений напочвенного покрова, активно развивающихся в условиях агросистемы.

Развитие широкого видового разнообразия сорных растений агрофитоценозов обусловлено, в частности, наличием в почве определенного, зачастую очень высокого потенциального запаса семян и органов вегетативного размножения сорняков [1–5].

Несмотря на широкое биоразнообразие, многие виды растений схожи между собой по времени появления всходов, ритмике роста и развития, продолжительности жизни и вегетации, способам размножения. Сходство сорных растений по этим биологическим особенностям, как и идентичность их реакции на агротехнические мероприятия, дало основание Л.И. Казакевичу [6], А.И. Мальцеву [7] и А.В. Фисюнову [8] объединить их в агробиологические группы. Таким образом, разработка мер по регулированию численности и видового состава сорных растений проводится для групп видов со сходными эколого-биологическими характеристиками [9, 10], что существенно повышает эффективность всей

системы истребительных мероприятий. Таким образом, морфологический анализ сеgetальной флоры лесных питомников имеет важное практическое значение. По данным литературных источников [11–16], изучению морфологических свойств растений сеgetальных флор различных регионов было уделено особое внимание. Для северной части Восточно-Европейской равнины данные о биологическом спектре сорно-полевых растений лесохозяйственных агрофитоценозов приводятся впервые.

Цель работы

Цель работы — выявление группы сорных растений сеgetальных сообществ — основных полевых сорняков на территории лесных питомников и определение наиболее конкурентоспособных видов по значению фитоценотической активности.

Материалы и методы

Архангельская обл. расположена на северо-востоке европейской части России и занимает площадь 589,9 тыс. км² (3,4 % территории России) [17]. Полевые геоботанические исследования проводили маршрутно-рекогносцировочным методом на полях лесных питомников в условиях Архангельской обл.

При проведении анализа видового состава сеgetальной флоры одна из задач заключалась в выявлении жизненных форм растений и распре-

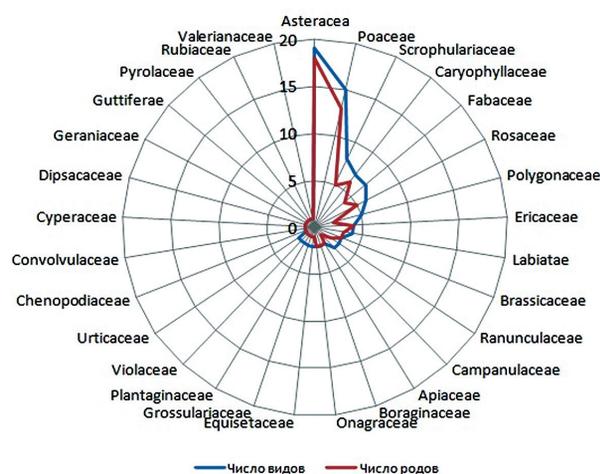


Рис. 1. Флористический спектр лесных питомников
Fig. 1. Floristic range of forest nurseries

делении видов по биологическим группам. Для получения представления о взаимодействии культурного и сорного растения на полях агроценозов целесообразно было использовать четырехбалльную шкалу проективного покрытия сорняков относительно культурного растения, предложенную А.И. Мальцевым [18]. Классификация жизненных форм выполнена на основе систем, предложенных А.В. Фисюновым [10] и И.Г. Серебряковым [19]. Латинские названия таксонов приведены по С.К. Черепанову [20].

В результате проведенных исследований было установлено, что растительная флора лесных питомников Архангельской обл. насчитывает в своем составе не менее 109 видов сосудистых растений, относящихся к 86 родам и 29 семействам [21–23] (рис. 1), что составляет около 10 % общего количества видов флоры Архангельской обл., которая включает в себя, по данным В.М. Шмидта [24], 1098 видов.

Ранжирование семейств по богатству видов показывает преобладание следующих таксонов: *Asteraceae* (19 видов), *Poaceae* (15), *Scrophulariaceae* (8), *Caryophyllaceae* (7), *Fabaceae* (7), *Rosaceae* (6), *Polygonaceae* (5), *Ericaceae* (4), *Labiatae* (4), *Brassicaceae* (3), *Ranunculaceae* (3), *Campanulaceae* (3 вида) и др. Вместе эти 12 семейств содержат 84 вида, остальные 17 семейств — одно- и дву-видовые.

Принципы метода оценки активности растений, разработанного Б.А. Юрцевым [25] и позднее получившего развитие в работах Я.П. Дидука [26], были использованы нами при анализе растительного компонента лесных агрофитоценозов. При распределении видов в группы активности учитывалось постоянство и обилие видов, а также эколого-ценотическая значимость растений. Таким образом, все виды распределили по пяти ступеням фитоценотической активности:

1-й класс активности (более 10 баллов) — высокоактивные виды. К этому классу относятся группы преимущественно сорных и факультативных видов (активный сорный, эвритопный, гемизвритопный фитоценоциклы) (3...5 баллов) с постоянством более 60 % (4...5 баллов) и наибольшим обилием (3...4 балла), встречающиеся в сообществах нескольких флороценотических комплексов.

2-й класс активности (7...10 баллов) — активные виды, которые также относятся к активному сорному, эвритопному, гемизвритопному фитоценоциклу (3...5 баллов), однако имеющие II...IV, редко V класс постоянства (41...60 и 61...80 %) и значительное обилие — 2...3 балла засоренности в сообществах большинства флороценотических комплексов.

3-й класс активности (5...7 баллов) — среднеактивные виды, которые относятся к группе факультативных и типичных видов флорокомплексов (гемизвритопные, гемистенотопные, стенопотные — 1...3 балла) с II–III классами постоянства (21...60 %), довольно многочисленными по числу особей, достигающие проективного покрытия 1...5 % (2 балла засоренности), встречающиеся в сообществах отдельных флорокомплексов.

4-й класс активности (3...5 баллов) — малоактивные виды, встречавшиеся не во всех агроценозах, являющиеся типичными видами (1...2 балла), имеющие низкое постоянство — I–II классов (менее 40 %) и проективное покрытие менее 1 % (1 балл засоренности);

5-й класс активности (3 балла и менее) — неактивные виды, относящиеся к группе стенопотного фитоценоцикла (1 балл), встречаются на одном участке в составе какого-либо одного в данном регионе флороценотического комплекса, имеют низкий (I) класс постоянства (менее 20 %), произрастают единично (1 балл засоренности).

Результаты исследования

В результате проведенных исследований все сорно-полевые растения напочвенного покрова лесных питомников объединены в агробиологические группы по комплексу биологических признаков, а также по реакции на агротехнические мероприятия в соответствии с классификациями жизненных форм, разработанными для сорно-полевых растений А.И. Мальцевым [27], С.А. Коттом [28], В.В. Никитиным [29], А.В. Фисюновым [10] и другими учеными.

На территории лесных агрофитоценозов Архангельской обл. обнаружено значительное видовое разнообразие травянистых растений. Отмечены также единичные всходы древесных форм растений, развивающиеся в течение сезона (*Rosa acicularis* Lindl., *Rubus idaeus* L., *Ribes nigrum* L., *Ribes rubrum* L.).

Основной растительный состав лесных питомников и их фитоценотическая активность

The main plant composition of forest nurseries and their phytocenotic activity

Биологическая группа и вид растения	Латинское название	Постоянство видов в питомнике (число агроценозов, в которых обнаружен вид), %	Средняя встречаемость видов в лесных питомниках по региону, %	Обилие в баллах по Мальцеву	Класс фитоценотической активности видов
<i>Эфемеры</i>					
Звездчатка средняя	<i>Stellaria media</i> (L.) Willd.	35	28	1,5	2
<i>Ярвые</i>					
Горец малый	<i>Polygonum minus</i> Huds.	10	2	1	5
Горец перечный, водяной перец	<i>Polygonum hydropiper</i> L.	10	4	1	4
Горец птичий	<i>Polygonum aviculare</i> L.	20	8	1,5	3
Зубчатка поздняя	<i>Odontites vulgaris</i> Moench (O. serotina (Lam.) Dum.)	10	4	2	3
Клевер темнокаштановый	<i>Trifolium spadiceum</i> L.	10	2	2	4
Крапива жгучая	<i>Urtica urens</i> L.	90	18	2	2
Марь белая	<i>Chenopodium album</i> L.	50	50	1,6	2
Марьянник луговой	<i>Melampyrum pratense</i> L.	НП*	–	–	5
Пикульник зябра	<i>Galeopsis speciosa</i> Mill.	70	14	3	2
Пикульник ладанниковый	<i>Galeopsis ladanum</i> L.	70	14	3	2
Погремок весенний	<i>Rhinanthus vernalis</i> (N. Zing.) Schischk. et Serg.)	НП	–	–	5
Подмаренник цепкий	<i>Galium aparine</i> L.	НП	–	–	5
Редька дикая	<i>Raphanus raphanistrum</i> L.	10	4	2	3
Сушеница топяная	<i>Gnaphalium uliginosum</i> L.	50	10	1	3
Торица обыкновенная	<i>Spergula arvensis</i> L. (S. vulgaris Boenn.)	54	54	2	2
В среднем		38	15	1,8	3,3
<i>Зимующие</i>					
Костер полевой	<i>Bromus arvensis</i> L.	10	4	2	3
Крестовник обыкновенный	<i>Senecio vulgaris</i> L.	30	12	2	3
Мятлик однолетний	<i>Poa annua</i> L.	30	6	1	2
Пастушья сумка	<i>Capsella bursa-pastoris</i> (L.) Medik.	26	26	1,8	2
Фиалка полевая	<i>Viola arvensis</i> Murr.	40	32	1,25	2
Фиалка трехцветная	<i>Viola tricolor</i> L.	70	56	1,25	2
Яснотка стеблеобъемлющая	<i>Lamium amplexicaule</i> L.	10	2	2	4
В среднем		31	20	1,6	2,6
<i>Озимые</i>					
Метлица обыкновенная	<i>Apera spicaventi</i> L.	10	2	2	4
Ромашка ромашковидная, ромашка пахучая	<i>Chamomilla suaveolens</i> (Pursh) Rydb. (Matricaria matricarioides (Less.) Porter, M. suaveolens (Pursh) Nutt.)	58	58	2	2
Хамомилла аптечная, ромашка аптечная, ромашка ободранная	<i>Chamomilla recutita</i> (L.) Rauschert (Matricaria recutita L., M. chamomilla L.)	70	14	2	2
В среднем		46	25	2	2,7
<i>Двулетние</i>					
Донник белый	<i>Melilotus albus</i> Medik.	30	18	2,5	2
Колокольчик раскидистый	<i>Campanula patula</i> L.	70	42	2	2
Лопух паутинистый	<i>Arctium tomentosum</i> Mill.	10	2	1	4
Мелколепестник едкий	<i>Erigeron acris</i> L.	40	16	2,5	2
Незабудка полевая	<i>Myosotis arvensis</i> (L.) Hill	60	48	2	2

Продолжение таблицы

Биологическая группа и вид растения	Латинское название	Постоянство видов в питомнике (число агроценозов, в которых обнаружен вид), %	Средняя встречаемость видов в лесных питомниках по региону, %	Обилие в баллах по Мальцеву	Класс фитоценологической активности видов
<i>Двулетние</i>					
Сурепка обыкновенная	<i>Barbarea vulgaris</i> R. Br.	20	8	1,5	3
Чертополох курчавый	<i>Carduus crispus</i> L.	50	10	2	3
В среднем		40	21	1,9	2,6
<i>Корнеотпрысковые</i>					
Бодяк полевой	<i>Cirsium arvense</i> (L.) Scop. (<i>C. setosum</i> (Willd.) Bess.)	78	78	2,2	1
Вьюнок полевой	<i>Convolvulus arvensis</i> L.	25	20	1,75	2
Горошек мышиный	<i>Vicia cracca</i> L.	70	70	2,6	1
Колокольчик круглолистный	<i>Campanula rotundifolia</i> L.	10	2	1	4
Колокольчик сборный	<i>Campanula glomerata</i> L.	40	16	2	3
Льнянка обыкновенная	<i>Linaria vulgaris</i> L.	42	42	2,2	1
Осот полевой	<i>Sonchus arvensis</i> L.	82	82	2,4	1
Хамерион узколистный, иван-чай узколистный	<i>Chamerion angustifolium</i> (L.) <i>Holub</i> (<i>Chamaenerion angustifolium</i> (L.) Scop.)	62	62	2	1
Щавель малый, щавелек	<i>Rumex acetosella</i> L.	35	35	1,75	2
В среднем		49	45	2	1,8
<i>Длиннокорневищные</i>					
Валериана лекарственная	<i>Valeriana officinalis</i> L.	НП	–	–	5
Вейник наземный	<i>Calamagrostis epigeios</i> (L.) Roth.	30	24	2,3	2
Вероника длиннолистная	<i>Veronica longifolia</i> L.	10	4	1	4
Вероника дубравная	<i>Veronica chamaedrys</i> L.	20	16	2	3
Вероника щитковая	<i>Veronica scutellata</i> L.	НП	–	–	5
Грушанка круглолистная	<i>Pyrola rotundifolia</i> L.	НП	–	–	5
Зверобой четырехгранный	<i>Hypericum quadrangulum</i> L.	30	12	2	3
Крапива двудомная	<i>Urtica dioica</i> L.	40	24	1,5	2
Лисохвост луговой	<i>Alopecurus pratensis</i> L.	10	6	2	3
Мать-и-мачеха обыкновенная	<i>Tussilago farfara</i> L.	62	62	1,8	1
Мятлик луговой	<i>Poa pratensis</i> L.	58	58	2,6	2
Осока шаровидноколосковая	<i>Carex globularis</i> L.	НП	–	–	5
Перловник поникший	<i>Melica nutans</i> L.	50	10	2	3
Пижма обыкновенная	<i>Tanacetum vulgare</i> L.	10	6	1	3
Пырей ползучий	<i>Elytrigia repens</i> (L.) Nevski (<i>Agropyron repens</i> (L.) Beauv.)	70	70	2,6	1
Сныть обыкновенная	<i>Aegopodium podagraria</i> L.	30	6	1	3
Тысячелистник обыкновенный	<i>Achillea millefolium</i> L.	76,7	61,4	2	2
Хвощ луговой	<i>Equisetum pratense</i> L.	30	6	2	3
Хвощ полевой	<i>Equisetum arvense</i> L.	55	44	2,25	2
Чина луговая	<i>Lathyrus pratensis</i> L.	30	24	2	2
В среднем		38	27	1,9	3
<i>Короткорневищные</i>					
Герань луговая	<i>Geranium pratense</i> L.	НП	–	–	5
Золотарник обыкновенный, золотая розга	<i>Solidago virgaurea</i> L.	30	6	2	3
Манжетка остролопастная	<i>Alchemilla acutiloba</i> Opiz.	30	6	2	3
Медуница неясная, м. лекарственная	<i>Pulmonaria obscura</i> Dumort.	НП	–	–	5
Ясколка дернистая	<i>Cerastium holosteoides</i> Fries (<i>C. caespitosum</i> Gilib.)	30	6	3	3

Окончание таблицы

Биологическая группа и вид растения	Латинское название	Постоянство видов в питомнике (число агроценозов, в которых обнаружен вид), %	Средняя встречаемость видов в лесных питомниках по региону, %	Обилие в баллах по Мальцеву	Класс фитоценологической активности видов
<i>Короткокорневищные</i>					
Ястребинка лесная	<i>Hieracium murorum</i> L.	30	12	1	3
В среднем		30	8	2	3,7
<i>Дерновинные</i>					
Ежа сборная	<i>Dactylis glomerata</i> L.	20	16	3	2
Мшанка узловатая	<i>Sagina nodosa</i> (L.) Fenzl.	20	6	1,5	3
Овсик извилистый	<i>Lerschenfeldia flexuosa</i> (L.) Schur (<i>Deschampsia flexuosa</i> (L.) Nees.)	50	20	2	2
Овсяница красная	<i>Festuca rubra</i> L.	40	16	3	2
Овсяница луговая	<i>Festuca pratensis</i> Huds.	65	52	2,75	1
Пахучеколосник душистый, душистый колосок	<i>Anthoxanthum odoratum</i> L.	30	18	2	2
Тимофеевка луговая	<i>Phleum pratense</i> L.	55	55	2,5	1
Щучка дернистая	<i>Deschampsia caespitosa</i> (L.) Beauv.	78	78	3	1
В среднем		45	33	2,5	1,8
<i>Надземнopolзучие</i>					
Вероника тимьянолистная	<i>Veronica serpyllifolia</i> L.	10	2	2	4
Звездчатка злаковидная	<i>Stellaria graminea</i> L.	50	50	2	2
Земляника лесная	<i>Fragaria vesca</i> L.	20	16	1,5	3
Кипрей болотный	<i>Epilobium palustre</i> L.	10	2	1	5
Клевер ползучий	<i>Trifolium repens</i> L.	70	70	2,2	1
Костяника каменистая	<i>Rubus saxatilis</i> L.	НП	–	–	5
Кошачья лапка двудомная	<i>Antennaria dioica</i> (L.) Gaertn.	30	6	1	4
Лапчатка гусиная	<i>Potentilla anserine</i> L.	НП	–	–	5
Люттик ползучий	<i>Ranunculus repens</i> L.	58	58	2	2
Черноголовник обыкновенный	<i>Prunella vulgaris</i> L.	35	35	2	2
В среднем		35	30	1,7	3,3
<i>Стержнекорневые</i>					
Василек луговой	<i>Centaurea jacea</i> L.	НП	–	–	5
Дудник лесной	<i>Angelica sylvestris</i> L.	НП	–	–	5
Клевер гибридный	<i>Trifolium hybridum</i> L.	10	2	1	4
Клевер луговой	<i>Trifolium pratense</i> L.	60	60	2,25	1
Короставник полевой	<i>Knautia arvensis</i> (L.) Coult.	10	2	2	4
Мыльнянка лекарственная	<i>Saponaria officinalis</i> L.	40	16	1	3
Нивяник обыкновенный, поповник	<i>Leucanthemum vulgare</i> Lam.	70	70	2,25	1
Одуванчик лекарственный	<i>Taraxacum officinale</i> Wigg.	58	58	1,6	2
Подорожник средний	<i>Plantago media</i> L.	40	16	1,5	3
Полынь обыкновенная	<i>Artemisia vulgaris</i> L.	НП	–	–	5
Хлопушка обыкновенная, смолевка обыкновенная	<i>Oberna behen</i> (L.) Ikonn. (<i>Silene cucubalus</i> Wib.)	30	6	2	3
Щавель конский	<i>Rumex confertus</i> Willd.	36,7	29,4	2,33	2
В среднем		39	29	1,8	3,2
<i>Кустекокорневые</i>					
Купальница европейская	<i>Trollius europaeus</i> L.	НП	–	–	5
Люттик едкий	<i>Ranunculus acris</i> L.	36,7	22	1,33	2
Подорожник большой	<i>Plantago major</i> L.	35	35	1,7	2
В среднем		36	29	1,5	3

*НП — вид встречен на непродуцирующей площади.

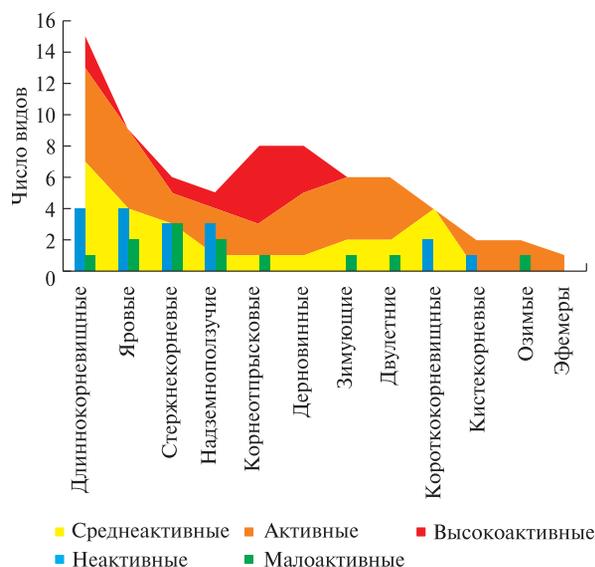


Рис. 2. Соотношение видового разнообразия активных и неактивных сорно-полевых видов растений разных биологических групп растений в составе агроценозов
Fig. 2. The ratio of species diversity of active and inactive field weed plant species of different biological groups of plants in the composition of agroecosystems

Большинство действующих на рассматриваемый момент времени лесных питомников было заложено, как правило, на площадях, вышедших из-под леса. Данная ситуация предопределила то, что на начальных стадиях формирования сообществ пионерными видами сорняков были преимущественно многолетние лесные виды, которые в процессе динамики развития питомников постепенно вытеснялись типичными сельскохозяйственными сорняками. Наибольшее распространение при этом получили многолетние и малолетние луговые и сорные виды, являющиеся по большей части заносными для данных территорий.

Биологический состав сеgetальной флоры лесных питомников региона разнообразен, в нем представлено большинство морфологических групп флоры области (таблица). Спектр биоморф сеgetальной флоры сформировался в значительной мере под влиянием антропогенного воздействия. Его разнообразие возрастает со снижением встречаемости видов.

По величине фитоценотической активности 48 видов (44 %) из общего списка растений являются высокоактивными (13 видов, 12 %) и активными (35 видов, 32 %). На среднеактивные виды приходится 25 видов (23 %), на малоактивные и неактивные — 13 (12 %) и 23 (21 %) соответственно.

В качестве основных засорителей лесных питомников выступают 13 видов (12 %) сорных растений, встречаемость которых превышает 40 %. Эти виды образуют флористическое ядро синантропных сообществ. Основу составляют двудольные растения, но в эту группу вошли и

четыре вида злаковых: *Deschampsia caespitosa* L., *Elytrigia repens* L., *Festuca pratensis* Huds., *Phleum pratense* L.

Наибольшими значениями встречаемости (более 70 %) характеризуются пять видов двудольных растений — *Sonchus arvensis* L., *Vicia cracca* L., *Leucanthemum vulgare* Lam., *Cirsium arvense* (L.) Scop., *Trifolium repens* L. и два вида однодольных — *Deschampsia caespitosa* (L.) Beauv., *Elytrigia repens* (L.) Nevski. Эти виды входят в группу растений с наибольшей активностью (от 11,2 до 12,4 баллов).

Самую крупную биогруппу флоры образуют многолетние растения (76 видов; 69,7 %). Они представлены как вегетативно подвижными (55; 50,5 % группы), так и вегетативно мало- и неподвижными видами (21; 19,3 %). Из многолетних видов по численному составу превосходят длиннокорневищные (20; 18,3 %) и стержнекорневые (12; 11 %).

Среди наиболее активных видов отмечены группы корнеотпрысковых (девять видов, 8 %), дерновинных растений (восемь видов, 7 %), среди которых большая часть видов относится к 1–2 классу фитоценотической активности (рис. 2).

Доля малолетних видов незначительна (33 вида; 30,3 %), из них однолетних растений — 26 видов (23,9 % группы). Среди однолетников наиболее разнообразны по числу видов яровые (15 видов; 13,8 %); также представлены зимующие и озимые (10 видов; 9,2 %). Присутствуют и двулетние растения (7 видов; 6,4 %). Большая часть видов этой группы представлена 2–3-м классами фитоценотической активности.

Выводы

Полученные результаты позволили выявить следующие закономерности. Установлено, что по значению фитоценотической активности 44 % видов являются высокоактивными и активными видами.

Большинство видов однолетних и многолетних растений широко распространено, т. е. имеет широкий агроценотический диапазон или обладает высокой активностью. Следовательно, они встречаются в ценозах всех лесных питомников. Тем не менее прослеживаются количественные различия по степени встречаемости и обилию в связи с ритмами их развития и продолжительностью жизни, а также с учетом особенностей агротехники, что также подтверждается исследованиями сеgetальной флоры Рязанской обл. [15].

Среди многолетних сорных растений наиболее конкурентоспособными, наиболее активными являются группы корнеотпрысковых (девять видов, 8 %) и дерновинных растений (восемь видов, 7 %), большая часть видов которых относится к 1–2-му классам фитоценотической активности.

Древесные породы в питомниках подвергаются также серьезной конкуренции со стороны малолетних сорняков.

На основании сделанных выводов можно рекомендовать при выборе гербицида и объема доз учитывать биологические особенности сорняков, их огромную плодовитость, неодновременность появления всходов, способность к вегетативному размножению, широкое разнообразие видов. Только при этом условии можно разработать и эффективно применить комплекс мероприятий, направленных на уничтожение сорной растительности на полях лесных питомников.

Список литературы

- [1] Баздырев Г.И. Защита сельскохозяйственных культур от сорных растений. М.: Колос-С, 2004. 328 с.
- [2] Баздырев Г.И., Зотов Л.И., Полин В.Д. Сорные растения и меры борьбы с ними в современном земледелии. М.: Изд-во МСХА, 2004. 288 с.
- [3] Передериева В.М., Ткаченко Д.А. Влияние предшественников и способов обработки почвы на биологические показатели плодородия // Агрехимический вестник, 2005. № 4. С. 14–15.
- [4] Власова О.И., Передериева В.М., Иващенко А.В. Способ обработки почвы как фактор регулирования потенциальной и реальной засоренности пшеничного агроценоза на светло-каштановых почвах // Вестник Бурятской государственной сельскохозяйственной академии им. В.Р. Филлипова, 2009. № 3 (16). С. 32–35.
- [5] Дорожко Г.Р., Власова О.И., Передериева В.М. Способ обработки — фактор регулирования фитосанитарного состояния почвы и посевов озимой пшеницы на черноземах выщелоченных зоны умеренного увлажнения Ставропольского края // Научный журнал КубГАУ, 2011. № 04 (68). С. 69–77.
- [6] Казакевич Л.И. Материалы к биологии растений Юго-Востока России: 1. Главнейшие типы вегетативного возобновления и размножения травянистых многолетников. Саратов: Губполиграфотдел, 9-е Отделение, 1922. 24 с.
- [7] Мальцев А.И. Сорные растения СССР и меры борьбы с ними. Л.: Всесоюзный институт прикладной ботаники и новых культур, 1926. 94 с.
- [8] Фисюнов А.В. Справочник по борьбе с сорняками. М.: Колос, 1976. 175 с.
- [9] Захаренко А.В. Теоретические основы управления сорным компонентом агрофитоценоза в системах земледелия. М.: Изд-во МСХА, 2000. 466 с.
- [10] Фисюнов А.В. Справочник по борьбе с сорняками. М.: Колос, 1984. 255 с.
- [11] Шлякова Е.В. Эколого-биологический спектр сорно-полевой флоры Костромской области // Ботанический журнал, 1976. Т. 64. № 1. С. 75–80.
- [12] Туликов Л.М. Особенности распространения и динамика полевой сорной флоры Московской области // Известия ТСХА, 1983. Вып. 2. С. 36–44.
- [13] Родионова А.Е. Сеgetальные растения Верхневолжья. СПб.: Изд-во ВИЗР, 2001. 100 с.
- [14] Третьякова А.С. Биоэкологическая характеристика сеgetальной флоры Среднего Урала // Экология, 2006. № 2. С. 110–115.
- [15] Палкина Т.А. Видовой состав сорного компонента агроценозов в Рязанской области // Известия ТСХА, 2011. Вып. 6. С. 107–117.
- [16] Палкина Т.А. Эколого-ценотическое происхождение сорных растений агроценозов в южной части нечерноземной зоны // Вестник КГУ им. Н.А. Некрасова, 2011. № 3. С. 29–32.
- [17] Агроклиматический справочник по Архангельской области. Л.: Гидрометеиздат, 1961. 220 с.
- [18] Мальцев А.И. Сорная растительность СССР и меры борьбы с ней. 4-е изд., перераб. и доп. проф. П.П. Заевым и доц. М. П. Федосеевой. Л.; М.: Сельхозиздат, 1962. 272 с.
- [19] Серебряков И.Г. Жизненные формы высших растений и их изучение // Полевая геоботаника, 1964. Т. 3. С. 146–205.
- [20] Черепанов С.К. Сосудистые растения СССР. Л.: Наука, 1981. 510 с.
- [21] Бабич Н.А., Нечаева И.С. Сорная растительность в лесных питомниках // ИВУЗ Лесной журнал, 2009. № 2. С. 15–17.
- [22] Бабич Н.А., Нечаева И.С. Репродуктивные свойства сорных растений лесных питомников // Вестник Марийского государственного технического университета, 2010. № 2(9). С. 57–67.
- [23] Бабич Н.А., Нечаева И.С. Систематическая структура сорной растительности лесных питомников средней подзоны тайги Архангельской области // Хвойные бореальной зоны, 2011. Вып. XXVIII. № 1–2. С. 107–117.
- [24] Шмидт В.М. Флора Архангельской области. СПб.: Изд-во СПбГУ, 2005. 346 с.
- [25] Юрцев Б.А. Флора Сунтар-Хаята: Проблемы истории высокогорных ландшафтов Северо-Востока Сибири. Л.: Наука, 1968. 235 с.
- [26] Дидух Я.П. Проблемы активности видов растений // Ботанический журнал, 1982. Т. 67. № 7. С. 925–935.
- [27] Мальцев А.И. Сорная растительность СССР. М.; Л.: Сельхозгиз, 1932. 296 с.
- [28] Котт С.А. Справочное пособие по борьбе с сорными растениями. М.: Учпедгиз, 1961. 248 с.
- [29] Никитин В.В. Сорные растения флоры СССР. Л.: Наука, 1983. 454 с.

Сведения об авторах

Коновалова Ирина Сергеевна [✉] — канд. с.-х. наук, доцент кафедры лесоводства и лесоустройства, ФГАОУ ВО «Северный (Арктический) федеральный университет имени М.В. Ломоносова», i.konovalova@narfu.ru

Бабич Николай Алексеевич — д-р с.-х. наук, профессор кафедры ландшафтной архитектуры и искусственных лесов, ФГАОУ ВО «Северный (Арктический) федеральный университет имени М.В. Ломоносова», n.babich@narfu.ru

Коновалов Денис Юрьевич — канд. с.-х. наук, доцент кафедры техносферной безопасности, ФГАОУ ВО «Северный (Арктический) федеральный университет имени М.В. Ломоносова», d.konovall@narfu.ru

Поступила в редакцию 16.08.2021.

Одобрено после рецензирования 20.09.2021.

Принята к публикации 15.11.2021.

PLANT SPECIES BIODIVERSITY IN FOREST NURSERY GROUND VEGETATION AND THEIR PHYTOCOENOTIC ACTIVITY

I.S. Konovalova✉, N.A. Babich, D.Yu. Konovalov

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

i.konovalova@narfu.ru

The study results of the morphological structure and ground vegetation phytocoenotic activity in forest nurseries in the Arkhangelsk region have been presented. About 44 % of forest nursery plant species are highly active (12 % species, active species (32 %), the share of medium activity species makes up 23 % in accordance with the classification of phytocoenotic activity. The largest biogroup of the flora is formed by perennial plants. They are represented by both vegetative mobile species and vegetative small and immobile plants. The results of the analysis reflect the diversity of bioecological adaptations of weed plants to the conditions of meadow communities, and are of particular practical importance, since it allows increasing the efficiency of the weed plants control system.

Keywords: biodiversity, forest nursery, species activity, phytocenosis, morphological structure, species constancy, species abundance

Suggested citation: Konovalova I.S., Babich N.A., Konovalov D.Yu. *Bioraznoobrazie vidov rasteniy napochvennogo pokrova lesnykh pitomnikov i ikh fitotsenoticheskaya aktivnost'* [Plant species biodiversity in forest nursery ground vegetation and their phytocoenotic activity]. *Lesnoy vestnik / Forestry Bulletin*, 2022, vol. 26, no. 2, pp. 5–13. DOI: 10.18698/2542-1468-2022-2-5-13

References

- [1] Bazdyrev G.I. *Zashchita sel'skokhozyaystvennykh kul'tur ot sornykh rasteniy* [Protection of agricultural crops from weeds]. Moscow: Kolos-S, 2004, 328 p.
- [2] Bazdyrev G.I., Zotov L.I., Polin V.D. *Sornye rasteniya i mery bor'by s nimi v sovremennom zemledelii* [Weed plants and measures to combat them in modern agriculture]. Moscow: MSKhA, 2004, 288 p.
- [3] Perederieva V.M., Tkachenko D.A. *Vliyanie predshestvennikov i sposobov obrabotki pochvy na biologicheskie pokazateli plodorodiya* [Influence of predecessors and methods of soil cultivation on biological indicators of fertility]. *Agrokhimicheskiy vestnik* [Agrochemical Bulletin], 2005, no. 4, pp. 14–15.
- [4] Vlasova O.I., Perederieva V.M., Ivashchenko A.V. *Sposob obrabotki pochvy kak faktor regulirovaniya potentsial'noy i real'noy zasorennosti pshenichnogo agrotsenoza na svetlo-kashtanovykh pochvakh* [Method of soil cultivation as a factor of regulation of potential and real weedingness of wheat agrocenosis on light chestnut soils]. *Vestnik Buryatskoy gosudarstvennoy sel'skokhozyaystvennoy akademii im. V.R. Fillipova* [Bulletin of the Buryat State Agricultural Academy named after V.R. Fillipov], 2009, no. 3 (16), pp. 32–35.
- [5] Dorozhko G.R., Vlasova O.I., Perederieva V.M. *Sposob obrabotki — faktor regulirovaniya fitosanitarnogo sostoyaniya pochvy i posevov ozimoy pshenitsy na chernozemakh vyshchelochennykh zony umerennogo uvlazhneniya Stavropol'skogo kraya* [Method of processing — a factor of regulation of the phytosanitary state of soil and winter wheat crops on chernozems, leached zones of moderate moisture in the Stavropol Territory]. *Nauchnyy zhurnal KubGAU* [Scientific journal of KubSAU], 2011, no. 04 (68), pp. 69–77.
- [6] Kazakevich L.I. *Materialy k biologii rasteniy Yugo-Vostoka Rossii: 1. Glavneyshie tipy vegetativnogo vozobnovleniya i razmnozheniya travyanistykh mnogoletnikov* [Materials for plant biology of the South-East of Russia: 1. The main types of vegetative renewal and reproduction of herbaceous perennials]. Saratov: Gubpoligrafotdel, 9-e Otdelenie, 1922, 24 p.
- [7] Mal'tsev A.I. *Sornye rasteniya SSSR i mery bor'by s nimi* [Weed plants of the USSR and measures to combat them]. Leningrad: Vsesoyuznyy institut prikladnoy botaniki i novykh kul'tur [All-Union. Institute of Applied Botany and New Cultures], 1926, 94 p.
- [8] Fisyunov A.V. *Spravochnik po bor'be s sornyakami* [Handbook of weed control]. Moscow: Kolos, 1976, 175 p.
- [9] Zakharenko A.V. *Teoreticheskie osnovy upravleniya sornym komponentom agrofytotsenoza v sistemakh zemledeliya* [Theoretical foundations of the management of the weed component of agrophytocenosis in farming systems]. Moscow: Izd-vo MSKhA, 2000, 466 p.
- [10] Fisyunov A.V. *Spravochnik po bor'be s sornyakami* [Handbook of weed control]. Moscow: Kolos, 1984, 255 p.
- [11] Shlyakova E.V. *Ekologo-biologicheskiy spektr sorno-polevoy flory Kostromskoy oblasti* [Ecological and biological spectrum of weed-field flora of the Kostroma region]. *Botantcheskiy zhurnal* [Botanical Journal], 1976, t. 64, no. 1, pp. 75–80.
- [12] Tulikov L.M. *Osobennosti rasprostraneniya i dinamika polevoy sornoy flory Moskovskoy oblasti* [Features of the distribution and dynamics of the field weed flora of the Moscow region]. *Izvestiya TSKhA*, 1983, v. 2, pp. 36–44.
- [13] Rodionova A.E. *Segetal'nye rasteniya Verkhnevolzh'ya* [Segetal plants of the Upper Volga region]. St. Petersburg: VIZR, 2001, 100 p.
- [14] Tret'yakova A.S. *Bioekologicheskaya kharakteristika segetal'noy flory Srednego Urala* [Bioecological characteristics of the segetal flora of the Middle Urals]. *Ekologiya* [Ecology], 2006, no. 2, pp. 110–115.
- [15] Palkina T.A. *Vidovoy sostav sornogo komponenta agrotsenozov v Ryazanskoy oblasti* [Species composition of the weed component of agrocenoses in the Ryazan region]. *Izvestiya TSKhA*, 2011, v. 6, pp. 107–117.
- [16] Palkina T.A. *Ekologo-tsenoticheskoe proiskhozhdenie sornykh rasteniy agrotsenozov v yuzhnoy chasti nechernozemnoy zony* [Ecological-cenotic origin of weeds of agrocenoses in the southern part of the non-chernozem zone]. *Vestnik KGU im. N.A. Nekrasova*, 2011, no. 3, pp. 29–32.
- [17] *Agroklimaticheskiy spravochnik po Arkhangel'skoy oblasti* [Agroclimatic guide to the Arkhangelsk region]. Leningrad: Gidrometeoizdat, 1961, 220 p.

- [18] Mal'tsev A.I. *Sornaya rastitel'nost' SSSR i mery bor'by s ney* [Weed vegetation of the USSR and measures to combat it]. Leningrad–Moscow: Sel'khozizdat, 1962, 272 p.
- [19] Serebryakov I.G. *Zhiznennye formy vysshikh rasteniy i ikh izuchenie* [Life forms of higher plants and their study]. Polevaya geobotanika [Field Geobotany], 1964, t. 3, pp. 46–205.
- [20] Cherepanov S.K. *Sosudistye rasteniya SSSR* [Vascular Plants of the USSR]. Leningrad: Nauka, 1981, 510 p.
- [21] Babich N.A., Nechaeva I.S. *Sornaya rastitel'nost' v lesnykh pitomnikakh* [Weed vegetation in forest nurseries]. Lesnoy Zhurnal (Russian Forestry Journal), 2009, no. 2, pp. 15–17.
- [22] Babich N.A., Nechaeva I.S. *Reproduktivnye svoystva sornykh rasteniy lesnykh pitomnikov* [Reproductive properties of weeds in forest nurseries]. Vestnik Mariyskogo gosudarstvennogo tekhnicheskogo universiteta [Bulletin of the Mari State Technical University], 2010, no. 2(9), pp. 57–67.
- [23] Babich N.A., Nechaeva I.S. *Sistematicheskaya struktura sornoy rastitel'nosti lesnykh pitomnikov sredney podzony taygi Arkhangel'skoy oblasti* [The systematic structure of weeds in forest nurseries in the middle taiga subzone of the Arkhangelsk region]. Khvoynye boreal'noy zony, 2011, v. XXVIII, no. 1–2, pp. 107–117.
- [24] Shmidt V.M. *Flora Arkhangel'skoy oblasti* [Flora of the Arkhangelsk region]. St. Petersburg: SPbGU, 2005, 346 p.
- [25] Yurtsev B.A. *Flora Suntar-Khayata: Problemy istorii vysokogor-nykh landshaftov Severo-Vostoka Sibiri* [Flora Suntar-Khayata: Problems of the history of high-mountain landscapes in the North-East of Siberia]. Leningrad: Nauka, 1968, 235 p.
- [26] Didukh Ya.P. *Problemy aktivnosti vidov rasteniy* [Problems of activity of plant species]. Botanicheskiy zhurnal [Botanical journal], 1982, t. 67, no. 7, pp. 925–935.
- [27] Mal'tsev A.I. *Sornaya rastitel'nost' SSSR* [Weed vegetation of the USSR]. Moscow–Leningrad: Sel'kolkhozGIZ, 1932, 296 p.
- [28] Kott S.A. *Spravochnoe posobie po bor'be s sornymi rasteniyami* [Reference manual for the control of weeds]. Moscow: Uchpedgiz, 1961, 248 p.
- [29] Nikitin V.V. *Sornye rasteniya flory SSSR* [Weed plants of the flora of the USSR]. Leningrad: Nauka, 1983, 454 p.

Authors' information

Konovalova Irina Sergeevna  — Cand. Sci. (Agriculture), Associate Professor, Northern (Arctic) Federal University named after M.V. Lomonosov, i.konovalova@narfu.ru

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

Konovalov Denis Yur'evich — Cand. Sci. (Agriculture), Associate Professor, Department of Technosphere Safety, Northern (Arctic) Federal University named after M.V. Lomonosov, d.konovalov@narfu.ru

Received 16.08.2021.

Approved after review 20.09.2021.

Accepted for publication 15.11.2021.

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

ФОРМИРОВАНИЕ МОНОДОМИНАНТНЫХ СООБЩЕСТВ КЛЕНА ЯСЕНЕЛИСТНОГО (*ACER NEGUNDO* L.) НА ЮГЕ ДАЛЬНЕГО ВОСТОКА РОССИИ

Н.А. Коляда

Федеральный научный центр биоразнообразия наземной биоты Восточной Азии ДВО РАН, 690022,
г. Владивосток, пр. 100-летия Владивостока, д. 159

Kolyada18@rambler.ru

Впервые на юге Дальнего Востока России (Спасский и Черниговский районы Приморского края) выявлены два растительных сообщества вторичного происхождения, в состав которых входит инвазионный для России вид клен ясенелистный (*Acer negundo* L.). Установлено, что данные сообщества занимают небольшую площадь (30×40 м² и 20×20 м²) и включают как типичные аборигенные виды — ясень маньчжурский (*Fraxinus mandshurica* Rupr.), жестер уссурийский (*Rhamnus ussuriensis* Ja. Vassil.), череду трехраздельную (*Bidens tripartite* L.) и др., так и интродуценты — девичий виноград садовый (*Parthenocissus inserta* (A. Kerner) Fritsch), вишенку войлочную (*Microcerasus tomentosa* (Thunb.) Eremin et Jushev) и др. Способность клена ясенелистного произрастать совместно с аборигенными видами на изначально нарушенных территориях, образуя вторичные сообщества, говорит не только о возможности расширения в дальнейшем площади подобных сообществ, но и постепенного внедрения этого вида в местные ценозы. Необходим дальнейший мониторинг для выявления подобных сообществ с участием клена ясенелистного на юге Дальнего Востока.

Ключевые слова: клен ясенелистный, североамериканский вид, инвазии, Приморский край, вторичный ареал, монодоминантное сообщество, пробные площадки

Ссылка для цитирования: Коляда Н.А. Формирование монодоминантных сообществ клена ясенелистного (*Acer negundo* L.) на юге Дальнего Востока России // Лесной вестник / Forestry Bulletin, 2022. Т. 26. № 2. С. 14–23. DOI: 10.18698/2542-1468-2022-2-14-23

Одним из наиболее распространенных древесных инвазионных видов является клен ясенелистный (*Acer negundo* L.) семейства Сапиндовые (Sapindaceae Juss.), естественный ареал которого охватывает восточную часть Северной Америки. В настоящее время этот вид интродуцирован практически на все континенты — по всей территории Северной и в пределы Южной Америки, в Евразию, Австралию и Африку, что сформировало вторичный ареал его распространения. Экологические особенности вида обусловили его инвазионность в различных частях вторичного ареала [1, 2] с распространением преимущественно на приречных территориях [3].

Успешность инвазий клена ясенелистного связывают с его аллелопатией [4, 5] и в результате снижением формирования микоризы у аборигенных травянистых растений [6].

Основной негативный эффект интродукции клена ясенелистного — обеднение естественных сообществ, прежде всего пойменных [7–9], ухудшение роста и развития аборигенных видов, снижение их разнообразия. Это объясняют, в частности, образованием плотного полога, снижающего освещенность, хотя в некоторых исследованиях подобное влияние клена ясенелистного

связывают с возможным аллелопатическим воздействием [10].

В России клен ясенелистный также проявляет инвазионные свойства [11]. Он входит в топ-100 наиболее опасных инвазионных видов [12] и включен в региональные черные книги [13–17].

На юг Дальнего Востока России клен ясенелистный был введен в культуру садоводом С.И. Еловицким в 1906–1907 гг. [18] и нашел широкое применение в озеленении. Он стал одним из наиболее массовых интродуцентов и был включен в состав флоры Дальнего Востока России, где встречается от пос. Солнечный Хабаровского края (50°43' с. ш., 136°38' в. д.) до пгт Хасан Хасанского р-на Приморского края (42°25'42" с. ш., 130°38'44" в. д.) [19].

В Приморском крае клен ясенелистный характеризуется быстрым ростом, ранним началом семеношения, высокой всхожестью семян, неприхотливостью к составу почвы, освещению и загрязнению воздуха, относительными засухоустойчивостью и морозостойкостью.

К настоящему времени наиболее старым экземплярам клена ясенелистного 70 лет, они имеют высоту 15 м и диаметр ствола 60 см. Болезнями и вредителями практически не повреждается, хотя исследований этого направления недостаточно. Отмечена вероятность нахождения у клена

ясенелистного в Приморском крае такого вредителя, как американская белая бабочка (*Hyphantria cunea* Drury) [20]. Описан единственный случай поражения грибом *Sawadaea tulasnei* (Fuckel) Nomma.

Клен ясенелистный используется в ландшафтном дизайне региона более чем 100 лет, однако публикаций о его распространении и возобновлении недостаточно. Нами начаты работы по этому вопросу в 2013 г.

В пределах вторичного ареала, в том числе и на Дальнем Востоке, клен ясенелистный обладает инвазионными свойствами [21–23]. Он хорошо размножается семенами и вегетативно, заселяется в нарушенные места, однако в естественные сообщества не внедряется [24], что объясняется высокой степенью биоразнообразия аборигенных фитоценозов.

В нарушенных местах он нередко интенсивно расселяется, иногда произрастая и с аборигенными видами [19] (рис. 1). В населенных пунктах по причине отсутствия ухода он произрастает сплошными полосами шириной 1...7 м вдоль дорог (например, в с. Новосельское Спасского района, координаты — 44°46'30" с. ш., 132°41'35" в. д., с. Меркушевка Черниговского района, координаты — 44°22'43" с. ш., 132°47'25" в. д.), иногда вдоль водотоков (например, по дороге от с. Чкаловское, координаты — 44°50'15" с. ш., 133°02'30" в. д., до с. Зеленодольское Спасского района, координаты — 44°55'06" с. ш., 133°04'35" в. д.).

Материалы и методы

В 2020–2021 гг. в соответствии с общепринятыми методиками [25] были заложены и описаны семь временных пробных площадок размерами 5×5 м в пределах двух монодоминантных сообществ клена ясенелистного. Латинские названия растений в статье приводятся по сводке «Сосудистые растения советского Дальнего Востока» [26].

Результаты и обсуждение

В 2020 г. Приморского края нами были обнаружены два участка сплошных зарослей клена ясенелистного. Приводим описание семи пробных площадок в пределах этих двух монодоминантных сообществ клена ясенелистного.

Первый участок: площадь 30×40 м²; местонахождение с. Евсеевка Спасского района (44°24'31" с. ш., 132°53'25" в. д.) (рис. 2).

Всего насчитывается около 250 экземпляров клена ясенелистного высотой до 5...7 м. Травостой в местах его произрастания практически отсутствует, отмечается интенсивное семенное размножение, на участке размером 50×50 см насчитывается 35 семян.



Рис. 1. Клен ясенелистный среди ильма мелколистного (*Ulmus pumila* L.), с. Анучино Приморского края (43°57'24" с. ш. 133°03'34" в. д.)

Fig. 1. Ash-leaved maple among small-leaved elm (*Ulmus pumila* L.), Anuchino, Primorsky Krai (43°57'24" N, 133°03'34" E)

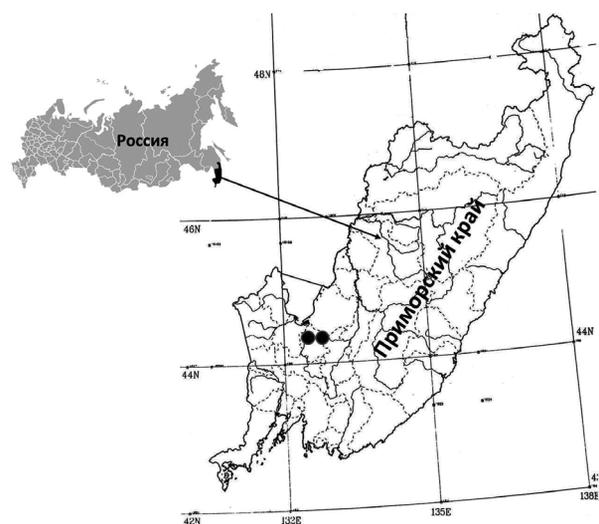


Рис. 2. Местонахождение монодоминантных зарослей клена ясенелистного в Приморском крае

Fig. 2. Location of monodominant thickets of ash-leaved maple in Primorsky Krai

Пробная площадка № 1

Первый ярус: клен ясенелистный (21 экземпляр высотой до 5 м и ствол диаметром до 11 см.

Подрост: ясень маньчжурский (*Fraxinus mandshurica* Rupr.) — 3 экз. высотой до 25 см; ильм японский (*Ulmus japonica* (Rehd.) Sarg.) — 7 экз. высотой до 30 см; клен мелколистный (*Acer mono* Maxim.) — 3 экз. высотой до 30 см; клен приречный (*Acer ginnala* Maxim.) — 1 экз. высотой до 25 см.

Подлесок: жимолость (*Lonicera* sp.) — 15 экз. высотой до 30 см; жостер уссурийский (*Rhamnus ussuriensis* Ja. Vassil.) — 2 экз. высотой до 50 см.



Рис. 3. Заросль клена ясенелистного в окрестностях с. Меркушевка Приморского края

Fig. 3. Thicket of ash-leaved maple in the vicinity of the settlement Merkushevka, Primorsky Krai

Травяной ярус: лопух большой (*Arctium lappa* L.) — 4 экз. высотой до 30 см; гравилат алеппский (*Geum aleppicum* Jacq.) — 1 экз. высотой до 15 см; герань (*Geranium* sp.) — 3 экз. высотой до 25 см; репяшок зернистый (*Agrimonia granulosa* Juz.) — 3 экз. высотой до 18 см; звездчатка средняя (*Stellaria media* (L.) Vill.) — 1 экз. высотой до 40 см.

Внеярусные растения: девичий виноград сардинский (*Parthenocissus inserta* (A. Kerner) Fritsch) — 1 экз.

Пробная площадка № 2

Первый ярус: клен ясенелистный — 13 экз. высотой до 5 м, диаметр ствола до 10 см.

Подрост: ясень маньчжурский (*Fraxinus mandshurica* Rupr.) — 8 экз. высотой до 17 см; ильм японский (*Ulmus japonica* (Rehd.) Sarg.) — 5 экз. высотой до 30 см; ильм лопастный (*Ulmus laciniata* (Trautv.) Mayr) — 1 экз. высотой 22 см; клен мелколистный (*Acer mono* Maxim.) — 3 экз. высотой до 30 см; клен приречный (*Acer ginnala* Maxim.) — 1 экз. высотой до 25 см.

Подлесок: жимолость (*Lonicera* sp.) — 2 экз. высотой до 15 см; жостер уссурийский (*Rhamnus ussuriensis* Ja. Vassil.) — 1 экз. высотой 20 см; смородина (*Ribes* sp.) — 2 экз. высотой до 24 см.

Травяной ярус: череда трехраздельная (*Bidens tripartita* L.) — 10 экз. высотой до 23 см.

Внеярусные растения: луносемянник даурский (*Menispermum dauricum* DC.) — 2 экз. длиной до 8 см.

Пробная площадка № 3

Первый ярус: клен ясенелистный — 17 экз. высотой до 5 м, диаметр ствола до 12 см.

Подрост: ясень маньчжурский (*Fraxinus mandshurica* Rupr.) — 6 экз. высотой до 31 см.

Подлесок: жимолость (*Lonicera* sp.) — 6 экз. высотой до 15 см; жостер уссурийский (*Rhamnus ussuriensis* Ja. Vassil.) — 1 экз. высотой 26 см; смородина (*Ribes* sp.) — 1 экз. высотой до 30 см.

Травяной ярус: череда трехраздельная (*Bidens tripartita* L.) — 20 экз. высотой до 30 см; герань (*Geranium* sp.) — 1 экз. высотой 22 см; репяшок зернистый (*Agrimonia granulosa* Juz.) — 2 экз. высотой до 32 см.

Второй участок: площадь 20×20 м²; месторасположение с. Меркушевка Черниговского района (см. рис. 2).

Всего насчитывается 55 экз. клена ясенелистного, при этом травостой низкий, подрост и сеянцы клена ясенелистного отсутствуют (рис. 3).

Пробная площадка № 4

Первый ярус: клен ясенелистный — 5 многоствольных экземпляров высотой до 7 м, диаметр ствола до 7...15 см.

Подрост: ильм японский (*Ulmus japonica* (Rehd.) Sarg.) — 1 экз. высотой 60 см; ива (*Salix* sp.) — 1 экз. высотой 50 см; черемуха обыкновенная (*Padus avium* Mill.) — 1 экз. высотой 25 см.

Подлесок: малина обыкновенная (*Rubus idaeus* L.) — 2 экз. высотой до 50 см; жимолость (*Lonicera* sp.) — 9 экз. высотой до 40 см; жостер уссурийский (*Rhamnus ussuriensis* Ja. Vassil.) — 1 экз. высотой 80 см; вишенка войлочная (*Microcerasus tomentosa* (Thunb.) Eremin et Jushev) — 1 экз. высотой 40 см.

Травяной ярус: чистотел азиатский (*Chelidonium asiaticum* (Hara) Krachulkova) — 5 экз. высотой до 25 см; лопух большой (*Arctium lappa* L.) — 9 экз. высотой до 30 см; крапива светло-зеленая (*Urtica laetevirens* Maxim.) — 8 экз. высотой до 50 см; фиалка южноуссурийская (*Viola austro-ussuriensis* (W. Beck.) Kom.) — 1 экз. высотой до 25 см.

Пробная площадка № 5

Первый ярус: клен ясенелистный — 4 экз., из них 3 экз. многоствольные высотой до 7 м, диаметр ствола 7...13 см.

Подрост: черемуха обыкновенная (*Padus avium* Mill.) — 1 экз. высотой 30 см; клен приречный (*Acer ginnala* Maxim.) — 2 экз. высотой до 25 см; ильм японский (*Ulmus japonica* (Rehd.) Sarg.) — 2 экз. высотой 1 м.

Подлесок: жимолость (*Lonicera* sp.) — 8 экз. высотой до 60 см.

Травяной ярус: лопух большой (*Arctium lappa* L.) — 13 экз. высотой до 30 см; фиалка южноуссурийская (*Viola austro-ussuriensis* (W. Beck.) Kom.) — 3 экз. высотой до 25 см; чистотел азиатский (*Chelidonium asiaticum* (Hara) Krachulkova) — 25 экз. высотой до 30 см; одуванчик лекарственный (*Taraxacum officinale* Wigg.) — 1 экз. высотой 15 см.

Пробная площадка № 6

Первый ярус: клен ясенелистный — 5 экз., из них 2 — многоствольные, высотой до 7 м, с диаметром ствола 8...16 см.

Подрост: ильм японский (*Ulmus japonica* (Rehd.) Sarg.) — 6 экз. высотой 1,5 м.

Подлесок: малина обыкновенная (*Rubus idaeus* L.) — 1 экз. высотой 15 см; жимолость (*Lonicera* sp.) — 2 экз. высотой до 50 см.

Травяной ярус: чистотел азиатский (*Chelidonium asiaticum* (Hara) Krachulkova) — 27 экз. высотой до 25 см; лопух большой (*Arctium lappa* L.) — 15 экз. высотой до 30 см; одуванчик лекарственный (*Taraxacum officinale* Wigg.) — 1 экз. высотой 20 см.

Пробная площадка № 7

Первый ярус: клен ясенелистный — 4 экз., из них 2 — многоствольные высотой до 7 м, диаметр ствола 9...18 см.

Подрост: ильм японский (*Ulmus japonica* (Rehd.) Sarg.) — 3 экз. высотой 70 см; ясень маньчжурский (*Fraxinus mandshurica* Rupr.) — 1 экз. высотой 70 см.

Подлесок: малина обыкновенная (*Rubus idaeus* L.) — 4 экз. высотой до 30 см; жимолость (*Lonicera* sp.) — 9 экз. высотой до 70 см.

Травяной ярус: лопух большой (*Arctium lappa* L.) — 1 экз. высотой 30 см; фиалка южно-уссурийская (*Viola austro-ussuriensis* (W. Beck.) Kom.) — 1 экз. высотой 15 см; чистотел азиатский (*Chelidonium asiaticum* (Hara) Krachulkova) — 21 экз. высотой до 50 см; крапива светло-зеленая (*Urtica laetevirens* Maxim.) — 5 экз. высотой до 35 см.

Выводы

Клен ясенелистный в последние годы во вторичном ареале начинает формировать сообщества, в которых занимает лидирующее положение.

Выявлены два участка (с. Евсеевка и с. Меркушевка), представляющие собой заросли кле-на ясенелистного, который составляет первый ярус. Аборигенные древесные растения в первом ярусе отсутствуют. Подрост представлен немногочисленными экземплярами ильма японского, черемухи обыкновенной, ясеня маньчжурского и др. В состав подлеска входят жостер уссурийский, некоторые виды смородины и жимолости. Наличие в подлеске таких культурных растений, как малина обыкновенная и вишенка войлочная позволяет предполагать, что данное сообщество сформировалось вблизи существовавших ранее жилых или хозяйственных построек.

На участке в с. Меркушевка, в отличие от участка в с. Евсеевка, отсутствуют сеянцы кле-на ясенелистного, что, вероятно, можно связать с отсутствием женских экземпляров растения.

Способность кле-на ясенелистного произрастать совместно с аборигенными видами на изначально нарушенных территориях, образуя

вторичные сообщества, свидетельствует о возможности не только расширения в дальнейшем площади подобных сообществ, но и постепенного внедрения этого вида в местные ценозы.

Список литературы

- [1] Pyšek P., Pergl J., Essl F., Lenzner B., Dawson W., Kreft H., Weigelt P., Winter M. et al. Naturalized and invasive flora of the world: species diversity, taxonomic and phylogenetic patterns, geographic distribution and global hotspots of plant invasion // *Preslia*, 2017, v. 89, pp. 203–274.
- [2] Джус М.А., Романюк А.Л. История интродукции и распространение кле-на ясенелистного (*Acer negundo* L., Sapindaceae) в Беларуси // Состояние и перспективы развития зеленого строительства в Республике Беларусь. Тезисы Республиканского научно-практического семинара, Минск, Беларусь, 26–27 апреля 2018 г. Минск: Медисонт, 2018. С. 54–57.
- [3] Szumańska I., Lubińska-Mielińska S., Kamiński D., Rutkowski L., Nienartowicz A., Piernik A. Invasive plant species distribution is structured by soil and habitat type in the city landscape // *Plants*, 2021, v. 10(4), p. 773.
- [4] Yeryomenko Y.A. Allelopathic activity of invasive arboreal species // *Rus. J. Biol. Invasions*, 2014, v. 5, no. 3, pp. 146–150.
- [5] Ситников М.А., Онистратенко Н.В. Основные экологически значимые метаболиты кле-на ясенелистного *Acer negundo* и его аллелопатическая роль в пойменной экосистеме // Антропогенная трансформация геопространства: природа, хозяйство, общество: Материалы V Междунар. науч.-практ. конф. Волгоград, 01–04 октября 2019 г. Волгоград: Изд-во Волгоградского гос. ун-та, 2010. С. 121–126.
- [6] Веселкин Д.В., Рафикова О.С., Екшибаров Е.Д. Почва из зарослей инвазивного *Acer negundo* неблагоприятна для образования микоризы у аборигенных трав // *Журн. общей биологии*, 2019. Т. 80. № 3. С. 214–225. DOI: 10.1134/S0044459619030084.
- [7] Abramova L.M., Agishev V.S., Khaziakhmetov R.M. Immigration of *Acer negundo* L. (Aceraceae) into the floodplain forests of the northwest of Orenburg oblast // *Russian J. of Biological Invasions*, 2019, v. 10, no. 3, pp. 199–204.
- [8] Николаева А.А. Законодательное регулирование удаления *Acer negundo* в г. Москве // *Грани познания*, 2019. № 6(65). С. 106–108.
- [9] Sikorska D., Sikorski P., Archiciński P., Chormański J., Hopkins R.J. You can't see the woods for the trees: invasive *Acer negundo* L. in urban riparian forests harms biodiversity and limits recreation activity // *Sustainability*, 2019, v. 11, p. 5838.
- [10] Дубровин Д.И., Крупина Д.П. Эффект сомкнутости крон инвазивного *Acer negundo* L. на плотность видов и обилие трав в урбанизированных сообществах // *Наука, природа и общество. Материалы Всерос. науч. конф., посвященной 100-летию Ильменского государственного заповедника, 100-летию со дня рождения академика П.Л. Горчаковского и 70-летию со дня рождения минералога В.О. Полякова*, Миасс, 10–14 мая 2020 года. Миасс: Ильменский государственный заповедник, 2020. С. 58–62.
- [11] Vinogradova Yu., Pergl J., Essl F., Hejda M., van Kleunen M., Pyšek P. Invasive alien plants of Russia: insights from regional inventories // *Biol. Invasions*, 2018, v. 20, pp. 1931–1943.
- [12] Самые опасные инвазионные виды России (ТОП-100) / под ред. Ю.Ю. Дгебуадзе, В.Г. Петросян, Л.А. Хляп. М.: Товарищество научных изданий КМК, 2018. 688 с.

- [13] Виноградова Ю.К., Майоров С.Р., Хорун Л.В. Черная книга флоры Средней России: чужеродные виды растений в экосистемах Средней России. М.: ГЕОС, 2010. 512 с.
- [14] Виноградова Ю.К., Майоров С.Р., Нотов А.А. Черная книга флоры Тверской области: чужеродные виды растений в экосистемах Тверского региона. М.: Товарищество научных изданий КМК, 2011. 279 с.
- [15] Стародубцева Е.А., Морозова О.В., Григорьевская А.Я. Материалы к «Черной книге Воронежской области» // Рос. журн. биологических инвазий, 2014. № 2. С. 133–149
- [16] Черная книга флоры Сибири / под ред. Ю.К. Виноградовой, А.Н. Куприянова. Новосибирск: Гео, 2016. 439 с.
- [17] Саксонов С.С. Инвазии *Acer negundo* L. (Aceraceae) в Ульяновской области // Самарская Лука: проблемы региональной и глобальной экологии, 2018. Т. 27. № 3. С. 215–219.
- [18] Василюк В.К., Врищ Д.Л., Журавков А.Ф. Озеленение городов Приморья. Владивосток: Изд-во ДВО АН СССР, 1987. 516 с.
- [19] Коляда Н.А. К уточнению границ вторичных ареалов североамериканских потенциально инвазионных видов древесных растений на юге Дальнего Востока России // Сибирский лесной журнал, 2021. № 1. С. 68–76.
- [20] Ясюкевич В.В., Титкина С.Н., Попов И.О., Давидович Е.А., Ясюкевич Н.В. О формировании вторичного ареала американской белой бабочки (*Huphantria cunea* Druge, Arctiidae, Lepidoptera) в России и соседних странах в XXI веке, 2013. URL: <http://downloads.igce.ru/publications/pemem/PEMEM25/>
- 22_Yasjukevich_etc_ABB.pdf (дата обращения 02.07.2021 г.).
- [21] Антонова Л.А. Инвазионный компонент флоры Хабаровского края // Рос. журн. биологических инвазий, 2012. № 4. С. 2–9.
- [22] Антонова Л.А. Спонтанное расселение интродуцированных деревьев и кустарников в Хабаровском крае // Охрана и рациональное использование лесных ресурсов. Материалы VI Междунар. форума, Благовещенск — Хэйхэ — Харбин, 10–17 июня 2013 г. Благовещенск — Хэйхэ — Харбин: Изд-во ДальГАУ, 2013. С. 38–43.
- [23] Vinogradova Y.K., Aistova E.V., Antonova L.A., Chernyagina O.A., Chubar E.A., Darman G.F., Devyatova E.A. et al. Invasive plants in flora of the Russian Far East: the checklist and comments // Botanica Pacifica, 2020, v. 9, no. 1, pp. 103–129.
- [24] Kolyada N.A., Kolyada A.S. Occurrence of potentially invasive species box elder (*Acer negundo* L.) in the south of the Russian Far East // Russian J. of Biological Invasions, 2017, v. 8, iss. 1, pp. 41–44.
- [25] Жукова А.И., Григорьев И.В., Григорьева О.И., Ледяева А.С. Лесное ресурсоведение. СПб.: Изд-во Санкт-Петербургской ГЛТА, 2008. 215 с.
- [26] Сосудистые растения советского Дальнего Востока / под ред. С.С. Харкевича. Л.: Наука, 1985, Т. 1, 399 с.; 1987, Т. 2, 446 с.; 1988, Т. 3, 421 с.; 1989, Т. 4, 380 с.; СПб.: Наука, 1991, Т. 5, 390 с.; 1992, Т. 6, 428 с.; 1995, Т. 7, 395 с.; 1996, Т. 8, 383 с.

Сведения об авторе

Коляда Нина Анатольевна — канд. биол. наук, ст. науч. сотр. Федерального научного центра биоразнообразия наземной биоты Восточной Азии ДВО РАН, Kolyada18@rambler.ru

Поступила в редакцию 07.07.2021.

Одобрена после рецензирования 24.09.2021.

Принята к публикации 12.11.2021.

FORMATION OF MONODOMINANT COENOSES WITH ASH-LEAVED MAPLE (*ACER NEGUNDO* L.) IN THE SOUTH OF THE RUSSIAN FAR EAST

N.A. Kolyada

Federal Scientific Center of the East Asia Terrestrial Biodiversity, Far East Branch of the Russian Academy of sciences, 159, 100-letiya Vladivostoka av., 690022, Vladivostok, Russia

Kolyada18@rambler.ru

In the south of the Russian Far East (Spassky and Chernigov districts of Primorsky Krai), two plant communities of secondary origin were first found, which include ash-leaved maple (*Acer negundo* L.), invasive species for Russia. It has been established that these communities occupy a small area (30×40 m² and 20×20 m²) and include both typical aboriginal species — Manchurian ash (*Fraxinus mandshurica* Rupr.), Ussuri buckthorn (*Rhamnus ussuriensis* Ja. Vassil.), three-lobed beggartick (*Bidens tripartita* L.) and others, as well as introduced species — thicklet creeper (*Parthenocissus inserta* (A. Kerner) Fritsch), Korean cherry (*Microcerasus tomentosa* (Thunb.) Eremin et Jushev), etc. The ability of ash-leaved maple to grow together with native species in initially disturbed territories forming secondary communities indicates the possibility of expanding the area of such communities in the future and gradual introduction of this species into local coenoses. Further monitoring is needed to identify similar communities with ash-leaved maple in the south of the Russian Far East.

Keywords: ash-leaved maple, North American species, invasions, Primorsky Krai, secondary area, monodominant coenosis, temporary test plots

Suggested citation: Kolyada N.A. *Formirovanie monodominantnykh soobshchestv klena yasenelistnogo (Acer negundo L.) na yuge Dal'nego Vostoka Rossii* [Formation of monodominant coenoses with ash-leaved maple (*Acer negundo* L.) in the south of the Russian Far East]. *Lesnoy vestnik / Forestry Bulletin*, 2022, vol. 26, no. 2, pp. 14–23. DOI: 10.18698/2542-1468-2022-2-14-23

One of the most common tree invasive species is the ash-leaved maple (*Acer negundo* L.) from the family Sapindaceae Juss, whose natural range covers the eastern part of North America. At present, this species has been introduced to almost all continents — throughout North and South America, Eurasia, Australia and Africa, which has formed a secondary area.

The ecological features of the species determined its invasiveness in various parts of the secondary range [1, 2] with distribution mainly in riverine areas [3].

The ecological features of the species have led to the fact that in various parts of the secondary area, it is invasive [1, 2], occupying most often riverside territories [3].

The success of ash maple invasions is associated with its allelopathy [4, 5] and, as a result, a decrease in the formation of mycorrhiza in native herbaceous plants [6].

The main negative effect of the introduction of ash-leaved maple is the depletion of natural communities, primarily floodplains [7–9], deterioration in the growth and development of native species, and a decrease in their diversity. This is explained, in particular, by the formation of a dense canopy that reduces illumination, although in some studies such an effect of ash-leaved maple is associated with a possible allelopathic effect [10].

In Russia, the ash-leaved maple also exhibits invasive properties [11], it is included in the top 100 most dangerous invasive species [12] and is included in the regional Black Books [13–17].

In the south of the Far East of Russia, the ash-leaved maple was introduced into the culture by the gardener S.I. Elovitsky in 1906–1907 [18] and has found wide application in landscaping. It became one of the most widespread introducers and was included in the flora of the Russian Far East, where it occurs from the village Solnechny in Khabarovskiy Krai (50°43' N, 136°38' E) to the village Khasan (Khasansky District of Primorsky Krai) (42°25'42" N, 130°38'44" E) [19].

In Primorsky Krai, ash-leaved maple is characterized by rapid growth, early seed production, high seed germination, unpretentiousness to soil composition, lighting and air pollution, relative drought resistance and frost resistance.

By now, the oldest specimens of the ash-leaved maple are 70 years old, they have a height of 15 m and a trunk diameter of 60 cm. They are practically not damaged by diseases and pests, although there is not enough research in this direction. The probability of finding a pest such as the American white butterfly (*Hyphantria cunea* Drury) in the ash-leaved maple in Primorsky Krai was noted [20]. A single case of infection with the fungus *Sawadaea tulasnei* (Fuckel) Homma is described.

For more than 100 years, the ash maple has been used in the landscape design of the region, but there are not enough publications on its distribution and renewal. We started work on this issue in 2013.

Within the secondary range, including the Far East, the ash-leaved maple has invasive properties [21–23]. It reproduces well by seeds and vegetatively, populates disturbed areas, but does not invade natural



Fig. 1. Ash-leaved maple among small-leaved elm (*Ulmus pumila* L.), Anuchino, Primorsky Krai (43°57'24" N, 133°03'34" E)



Fig. 2. Location of monodominant thickets of ash-leaved maple in Primorsky Krai

communities [24], which is explained by the high degree of biodiversity of native phytocenoses.

In disturbed areas, it often intensively spreads, sometimes growing with native species [19] (Fig. 1).

In settlements, due to lack of care, it grows in continuous strips 1...7 m wide along roads (for example, in the village of Novoselskoye, Spassky District, coordinates — 44°46'30" N; 132°41'35" E., village of Merkushevka, Chernihiv region, coordinates — 44°22'43" N, 132°47'25" E), sometimes along watercourses (for example, on the road from the village of Chkalovskoye, coordinates — 44°50'15" N; 133°02'30" E, to the village of Zelenodolskoye, Spassky District, coordinates — 44°55'06" N; 133°04'35" E).

Material and methods

In 2020–2021 in accordance with generally accepted methods [25], seven temporary test plots with

dimensions of 5×5 m were established and described in two monodominant communities of ash-leaved maple. Latin names of plants are given according to «Vascular Plants of the Soviet Far East» [26].

Results and discussion

In 2020 in Primorsky Krai we found two places of continuous thickets of ash-leaved maple. We present a description of seven test plots within these two monodominant communities of ash-leaved maple.

First plot: area of 30×40 m², location settlement Evseevka (44°24'31" N, 132°53'25" E) of the Spassky District (Fig. 2).

In total, there are about 250 specimens of ash-leaved maple up to 5...7 in height, the grass stand is practically absent, intensive seed reproduction is noted, there are 35 seedlings on an area of 50×50 cm.

Temporary test plot no. 1.

Ist layer: ash-leaved maple (21 specimens up to 5 m in height and 11 cm in diameter).

Undergrowth: Manchurian ash (*Fraxinus mandshurica* Rupr.) — 3 specimens up to 25 cm in height; Japanese elm (*Ulmus japonica* (Rehd.) Sarg.) — 7 specimens up to 30 cm in height; mono maple (*Acer mono* Maxim.) — 3 specimens up to 30 cm in height; Amur maple (*Acer ginnala* Maxim.) — 1 specimen up to 25 cm in height.

Underbrush: honeysuckle (*Lonicera* sp.) — 15 specimens up to 30 cm in height; Ussuri buckthorn (*Rhamnus ussuriensis* Ja. Vassil.) — 2 specimens up to 50 cm in height.

Herbal layer: burdock (*Arctium lappa* L.) — 4 specimens up to 30 cm in height; common avens (*Geum aleppicum* Jacq.) — 1 specimen up to 15 cm in height; crane's bill (*Geranium* sp.) — 3 specimens up to 25 cm in height; common agrimony (*Agrimonia granulosa* Juz.) — 3 specimens up to 18 cm in height; chickweed satin flower (*Stellaria media* (L.) Vill.) — 1 specimen up to 40 cm in height.

Non-layer plants: a thicket creeper (*Parthenocissus inserta* (A. Kerner) Fritsch) — 1 specimen.

Temporary test plot no. 2.

Ist layer: ash-leaved maple (13 specimens up to 5 m in height and 10 cm in diameter).

Undergrowth: Manchurian ash (*Fraxinus mandshurica* Rupr.) — 8 specimens up to 17 cm in height; Japanese elm (*Ulmus japonica* (Rehd.) Sarg.) — 5 specimens up to 30 cm in height; cut-leaved elm (*Ulmus laciniata* (Trautv.) Mayr) — 1 specimen of 22 cm in height; mono maple (*Acer mono* Maxim.) — 3 specimens up to 30 cm height; Amur maple (*Acer ginnala* Maxim.) — 1 specimen up to 25 cm in height.

Underbrush: honeysuckle (*Lonicera* sp.) — 2 specimens up to 15 cm in height; Ussuri buckthorn (*Rhamnus ussuriensis* Ja. Vassil.) — 1 specimen 20 cm in height; currant (*Ribes* sp.) — 2 specimens up to 24 cm in height.

Herbal layer: three-lobed beggartick (*Bidens tripartita* L.) — 10 specimens up to 23 cm in height.

Non-layer plants: Asian moonseed (*Menispermum dauricum* DC.) — 2 specimens up to 8 cm in length.

Temporary test plot no. 3.

Ist layer: ash-leaved maple (17 specimens up to 5 m in height and 12 cm in diameter).

Undergrowth: Manchurian ash (*Fraxinus mandshurica* Rupr.) — 6 specimens up to 31 cm in height).

Underbrush: honeysuckle (*Lonicera* sp.) — 6 specimens up to 15 cm in height; Ussuri buckthorn (*Rhamnus ussuriensis* Ja. Vassil.) — 1 specimen 26 cm in height; currant (*Ribes* sp.) — 1 specimen up to 30 cm in height.

Herbaceous layer: three-lobed beggartick (*Bidens tripartita* L.) — 20 specimens up to 30 cm in height; crane's bill (*Geranium* sp.) — 1 specimen 22 cm in height; common agrimony (*Agrimonia granulosa* Juz.) — 2 specimens up to 32 cm in height.

Second plot: area 20×20 m²; location settlement Merkushevka, Chernigovskiy District (see Fig. 2)

There are 55 specimens of ash-leaved maple, the herbage is low, undergrowth and seedlings of maple are absent (Fig. 3).

Temporary test plot no. 4.

Ist layer: ash-leaved maple (5 multi-stemmed specimens up to 7 m in height and 7...15 cm in diameter).

Undergrowth: Japanese elm (*Ulmus japonica* (Rehd.) Sarg.) — 1 specimen 60 cm in height; willow (*Salix* L. sp.) — 1 specimen 50 cm in height; bird cherry (*Padus avium* Mill.) — 1 specimen 25 cm in height.

Underbrush: common raspberry (*Rubus idaeus* L.) — 2 specimens up to 50 cm in height; honeysuckle (*Lonicera* sp.) — 9 specimens up to 40 cm in height; Ussuri buckthorn (*Rhamnus ussuriensis* Ja. Vassil.) — 1 specimen 80 cm in height; Korean cherry (*Microcerasus tomentosa* (Thunb.) Eremin et Jushev) — 1 specimen 40 cm in height.

Herbal layer: Asian celandine (*Chelidonium asiaticum* (Hara) Krachulkova) — 5 specimens up to 25 cm in height; burdock (*Arctium lappa* L.) — 9 specimens up to 30 cm in height; light-green nettle (*Urtica laetevirens* Maxim.) — 8 specimens up to 50 cm in height; South Ussuri violet (*Viola austro-ussuriensis* (W. Beck.) Kom.) — 1 specimen up to 25 cm in height.

Temporary test plot no. 5.

Ist layer: ash-leaved maple (4 specimens, of which 3 are multi-stemmed, up to 7 m in height and 7...13 cm in diameter).

Undergrowth: bird cherry (*Padus avium* Mill.) — 1 specimen 30 cm in height; Amur maple (*Acer ginnala* Maxim.) — 2 specimens up to 25 cm in height; Japanese elm (*Ulmus japonica* (Rehd.) Sarg.) — 2 specimens 1 m in height).



Fig. 3. Thicket of ash-leaved maple in the vicinity of the settlement Merkushevka, Primorsky Krai

Underbrush: honeysuckle (*Lonicera* sp.) — 8 specimens up to 60 cm in height).

Herbal layer: burdock (*Arctium lappa* L.) — 13 specimens up to 30 cm in height; South Ussuri violet (*Viola austro-ussuriensis* (W. Beck.) Kom.) — 3 specimens up to 25 cm in height; Asian celandine (*Chelidonium asiaticum* (Hara) Krachulkova) — 25 specimens up to 30 cm in height; common dandelion (*Taraxacum officinale* Wigg.) — 1 specimen 15 cm in height.

Temporary test plot no. 6.

Ist layer: ash-leaved maple (5 specimens, of which 2 are multi-stemmed, up to 7 m in height and 8–16 cm in diameter).

Undergrowth: Japanese elm (*Ulmus japonica* (Rehd.) Sarg.) — 6 specimens 1,5 m in height.

Underbrush: common raspberry (*Rubus idaeus* L.) — 1 specimen 15 cm in height; honeysuckle (*Lonicera* sp.) — 2 specimens up to 50 cm in height.

Herbal layer: Asiatic celandine (*Chelidonium asiaticum* (Hara) Krachulkova) — 27 specimens up to 25 cm in height; burdock (*Arctium lappa* L.) — 15 specimens up to 30 cm in height; common dandelion (*Taraxacum officinale* Wigg.) — 1 specimen 20 cm in height.

Temporary test plot no. 7.

Ist layer: ash-leaved maple — 4 specimens, of which 2 are multi-stemmed, up to 7 m in height and 9...18 cm in diameter.

Undergrowth: Japanese elm (*Ulmus japonica* (Rehd.) Sarg.) — 3 specimens 70 cm in height; Manchurian ash (*Fraxinus mandshurica* Rupr.) — 1 specimen 70 cm in height.

Underbrush: common raspberry (*Rubus idaeus* L.) — 4 specimens up to 30 cm in height; honeysuckle (*Lonicera* sp.) — 9 specimens up to 70 cm in height.

Herbal layer: burdock (*Arctium lappa* L.) — 1 specimen 30 cm in height; South Ussuri violet (*Viola austro-ussuriensis* (W. Beck.) Kom.) — 1 specimen 15 cm in height; Asiatic celandine (*Chelidonium*

asiaticum (Hara) Krachulkova) — 21 specimens up to 50 cm in height; light-green nettle (*Urtica laetevirens* Maxim.) — 5 specimens up to 35 cm in height.

Conclusions

According to the author's observations, the ash-leaved maple in recent years has begun to form communities in which it occupies a leading position.

Two sites were identified (in the village of Evseevka and the village of Merkushevka), which are thickets of ash-leaved maple, which forms the first layer. There are no native woody plants in the first layer. Undergrowth is represented by a few specimens of Japanese elm, bird cherry, Manchurian ash, etc. The composition of the underbrush includes the Us-

suri buckthorn, species of currant and honeysuckle. The presence of cultivated plants such as common raspberry and downy cherry in the underbrush suggests that this community was formed near previously existing residential or farm buildings.

On the site in the village. Merkushevka, in contrast to the site in the village. Evseevka, there are no seedlings of ash-leaved maple, which can probably be attributed to the absence of female specimens of the plant.

Ability to grow together with native species in initially disturbed territories, forming secondary communities, indicates the possibility not only of expanding the area of such communities in the future, but also of the gradual introduction of this species into local coenoses.

References

- [1] Pyšek P., Pergl J., Essl F., Lenzner B., Dawson W., Kreft H., Weigelt P., Winter M. et al. Naturalized and invasive flora of the world: species diversity, taxonomic and phylogenetic patterns, geographic distribution and global hotspots of plant invasion. *Preslia*, 2017, v. 89, pp. 203–274.
- [2] Dzhus M.A., Romanyuk A.L. *Istoriya introduktsii i rasprostraneniye klena yasanelistnogo (Acer negundo L., Sapindaceae) v Belarusi* [History of introduction and distribution of ash-leaved maple (*Acer negundo* L., Sapindaceae) in Belarus]. *Sostoyaniye i perspektivy razvitiya zelenogo stroitel'stva v Respublike Belarus'* [State and prospects for the development of greenery in the Republic of Belarus']. *Tezisy Respublikanskogo nauchno-prakticheskogo seminarina* [Abstracts of the Republican Scientific and Practical Seminar]. Minsk: Medisont, 2018, pp. 54–57.
- [3] Szumańska I., Lubińska-Mielińska S., Kamiński D., Rutkowski L., Nienartowicz A., Piernik A. Invasive plant species distribution is structured by soil and habitat type in the city landscape. *Plants*, 2021, v. 10(4), p. 773.
- [4] Yeryomenko Y.A. Allelopathic activity of invasive arboreal species // *Rus. J. Biol. Invasions*, 2014, v. 5, no. 3, pp. 146–150.
- [5] Sitnikov M.A., Onistratenko N.V. *Osnovnye ekologicheski znachimye metabolity klena yasanelistnogo Acer negundo i ego allelopaticheskaya rol' v poymennoy ekosisteme* [Main ecologically significant metabolites of ash-leaved maple *Acer negundo* and its allelopathic role in the floodplain ecosystem]. *Antropogennaya transformatsiya geoprostranstva: priroda, khozyaystvo, obshchestvo. Mater. V mezhdun. nauch.-prakt. konf.* [Anthropogenic transformation of geospace: nature, economy, society. Proc. V Int. Scientific-practical Conf.]. Volgograd: Volgogradskiy gos. un-t, 2010, pp. 121–126.
- [6] Veselkin D.V., Rafikova O.S., Ekshibarov E.D. *Pochva iz zarosley invazivnogo Acer negundo neblagopriyatna dlya obrazovaniya mikorizy u aborigennykh trav* [Soil from thickets of invasive *Acer negundo* is unfavorable for the formation of mycorrhiza in native grasses]. *Zhurnal obshchey biologii* [Journal of General Biology], 2019, v. 80, no. 3, pp. 214–225. DOI: 10.1134/S0044459619030084.
- [7] Abramova L.M., Agishev V.S., Khaziakhmetov R.M. Immigration of *Acer negundo* L. (Aceraceae) into the floodplain forests of the northwest of Orenburg oblast. *Russian J. of Biological Invasions*, 2019, v. 10, no. 3, pp. 199–204.
- [8] Nikolaeva A.A. *Zakonodat'noye regulirovaniye udaleniya Acer negundo v g. Moskve* [Legal regulation of the disposal of *Acer negundo* in Moscow]. *Grani poznaniya* [Faces of Knowledge], 2019, no. 6(65), pp. 106–108.
- [9] Sikorska D., Sikorski P., Archiciński P., Chormański J., Hopkins R.J. You can't see the woods for the trees: invasive *Acer negundo* L. in urban riparian forests harms biodiversity and limits recreation activity. *Sustainability*, 2019, v. 11, p. 5838.
- [10] Dubrovin D.I., Krupina D.P. *Effekt somknutosti kron invazivnogo Acer negundo L. na plotnost' vidov i obilie trav v urbanizirovannykh soobshchestvakh* [Effect of crown closure of invasive *Acer negundo* L. on species density and abundance of grasses in urbanized communities]. *Nauka, priroda i obshchestvo. Mater. vsross. nauch. konferentsii, posvyashchennoy 100-letiyu Il'menskogo gosudarstvennogo zapovednika, 100-letiyu so dnya rozhdeniya akademika P.L. Gorchakovskogo i 70-letiyu so dnya rozhdeniya mineraloga V.O. Polyakova* [Science, nature and society. Proc. All-Russian scientific conference dedicated to the 100th anniversary of the Ilmensky State Reserve, the 100th anniversary of the birth of Academician P.L. Gorchakovsky and the 70th birthday of the mineralogist V.O. Polyakova], Miass, 10–14 May 2020. Miass: Il'menskiy gosudarstvennyy zapovednik, 2020, pp. 58–62.
- [11] Vinogradova Yu., Pergl J., Essl F., Hejda M., van Kleunen M., Pyšek P. Invasive alien plants of Russia: insights from regional inventories. *Biol. Invasions*, 2018, v. 20, pp. 1931–1943.
- [12] *Samye opasnye invazionnye vidy Rossii (TOP-100)* [The most dangerous invasive species in Russia (TOP-100)]. Ed. Yu.Yu. Dgebuadze, V.G. Petrosyan, L.A. Khlyap. Moscow: Scientific publications partnership KMK, 2018, 688 p.
- [13] Vinogradova Yu.K., Mayorov S.R., Khorun L.V. *Chernaya kniga flory Sredney Rossii: chuzherodnye vidy rasteniy v ekosistemakh Sredney Rossii* [The Black Book of Flora of Central Russia: Alien Plant Species in the Ecosystems of Central Russia]. Moscow: GEOS, 2010, 512 p.
- [14] Vinogradova Yu.K., Mayorov S.R., Notov A.A. *Chernaya kniga flory Tverskoy oblasti: chuzherodnye vidy rasteniy v ekosistemakh tverskogo regiona* [The Black Book of Flora of the Tver Oblast': Alien Plant Species in Ecosystems of the Tver Region]. Moscow: Scientific publications partnership KMK, 2011, 279 p.

- [15] Starodubtseva E.A., Morozova O.V., Grigor'evskaya A.Ya. *Materialy k «Chernoy knige Voronezhskoy oblasti»* [Materials for the «Black Book of the Voronezh Oblast'»]. Rossiyskiy zhurnal biologicheskikh invaziy [Russian journal of biological invasions], 2014, no. 2, pp. 133–149.
- [16] *Chernaya kniga flory Sibiri* [The Black Book of the Flora of Siberia]. Ed. Yu.K. Vinogradova, A.N. Kupriyanov. Novosibirsk: Geo, 2016, 439 p.
- [17] Saksonov S.S. *Invazii Acer negundo L. (Aceraceae) v Ul'yanovskoy oblasti* [Invasions of *Acer negundo* L. (Aceraceae) in the Ulyanovsk oblast']. Samarskaya Luka: problemy regional'noy i global'noy ekologii [Samarskaya Luka: problems of regional and global ecology], 2018, v. 27, no. 3, pp. 215–219.
- [18] Vasilyuk V.K., Vrishch D.L., Zhuravkov A.F. *Ozelenenie gorodov Primor'ya* [Landscaping in cities of Primorsky Krai]. Vladivostok: DVO AN SSSR, 1987, 516 p.
- [19] Kolyada N.A. *K utochneniyu granits vtorichnykh arealov severoamerikanskikh potentsial'no invazionnykh vidov drevesnykh rasteniy na yuge Dal'nego Vostoka Rossii* [Clarification of secondary area boundaries of North American potentially invasive plant species in the south of the Russian Far East]. Sibirskiy lesnoy zhurnal [Siberian journal of forest science], 2021, no. 1, pp. 68–76.
- [20] Yasyukevich V.V., Titkina S.N., Popov I.O., Davidovich E.A., Yasyukevich N.V. *O formirovaniy vtorichnogo areala amerikanskoy beloy babochki (Hyphantria cunea Drury, Arctiidae, Lepidoptera) v Rossii i sosednikh stranakh v XXI veke*. [On the formation of the secondary area of the American white butterfly (*Hyphantria cunea* Drury, Arctiidae, Lepidoptera) in Russia and neighboring countries in the 21st century]. Available at: http://downloads.igce.ru/publications/pemem/PEMEM25/22_Yasyukevich_etc_ABB.pdf (accessed 02.07.2021).
- [21] Antonova L.A. *Invazionnyy komponent flory Khabarovskogo kraya* [Invasive component of the flora of the Khabarovsk Territory]. Rossiyskiy zhurnal biologicheskikh invaziy [Russian journal of biological invasions], 2012, no. 4, pp. 2–9.
- [22] Antonova L.A. *Spontannoe rasselenie introdutsirovannykh derev'ev i kustarnikov v Khabarovskom krae* [Spontaneous dispersal of introduced trees and shrubs in the Khabarovsk Territory]. Okhrana i ratsional'noe ispol'zovanie lesnykh resursov. *Mat. VI mezhdunar. foruma* [Protection and rational use of forest resources. Proc. VI Int. forum], Blagoveshchensk — Kheykhe — Kharbin, 10–17 June 2013 g. Blagoveshchensk — Kheykhe — Kharbin: Dal'GAU, 2013, pp. 38–43.
- [23] Vinogradova Y.K., Aistova E.V., Antonova L.A., Chernyagina O.A., Chubar E.A., Darman G.F., Devyatova E.A. et al. Invasive plants in flora of the Russian Far East: the checklist and comments. *Botanica Pacifica*, 2020, v. 9, no. 1, pp. 103–129.
- [24] Kolyada N.A., Kolyada A.S. Occurrence of potentially invasive species box elder (*Acer negundo* L.) in the south of the Russian Far East. *Russian J. of Biological Invasions*, 2017, v. 8, iss. 1, pp. 41–44.
- [25] Zhukova A.I., Grigor'ev I.V., Grigor'eva O.I., Ledyeva A.S. *Lesnoe resursovedenie* [Forest resource science]. SPb.: SPbGLTA, 2008, 215 p.
- [26] *Sosudistye rasteniya sovetskogo Dal'nego Vostoka* [Vascular plants of the Soviet Far East]. Red. S.S. Kharkevich. Leningrad: Nauka, 1985, v. 1, 399 p.; 1987, v. 2, 446 p.; 1988, v. 3, 421 p.; 1989, v. 4, 380 p.; St. Petersburg: Nauka, 1991, v. 5, 390 p.; 1992, v. 6, 428 p.; 1995, v. 7, 395 p.; 1996, v. 8, 383 p.

Author's information

Kolyada Nina Anatol'evna — Cand. Sci. (Biology), Senior Researcher of the Federal Scientific Center of the East Asia Terrestrial Biodiversity, Far East Branch of the Russian Academy of sciences, Kolyada18@rambler.ru

Received 07.07.2021.

Approved after review 24.09.2021.

Accepted for publication 12.11.2021.

РОСТ ДРЕВОСТОЕВ РАЗНЫХ ПОРОД В ОДИНАКОВЫХ УСЛОВИЯХ МЕСТОПРОИЗРАСТАНИЯ НА БОЛЬШОМ СОЛОВЕЦКОМ ОСТРОВЕ

А.Н. Соболев¹✉, П.А. Феклистов², А.В. Грязькин³,
Н.П. Гаевский⁴, О.С. Барзут⁴

¹ФГБУК Соловецкий государственный историко-архитектурный и природный музей заповедник, 163000, Архангельская обл., Приморский р-н, пос. Соловецкий

²Федеральный исследовательский центр комплексного изучения Арктики имени академика Н.П. Лаверова УрО РАН, 163000, г. Архангельск, наб. Северной Двины, д. 23

³Санкт-Петербургский государственный лесотехнический университет имени С.М. Кирова, 194021, Санкт-Петербург, Институтский пер., д. 5

⁴ФГАОУ ВО «Северный (Арктический) федеральный университет имени М.В. Ломоносова» (САФУ), 163002, Россия, г. Архангельск, наб. Северной Двины, д. 17

alex-sobol@mail.ru

Приведено исследование древостоев из пяти разных древесных пород как аборигенных видов, так и интродуцентов на большом Соловецком острове. На территории заброшенного питомника (создан в 1927 г. посевом семян), сохранились посадки сосны обыкновенной (*Pinus selvestris* L.), сосны сибирской (кедра) (*Pinus sibirica* Du Tour), псевдотсуги Мензиса (*Pseudotsuga menziesii* Mirb.), ели обыкновенной (*Picea abies* L.) и лиственницы сибирской *Larix sibirica* Ledeb.). Установлено, что густота в древостоях разных пород колебалась от 370 до 2970 шт./га, псевдотсуги сохранилось 4 экз. Проанализированы высоты и диаметры имеющих деревьев, а так же радиальный прирост у 10 учетных деревьев из каждого древостоя на кернях (образцах древесины) взятых возрастным буравом. Измерение радиального прироста проводили с использованием микроскопа МБС-1 с точностью $\pm 0,05$ мм. Установлено, что на момент изучения древостоев разных пород имели возраст 80 лет. Все они имели близкую высоту в пределах 17,7...18,9 м и лишь сосна сибирская явно отставала в росте. Средний диаметр наоборот заметно различался. Наибольшим он был у лиственницы сибирской (20,7 см), наименьшим у сосны сибирской (15,8 см). У псевдотсуги Мензиса средний диаметр 27 см, но этого вида сохранилось 4 экз. и поэтому можно предполагать, что такой высокий средний диаметр за счет так называемого «светового» прироста. Показано, что ширина годичного кольца в среднем за изученный период составила от 0,59 до 1,66 мм. Все интродуценты (псевдотсуга, лиственница, сосна сибирская) имели ширину годичного кольца больше, чем аборигенные виды сосна и ель. Наибольшие отличия в радиальном приросте наблюдались на начальном этапе роста. Все древесные породы имеют тренд снижения радиального прироста с возрастом. Изменения прироста во времени синхронны у сосны обыкновенной и сосны сибирской; асинхронны изменения у ели и псевдотсуги и ели и лиственницы.

Ключевые слова: сосна обыкновенная, ель обыкновенная, псевдотсуга Мензиса, лиственница сибирская, сосна сибирская, условия местопроизрастания, радиальный прирост

Ссылка для цитирования: Соболев А.Н., Феклистов П.А., Грязькин А.В., Гаевский Н.П., Барзут О.С. Рост древостоев разных пород в одинаковых условиях местопроизрастания на Большом Соловецком острове // Лесной вестник / Forestry Bulletin, 2022. Т. 26. № 2. С. 24–30. DOI: 10.18698/2542-1468-2022-2-24-30

Изучение биологических особенностей древесных пород имеет важное значение для понимания происходящих с ними процессов, а также для лесоведения и лесного хозяйства [1]. От биологии видов зависят рост, развитие и продуктивность древостоев в целом, размещение по территории в благоприятных условиях местопроизрастания, возможности создания лесных культур и т. п. В связи с этим возникает интерес оценить биологические особенности древесных пород одного возраста, пребывающих в одинаковых условиях и местах произрастания, хотя совместить все эти факторы весьма проблематично. В то же время, согласно историческим сведениям, на Большом Соловецком острове в 1927 г. был заложен питомник и созданы культуры посевами сосны обыкновенной

(*Pinus selvestris* L.), сосны сибирской (кедра) (*Pinus sibirica* Du Tour), псевдотсуги Мензиса (*Pseudotsuga menziesii* Mirb.), ели обыкновенной (*Picea abies* L.), и лиственницы сибирской *Larix sibirica* Ledeb.). Деталей создания этих культур нет, за исключением того, что посев проводился в гряды. Работы выполняли заключенные Соловецкого лагеря особого назначения (СЛОИ).

На основании этих факторов было принято решение изучить созданные ранее культуры разных пород, которые сформировали древостой при одинаковых климатических условиях в одном месте произрастания.

Цель работы

Цель работы — изучение параметров сформировавшихся древостоев из разных пород и их радиального прироста.

Материалы и методы

На Большом Соловецком острове вблизи оз. Варваринского и губы Долгой находится питомник площадью 0,23 га, который был заложен в 1926–1927 гг. [21]. Он разделен на восемь частей. На четырех из них были высажены кедр (сосна сибирская), лиственница сибирская, псевдотсуга Мензиса (или, как ее часто называли, дугласия), сосна обыкновенная, ель обыкновенная. Рельеф на территории питомника равнинный. Питомник окружен спелым ельником черничным. Почвы — подзолистые супесчаные маломощные на валунном суглинке.

К сожалению, нет архивных данных о первоначальной густоте этих древесных пород. Однако можно предположить, что подход к посадкам был прагматичным. Вероятно, семян псевдотсуги (североамериканского вида) было недостаточно, что и могло обусловить низкую первоначальную густоту (в настоящее время сохранились лишь четыре дерева). Сосна сибирская (кедр), помимо древесины дает ценный пищевой продукт — орехи, поэтому ее насаждения отличаются высокой густотой. Лиственница обладает также ценной древесиной, и ее насаждения отличаются относительно высокой густотой. Со временем питомник был заброшен и к настоящему времени здесь сформировались древостои из различных пород.

Радиальный прирост деревьев определяется множеством экологических факторов [2–8], однако поскольку в рассматриваемом случае все сформировавшиеся древостои примерно одного возраста и находятся в одних и тех же условиях местопроизрастания, можно попытаться оценить, благодаря каким именно природным показателям и условиям произрастания древесные породы растут в условиях Соловецких островов.

При изучении сформировавшихся древостоев нами были использованы стандартные приемы, широко описанные в литературе по таксации [9–11]. Измерение диаметров стволов с помощью вилки и высоты деревьев высотомером Suunto проводили у всех деревьев.

Для исследования прироста у 10 учетных деревьев с помощью приростного бурава Haglof на высоте груди отбирали образцы древесины (керна) по случайно взятому радиусу с учетом методических рекомендаций из работ [12–15]. Измерение ширины годичных колец проводили с использованием микроскопа МБС-1 с точностью до ±0,05 мм. Измерено около 2200 годичных колец.

Кроме того, для сравнения дендрошкал (рядов прироста) и выявления синхронности в изменении прироста использовали коэффициент синхронности, так как визуальная оценка сходства не может быть объективным критерием.

Разработанные и предложенные количественные показатели [12, 16–18] учитывают лишь сходство тенденций в изменении прироста, но не учитывают абсолютные значения этих изменений, поэтому был выбран коэффициент, учитывающий и тенденции в изменении прироста, и значения этих изменений [19].

Коэффициенты синхронности рассчитывали по формуле

$$K = \frac{\sum_1^n |A + B|^+}{\sum_1^n |A| + |B|},$$

где A — разница в величине прироста между соседними годами в одном ряду;

B — разница в величине прироста между соседними годами в другом ряду;

$|A + B|^+$ — вес однонаправленных интервалов (обе разности с одним значком);

$|A| + |B|$ — общий вес всех интервалов (сумма абсолютных значений всех разностей) [19, 20].

Коэффициент изменяется от 0 до 1, синхронность увеличивается от 0,5 до 1, асинхронность увеличивается от 0,5 до 0.

Анализ, обработка и оформление материала проводили с использованием пакета программ Microsoft Office и прикладных программ Stat.exe, Regres.exe, kor_anl.exe.

Результаты и обсуждение

Как указано выше, на месте питомника сформировался древостой из разных пород. Возраст к моменту исследования всех деревьев составлял 80 лет. По своим размерам они заметно различались. Наибольшей высотой отличались

Т а б л и ц а 1

Таксационная характеристика древостоев (возраст 80 лет) в дендропитомнике «Варварка» в черничном типе условий местопроизрастания (N 65° 03,046, E 35° 44,550)

Taxation characteristics of forest stands (age 80 years) in the arboretum «Varvarka» in the blueberry type of habitat conditions (N 65° 03,046, E 35° 44,550)

Порода	Средний диаметр ствола, см	Средняя высота дерева, м	Густота насаждения, шт./га	Бонитет
Лиственница	20,7	18,9	1200	3
Кедр	15,8	16,8	2970	4
Псевдотсуга	27,0	18,8	4	3
Сосна	16,8	18,5	1940	3
Ель	17,1	17,7	370	3

Т а б л и ц а 2

Влияние вида древесной породы на радиальный прирост

Influence of tree species on radial growth

Источник вариации	Сумма квадратов отклонений	Число степеней свободы	Дисперсия	Критерий Фишера расчетный	Критическое значение критерия Фишера для уровня значимости 0,05
Межгрупповая	36,24225	4	9,06	51,25	2,41
Внутригрупповая	43,31344	245	0,18		
Итого	79,55569	249	–		

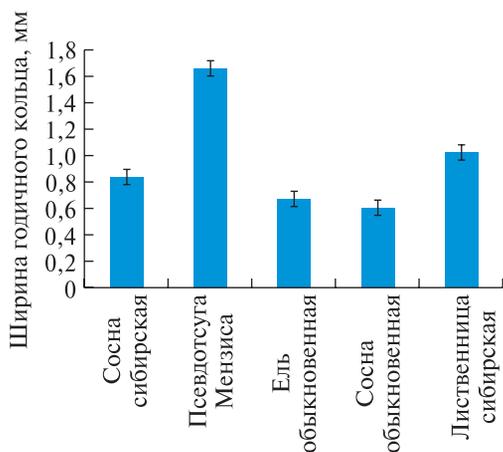


Рис. 1. Средняя ширина годичного кольца у разных пород (с ошибкой)

Fig. 1. The average width of the annual ring in different breeds (with an error)

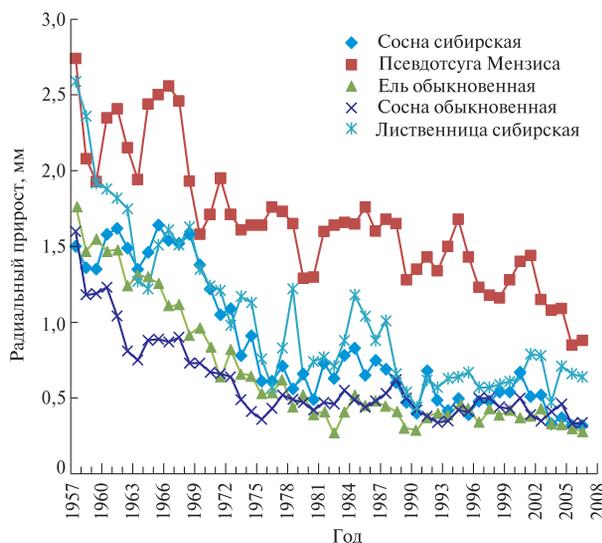


Рис. 2. Многолетняя динамика радиального прироста у разных пород

Fig. 2. Long-term dynamics of radial growth in different breeds

псевдотсуга и лиственница — 18,8 и 18,9 м соответственно, наименьшей — сосна сибирская (табл. 1), которая явно замедлила рост в высоту по сравнению с другими породами. На наш взгляд, одной из причин в этом отношении служит очень

густая посадка в ряду и маленькое расстояние между рядами. Возможно, это затормозило рост в высоту. При этом аборигенные виды — сосна и ель не сильно отстали по высоте.

Средний диаметр стволов разных пород составляет от 15,8 см (сосна сибирская) до 20,7 см (лиственница). Предположительно не следует учитывать псевдотсугу, поскольку сохранилось всего лишь четыре дерева, и не исключено, что ее более высокий диаметр (27 см) связан с так называемым «световым» приростом.

В целом анализ таксационных показателей пяти совместно произрастающих пород показал, что породы заметно отличаются от естественных насаждений. Во-первых, образованные древостои имеют высокий бонитет (3 и лишь у кедра 4) — на Соловецких островах такой высокий бонитет — редкость, в том числе в целом в северной подзоне тайги. Обычный бонитет для древостоев региона — это 5 или 4. Сюда относится и ельник черничный, заросли которого окружают дендропитомник. Во-вторых, большинство насаждений характеризуется высокой густотой по сравнению с естественными древостоями (кроме псевдотсуги).

Сравнение радиального прироста у шести разных пород на рассматриваемой территории за длительный период времени (1957–2006 гг.) выявило существенные различия, которые подтвердил дисперсионный анализ (табл. 2).

Полученное значение критерия Фишера больше табличного критического для уровня значимости 0,05, т. е. биологические особенности вида оказывают влияние на ширину годичного кольца.

При одинаковых условиях роста более широкие годовые кольца образует псевдотсуга, а меньшее — сосна и ель.

Таким образом, можно констатировать, что за изученный период времени (50 лет) наибольшим радиальным приростом (шириной годичного кольца) отличается псевдотсуга Мензиса — в среднем 1,7 мм, что существенно выше других древесных пород (рис. 1). Наименьший радиальный прирост характерен для аборигенных видов сосны обыкновенной и ели обыкновенной — 0,60 и 0,67 мм соответственно. Промежуточное положение занимают интродуценты — сосна

**Синхронность между дендрохронологическими рядами прироста
различных пород и корреляция между ними**

Synchronicity between year ring growth of different breeds and correlation between them

Вид	Сосна обыкновенная	Сосна сибирская	Псевдотсуга Мензиса	Ель обыкновенная	Лиственница сибирская
Сосна обыкновенная		<u>0,73</u> 0,91	<u>0,71</u> 0,81	<u>0,66</u> 0,93	<u>0,55</u> 0,91
Сосна сибирская	<u>0,73</u> 0,84		<u>0,61</u> <u>0,88</u>	<u>0,71</u> 0,92	<u>0,65</u> 0,87
Псевдотсуга Мензиса	<u>0,71</u> 0,81	<u>0,61</u> 0,88		<u>0,48</u> 0,84	<u>0,65</u> 0,81
Ель обыкновенная	<u>0,66</u> 0,93	<u>0,71</u> 0,92	<u>0,48</u> 0,84		<u>0,49</u> 0,92
Лиственница сибирская	<u>0,55</u> 0,91	<u>0,65</u> 0,87	<u>0,65</u> 0,81	<u>0,49</u> 0,92	

Примечание. В числителе коэффициент синхронности, в знаменателе коэффициент корреляции

сибирская (0,84 мм) и лиственница сибирская (1,02 мм). Причем лиственница является интродуцентом только для Соловецких островов, а в пределах Архангельской обл. этот вид типичен для местностей, где почвы богаты кальцием.

Более детально изменение ширины годичного кольца или радиального прироста можно проследить на рис. 2, на котором видно, что у всех древесных пород происходит снижение прироста с возрастом, т. е. четко проявляется так называемая кривая большого роста [21–23]. Правда, у псевдотсуги это происходит на самой большой высоте, а у аборигенных видов — на самом низком. Сосна и лиственница занимают промежуточное положение. Следует отметить, что с возрастом разница в приростах между сосной обыкновенной, елью и сосной сибирской и лиственницей сокращается до минимума. В размерах радиального прироста можно выделить несколько периодов. Первый — с 1927 г., с момента создания, и примерно до 1957 г., за эти 30 лет деревья достигали высоты 1,3 м. Следует оговорить, что для сравнения у всех пород мы брали приросты с 1957 г. Прирост за этот год был у всех деревьев на кервах, взятых с высоты 1,3 м. В действительности высоты 1,3 м деревья достигали в разные сроки: сосна сибирская — в 1952 г., псевдотсуга — 1954, ель — 1957, сосна обыкновенная — 1955 и лиственница — в 1950 г. Кроме того, высоту 1,3 м при отборе кервов оценивали на глаз, поэтому допускаются расхождения в достижении тем или иным деревом этой высоты, т. е. возможны варианты. Примерно с 30-летнего (1957 г.) возраста и до 62 лет (1989 г.) между значениями прироста у разных пород зафиксирована существенная разница, прирост снижается, выравнивается по значению и находится в пределах 0,25...0,75 мм у всех пород. Отдельно следует рассматривать псевдотсугу, поскольку

на момент исследования было всего четыре дерева, при этом прирост псевдотсуги превосходит приросты всех других пород.

Можно предполагать, что динамика радиального прироста для всех пород будет определяться исключительно биологическими особенностями видов. Использование для сравнения рядов прироста различных видов коэффициента синхронности показывает, что наиболее синхронны изменения прироста во времени у представителей одного рода у сосны обыкновенной и сосны сибирской (коэффициент синхронности 0,73) (табл. 3). Близки к ним по реакции на климатические изменения псевдотсуга и ель. Сосна сибирская и псевдотсуга близки по реакции с лиственницей, коэффициент синхронности 0,65. И, наоборот, асинхронны изменения у ели и псевдотсуги и ели и лиственницы.

Если говорить о корреляции рядов динамики приростов различных пород, то можно констатировать, что связь очень тесная, коэффициенты корреляции находятся в пределах 0,81...0,93 (см. табл. 3). фактически отражают тенденции приростов разных видов (заложено в самом методе расчета). Так, тенденции во многом совпадают, отсюда тесная связь между рядами приростов (см. рис. 2).

Выводы

Все сформировавшиеся древостои различных пород возрастом 80 лет имеют близкую высоту в пределах 17,7...18,9 м и лишь сосна сибирская явно отстает в росте.

Средние диаметры стволов заметно различаются и находятся в пределах 15,8...20,7 см. Все породы по этому показателю можно расположить в такой последовательности лиственница > ель > сосна обыкновенная > сосна сибирская.

Средняя ширина годовичного кольца за 50-летний период составила у псевдотсуги Мензиса 1,66 мм, у лиственницы сибирской 1,02, у сосны сибирской 0,84, у ели обыкновенной 0,67 мм и у сосны обыкновенной 0,59 мм.

Все древесные породы имеют тенденцию к снижению радиального прироста с возрастом. В первые 30 лет в размерах прироста наблюдались существенные различия по породам, т. е. их можно расположить по этому показателю в следующей последовательности: псевдотсуга Мензиса > лиственница сибирская \geq сосна сибирская > ель обыкновенная > сосна обыкновенная. Впоследствии размеры радиального прироста сближаются по величине у всех пород и находятся в пределах 0,25...0,75 мм

Наиболее синхронны изменения прироста во времени у сосны обыкновенной и сосны сибирской; асинхронны изменения у ели и псевдотсуги и ели и лиственницы.

Исследования выполнены в рамках государственного задания Федерального исследовательского центра комплексного изучения Арктики имени академика Н.П. Лаверова УрО РАН (№ гос. регистрации – 122011400384-2).

Список литературы

- [1] Булыгин Н.Е. Дендрология. Л.: Агропромиздат, 1991. 352 с.
- [2] Matulewski P., Buchwal A., Zielonka A., Wrońska-Walach D., Čufar K., Gärtner H. Trampling as a major ecological factor affecting the radial growth and wood anatomy of Scots pine (*Pinus sylvestris* L.) roots on a hiking trail // *Ecological Indicators*, 2021, v. 121, p. 107095. <https://doi.org/10.1016/j.ecolind.2020.107095>
- [3] Ferrero M.E., Coirini R.O., Díaz M.P. The effect of wood-boring beetles on the radial growth of *Prosopis flexuosa* DC. in the arid Chaco of Argentina // *J. of Arid Environments*, 2013, v. 88, pp. 141–146. <https://doi.org/10.1016/j.jaridenv.2012.07.004>
- [4] de Vasconcellos T.J., Tomazello-Filho M., Callado C.H. Dendrochronology and dendroclimatology of *Ceiba speciosa* (A. St.-Hil.) Ravenna (Malvaceae) exposed to urban pollution in Rio de Janeiro city, Brazil // *Dendrochronologia*, 2019, v. 53, pp. 104–113. <https://doi.org/10.1016/j.dendro.2018.12.004>
- [5] Bergès L., Nepveu G., Franc A. Effects of ecological factors on radial growth and wood density components of sessile oak (*Quercus petraea* Liebl.) in Northern France // *Forest Ecology and Management*, 2008, v. 255, iss. 3–4, pp. 567–579. <https://doi.org/10.1016/j.foreco.2007.09.027>
- [6] Copini P., Decuyper M., Sass-Klaassen U., Gärtner H., Mohren F., Ouden J. Effects of experimental stem burial on radial growth and wood anatomy of pedunculate oak // *Dendrochronologia*, 2015, v. 33, pp. 54–60. <https://doi.org/10.1016/j.dendro.2014.12.001>
- [7] Samuelson L.J., Eberhardt T.L., Bartkowiak S.M., Johnsen K.H. Relationships between climate, radial growth and wood properties of mature loblolly pine in Hawaii and a northern and southern site in the southeastern United States Forest // *Ecology and Management*, 2013, v. 310, pp. 786–795. <https://doi.org/10.1016/j.foreco.2013.09.025>
- [8] Ануцин Н.П. Лесная таксация. М.: Лесная пром-сть, 1982. 552 с.
- [9] Гусев И.И., Калинин В.И. Лесная таксация. Л.: ЛТА, 1988. 61 с.
- [10] Программа и методика биогеоэкологических исследований / под ред. В.Н. Сукачева, Н.В. Дылиса. М.: Наука, 1966. 332 с.
- [11] Сукачев В.Н., Зонн С.В. Методические указания к изучению типов леса. М.: Изд-во АН СССР, 1961. 144 с.
- [12] Битвинкас Т.Т. Дендроклиматические исследования. Л.: Гидрометеоздат, 1974. 172 с.
- [13] Феклистов П.А., Евдокимов В.Н., Барзут В.М. Биологические и экологические особенности роста сосны в северной подзоне Европейской тайги. Архангельск: Изд-во АГТУ, 1997. 140 с.
- [14] Матвеев С.М. Дендроиндикация динамики состояния сосновых насаждений Центральной лесостепи. Воронеж: Издательство ВГЛТУ, 2003. 272 с.
- [15] Матвеев С.М. Дендрохронология. Воронеж: Изд-во ВГЛТА, 2001. 88 с.
- [16] Huber B. Über die Sicherheit Jahresringchronologischer Datierung // *Holz als Roh- und Werkstoff*, 1943, bd. 6, no. 10/11, pp. 263–268.
- [17] Комин Г.Е. Цикличность в динамике прироста деревьев и древостоев сосны таежной зоны Западной Сибири // *Изв. СО АН СССР. Сер. Биологические науки*, 1970. № 15. Вып. 3. С. 36–44.
- [18] Комин Г.Е., Пьянков Ю.А., Шиятов С.Г. Определение сходства между дендрохронологическими рядами // *Экология*, 1973. № 4. С. 29–34.
- [19] Феклистов П.А. К методике установления сходства дендрохронологических рядов // *Дендроклиматические исследования в СССР*. Архангельск: Изд-во АЛТИ, 1978. С. 71–72
- [20] Феклистов П.А., Бызова Н.М., Пашкевич А.И., Сазанова Е.В., Соболев А.Н., Дендрохронологическое исследование древесины в исторически значимых Арктических объектах // *ИВУЗ Лесной журнал*, 2020. № 5. С. 116–118. DOI: 10.37482/0536-1036-2020-5-106-118
- [21] Ипагов Л.Ф., Косарев В.П., Проурзин Л.И., Торхов С.В. Леса Соловецкого архипелага. Архангельск: Изд-во СОЛТИ, 2009. 224 с.
- [22] Феклистов П.А., Соболев А.Н. Лесные насаждения Соловецкого архипелага (Структура, состояние, рост). Архангельск: Изд-во Северного (Арктического) Федерального университета, 2010. 201 с.
- [23] Бюсен М. Строение и жизнь наших лесных деревьев. М.; Л.: Гослесбуиздат, 1961. 424 с.

Сведения об авторах

Соболев Александр Николаевич  — канд. с.-х. наук, ст. науч. сотр. ФГБУК Соловецкий государственный историко-архитектурный и природный музей заповедник, alex-sobol@mail.ru

Феклистов Павел Александрович — д-р с.-х. наук, профессор, Федеральный исследовательский центр комплексного изучения Арктики имени академика Н.П. Лаврова УрО РАН, pfeklistov@yandex.ru

Грязькин Анатолий Васильевич — д-р биол. наук, профессор, Санкт-Петербургский государственный лесотехнический университет имени С.М. Кирова, lesovod@bk.ru

Гаевский Николай Петрович — канд. с.-х. наук, доцент, Северный (Арктический) федеральный университет имени М.В. Ломоносова

Барзут Оксана Степановна — канд. с.-х. наук, доцент, Северный (Арктический) федеральный университет имени М.В. Ломоносова

Поступила в редакцию 08.11.2021.

Одобрена после рецензирования 19.11.2021.

Принята к публикации 29.11.2021.

MULTISPECIES STANDS GROWTH IN SIMILAR GROWING CONDITIONS ON BOLSHOY SOLOVETSKY ISLAND

A.N. Sobolev¹ , P.A. Feklistov², A.V. Gryazkin³, N.P. Gaevsky⁴, O.S. Barzut⁴

¹Solovetsky Museum Reserve, 163000, pos. Solovetsky, Primorsky District, Arkhangelsk reg., Russia

²Federal Research Center for the Comprehensive Study of the Arctic named after Academician N.P. Laverova, Ural Branch of the Russian Academy of Sciences, 23, nab. North. Dviny, 163000, Arkhangelsk, Russia

³Saint Petersburg State Forestry University named after I.I. CM. Kirov, 5, Institutskiy per., 194021, St. Petersburg, Russia

⁴Northern (Arctic) Federal University named after M.V. Lomonosov (NArFU), 17, Nab. Northern Dvina, 163002, Arkhangelsk, Russia

alex-sobol@mail.ru

A study of forest stands consisting of five different tree species, both native and introduced ones, on Big Solovetsky Island is presented. On the territory of an uncared nursery (established in 1927 by sowing seeds) there exist plantations of Scots pine (*Pinus sylvestris* L.), Siberian stone pine (cedar) (*Pinus sibirica* Du Tour), Douglas fir (*Pseudotsuga menziesii* Mirb.), Norway spruce (*Picea abies* L.), and Siberian larch (*Larix sibirica* Ledeb.). The purpose of our research was to study the growth of different species of the same age in the same growing conditions among blueberry plants. It has been established that the density in stands of different species ranged from 370 to 2970 pieces/ha, while only 4 specimens of Douglas fir survived. The heights and diameters of existing trees were analyzed, as well as the radial growth of 10 accounting trees from each stand on cores (wood samples) taken with an age auger. Radial growth was measured using an MBS-1 microscope with an accuracy of $\pm 0,05$ mm. It was found that at the time of the study, stands of different species were 80 years old. All of them had a height within 17,7 ... 18,9 m, and only the Siberian pine was clearly lagging behind in growth. On the contrary, the average diameter differed markedly which was the largest in Siberian larch (20,7 cm), the smallest in Siberian pine (15,8 cm). The Douglas fir has an average diameter of 27 cm, but only 4 specimens of this species have survived and therefore it can be assumed that such a high average diameter is due to the so-called light increment. It is shown that the width of the annual ring on average for the studied period ranged from 0,59 to 1,66 mm. All introduced species (Douglas fir, larch, Siberian pine) had a width of the annual ring greater than native species of pine and spruce. The greatest differences in radial growth were observed at the initial stage of growth. All tree species tend to decrease in radial growth with age. Changes in growth over time are synchronous in Scots pine and Siberian pine; asynchronous changes in spruce and pseudo-hemlock and spruce and larch.

Keywords: Scotch pine, Scotch spruce, Douglas fir, Siberian larch, Siberian pine, habitat conditions, radial growth

Suggested citation: Sobolev A.N., Feklistov P.A., Gryazkin A.V., Gaevsky N.P., Barzut O.S. *Rost drevostoev raznykh porod v odinakovykh usloviyakh mestoproizrastaniya na Bol'shom Solovetskom ostrove* [Multispecies stands growth in similar growing conditions on Bolshoy Solovetsky Island]. *Lesnoy vestnik / Forestry Bulletin*, 2022, vol. 26, no. 2, pp. 24–30. DOI: 10.18698/2542-1468-2022-2-24-30

References

- [1] Bulygin N.E. *Dendrologiya* [Dendrology]. Leningrad: Agropromizdat, 1991, 352 p.
- [2] Matulewski P., Buchwal A., Zielonka A., Wrońska-Walach D., Čufar K., Gärtner H. Trampling as a major ecological factor affecting the radial growth and wood anatomy of Scots pine (*Pinus sylvestris* L.) roots on a hiking trail. *Ecological Indicators*, 2021, v. 121, p. 107095. <https://doi.org/10.1016/j.ecolind.2020.107095>
- [3] Ferrero M.E., Coirini R.O., Diaz M.P. The effect of wood-boring beetles on the radial growth of *Prosopis flexuosa* DC. in the arid Chaco of Argentina. *J. of Arid Environments*, 2013, v. 88, pp. 141–146. <https://doi.org/10.1016/j.jaridenv.2012.07.004>
- [4] Vasconcellos T.J., Tomazello-Filho M., Callado C.H. Dendrochronology and dendroclimatology of *Ceiba speciosa* (A. St.-Hil.) Ravenna (Malvaceae) exposed to urban pollution in Rio de Janeiro city, Brazil. *Dendrochronologia*, 2019, v. 53, pp. 104–113. <https://doi.org/10.1016/j.dendro.2018.12.004>

- [5] Bergès L., Nepveu G., Franc A. Effects of ecological factors on radial growth and wood density components of sessile oak (*Quercus petraea* Liebl.) in Northern France. *Forest Ecology and Management*, 2008, v. 255, iss. 3–4, pp. 567–579. <https://doi.org/10.1016/j.foreco.2007.09.027>
- [6] Copini P., Decuyper M., Sass-Klaassen U., Gärtner H., Mohren F., Ouden J. Effects of experimental stem burial on radial growth and wood anatomy of pedunculate oak. *Dendrochronologia*, 2015, v. 33, pp. 54–60. <https://doi.org/10.1016/j.dendro.2014.12.001>
- [7] Samuelson L.J., Eberhardt T.L., Bartkowiak S.M., Johnsen K.H. Relationships between climate, radial growth and wood properties of mature loblolly pine in Hawaii and a northern and southern site in the southeastern United States Forest. *Ecology and Management*, 2013, v. 310, pp. 786–795. <https://doi.org/10.1016/j.foreco.2013.09.025>
- [8] Anuchin N.P. *Lesnaya taksatsiya* [Forest taxation]. Moscow: Lesnaya promyshlennost', 1982, 552 p.
- [9] Gusev I.I., Kalinin V.I. *Lesnaya taksatsiya* [Forest taxation]. Leningrad: LTA, 1988, 61 p.
- [10] *Programma i metodika biogeotsenologicheskikh issledovaniy* [Program and methodology of biogeocenological research]. Eds. V.N. Sukachev, N.V. Dylis. Moscow: Nauka, 1966, 332 p.
- [11] Sukachev V.N., Zonn S.V. *Metodicheskie ukazaniya k izucheniyu tipov lesa* [Methodical instructions for the study of forest types]. Moscow: AN SSSR, 1961, 144 p.
- [12] Bitvinskis T.T. *Dendroklimaticheskie issledovaniya* [Dendroclimatic research]. Leningrad: Gidrometeoizdat, 1974, 172 p.
- [13] Feklistov P.A., Evdokimov V.N., Barzut V.M. *Biologicheskie i ekologicheskie osobennosti rosta sosny v severnoy podzone Evropeyskoy taygi* [Biological and ecological characteristics of pine growth in the northern subzone of the European taiga]. Arkhangelsk: AGTU, 1997, 140 p.
- [14] Matveev S.M. *Dendroindikatsiya dinamiki sostoyaniya sosnovykh nasazhdeniy Tsentral'noy lesostepi* [Dendroindication of the dynamics of the state of pine plantations in the Central forest-steppe]. Voronezh: VGLTU, 2003, 272 p.
- [15] Matveev S.M. *Dendrokronologiya* [Dendrochronology]. Voronezh: VGLTA, 2001, 88 p.
- [16] Huber B. Über die Sicherheit Jahresringchronologischer Datierung. *Holz als Roh- und Werkstoff*, 1943, bd. 6, no. 10/11, pp. 263–268.
- [17] Komin G.E. *Tsiklichnost' v dinamike prirosta derev'ev i drevostoev sosny taezhnoy zony Zapadnoy Sibiri* [Cyclicality in the dynamics of growth of trees and pine stands in the taiga zone of Western Siberia]. *Izvestiya SO AN SSSR, ser. biol. nauk* [Proceedings of the Siberian Branch of the USSR Academy of Sciences, a series of biological sciences], 1970, no. 15, iss. 3, pp. 36–44.
- [18] Komin G.E., P'yankov Yu.A., Shiyatov S.G. *Opreделение skhodstva mezhdu dendrokronologicheskimi ryadami* [Determination of the similarity between dendrochronological series]. *Ecology*, 1973, no. 4, pp. 29–34.
- [19] Feklistov P.A. *K metodike ustanovleniya skhodstva dendrokronologicheskikh ryadov* [On the method of establishing the similarity of dendrochronological series]. *Dendroklimaticheskie issledovaniya v SSSR* [Dendroclimatic research in the USSR]. Arkhangelsk: ALTI, 1978, pp. 71–72.
- [20] Feklistov P.A., Byzova N.M., Pashkevich A.I., Sazanova E.V., Sobolev A.N. *Dendrokronologicheskoe issledovanie drevesiny v istoricheski znachimyykh Arkticheskikh ob'ektakh* [Dendrochronological study of wood in historically significant Arctic objects]. *Lesnoy Zhurnal* (Russian Forestry Journal), 2020, no. 5, pp. 116–118. DOI: 10.37482 / 0536-1036-2020-5-106-118
- [21] Ipatov L.F., Kosarev V.P., Prourzin L.I., Torkhov S.V. *Lesa Solovetskogo Arkhipelaga* [The forests of the Solovetsky Archipelago]. Arkhangelsk: SOLTI, 2009, 224 p.
- [22] Feklistov P.A., Sobolev A.N. *Lesnye nasazhdeniya Solovetskogo Arkhipelaga (Struktura, sostoyanie, rost)* [Forest plantations of the Solovetsky Archipelago (structure, condition, growth)]. Arkhangelsk: Northern (Arctic) Federal University, 2010, 201 p.
- [23] Byusgen M. *Stroenie i zhizn' nashikh lesnykh derev'ev* [The structure and life of our forest trees]. Moscow; Leningrad: Goslesbumizdat, 1961, 424 p.

The research was carried out within the framework of the state assignment of the Academician N.P. Laverov Ural Branch of the Russian Academy of Sciences (state registration no. 122011400384-2).

Author's information

Sobolev Aleksander Nikolaevich  — Cand. Sci. (Agric.), Senior Researcher of the Solovetsky Museum of the Reserve, alex-sobol@mail.ru

Feklistov Pavel Aleksandrovich — Dr. Sci. (Agric.), Professor, Federal Research Center for the Comprehensive Study of the Arctic named after Academician N.P. Laverov, Ural Branch of the Russian Academy of Sciences, pfeklistov@yandex.ru

Gryazkin Anatoly Vasilievich — Dr. Sci. (Biol.), Professor, St. Petersburg State Forestry University named after CM. Kirov, lesovod@bk.ru

Gaevsky Nikolai Petrovich — Cand. Sci. (Agric.), Associate Professor, Northern (Arctic) Federal University named after M.V. Lomonosov

Barzut Oksana Stepanovna — Cand. Sci. (Agric.), Associate Professor, Northern (Arctic) Federal University named after M.V. Lomonosov

Received 08.11.2021.

Approved after review 19.11.2021.

Accepted for publication 29.11.2021.

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

НОВЫЕ НАХОДКИ КОКЦИД (RHYNCHOTA: STERNORRHYNCHA: COCCINEA) — ВРЕДИТЕЛЕЙ ДУБА ЧЕРЕШЧАТОГО (*QUERCUS ROBUR* LINNAEUS, 1753) В ФАУНЕ БЕЛАРУСИ

А.М. Островский

Гомельский государственный медицинский университет, 246000, Республика Беларусь, г. Гомель, ул. Ланге, д. 5

Arti301989@mail.ru

Приведена информация о находках трех новых для фауны Беларуси видов кокцид — *Parthenolecanium rufulum* (Cockerell, 1903), *Kermes quercus* (Linnaeus, 1758) и *K. roboris* (Fourcroy, 1785). Представлены сведения по их распространению, биологии, экологии и степени вредоносности. Дано морфологическое описание изученных форм. В рамках осуществления лесозащитных мероприятий важное значение будет иметь мониторинг и фиксация всех случаев обнаружения указанных видов кокцид в нашем регионе.

Ключевые слова: Sternorrhyncha, Coccinea, *Parthenolecanium rufulum*, *Kermes quercus*, *K. roboris*, кокциды, находки, фауна

Ссылка для цитирования: Островский А.М. Новые находки кокцид (Rhynchota: Sternorrhyncha: Coccinea) — вредителей дуба черешчатого (*Quercus robur* Linnaeus, 1753) в фауне Беларуси // Лесной вестник / Forestry Bulletin, 2022. Т. 26. № 2. С. 31–35. DOI: 10.18698/2542-1468-2022-2-31-35

Дуб черешчатый (*Quercus robur* Linnaeus, 1753) — одна из ценнейших древесных пород как в Беларуси, так и за ее пределами. Древесина дуба на протяжении многих столетий широко использовалась и ценилась намного выше древесины большинства других древесных пород. Кроме того, дуб черешчатый является лекарственным, декоративным и фитомелиоративным растением [1].

Дуб черешчатый распространен по всей территории Беларуси и наиболее часто встречается в ее южной части [2, 3]. Исследования, проведенные Министерством лесного хозяйства, наглядно демонстрируют, что в Беларуси имеется проблема сокращения лесных насаждений с участием дуба. Так, за последние 40 лет, доля дубрав сократилась с 4,8 до 3,5 % [4]. Способствующие этому обстоятельства до сих пор не выяснены. Одной из причин этого явления считается поражение дуба насекомыми-вредителями [5].

Червецы и щитовки, или кокциды, — одна из разновидностей насекомых-фитофагов, которые характеризуются широким спектром трофических связей и разнообразием морфологических и экологических адаптаций. В таксономическом аспекте они представляют собой подотряд Coccinea или надсемейство Coccoidea (в понимании разных авторов), входящие в отряд хоботных насекомых (Rhynchota). В мировой фауне число номинальных видов кокцид насчитывает свыше 7,5 тыс. [6]. При этом вопреки большому хозяйственному значению степень изученности фауны кокцид Беларуси остается на низком уровне.

В соответствии с данными, представленными в работе [7], количество известных в настоящее время кокцид в фауне республики составляет 37 видов. Из них в качестве вредителей дуба черешчатого указан лишь один вид — ложнощитовка акациевая *Parthenolecanium corni* (Bouche, 1844) [8].

Цель работы

Цель работы — инвентаризация разнообразия кокцид — вредителей дуба черешчатого (*Q. robur*) в лесных насаждениях юго-востока Беларуси.

Материалы и методы

Исследования проводились в течение вегетационных периодов 2019–2020 гг. в лесной зоне юго-востока Беларуси. Сбор кокцид осуществлялся вручную с побегов и поверхности коры стволов дуба черешчатого (*Q. robur*) на территории Брагинского и Гомельского районов Гомельской обл. Энтомологический материал представлял собой самок на разных стадиях развития: нимфы, молодые и половозрелые особи. Нередко встречались мертвые кокциды. Определение проводилось по определителю насекомых европейской части бывшего СССР [9]. Идентификацию насекомых осуществляли с помощью микроскопа МБС-10 по самкам на основе совокупности таких признаков, как особенности строения пигидия, цвет и форма щитка, принадлежность кормовым растениям и т. д. Изученные формы морфологически описаны. Сведения о географическом распространении, образе жизни, экологии и вредоносности изученных видов заимствованы из работ Н.С. Борхсениуса [10–14] и Е.М. Терезниковой [15, 16].

Всего за период учетов было собрано и определено 127 экземпляров кокцид. Собранный материал находится в коллекции автора.

Результаты и обсуждение

В ходе анализа собранного материала были идентифицированы три новых для фауны Беларуси вида кокцид — *Parthenolecanium rufulum* (Cockerell, 1903) (сем. Coccidae), *Kermes quercus* (Linnaeus, 1758) (указывается в электронном каталоге насекомых Беларуси (<https://insecta-g2p.weebly.com>), однако, без приведения конкретных данных о месте нахождения или первоисточнике) и *K. roboris* (Fourcroy, 1785) (сем. Kermesidae).

Ложнощитовка дубовая — *Parthenolecanium rufulum* (Cockerell, 1903) (рис. 1).



Рис. 1. Колонии *Parthenolecanium rufulum* (Cockerell, 1903) на побеге дуба черешчатого

Fig. 1. Colonies of *Parthenolecanium rufulum* (Cockerell, 1903) on a Pedunculata Oak shoot

Материал. Гомельская обл., Брагинский район, Комаринское лесничество, смешанный лес, ССЗ д. Асаревичи (51°37'27" с. ш., 30°29'00" в. д.), тонкие ветви дуба черешчатого (*Q. robur*), 17.08.2019, 98♀.

Краткое описание. Самка — овальная или неправильно овальная, выпуклая, самая высокая точка тела находится между его центральной и задней частью. Задняя часть тела — круто пологая, передняя — пологая и слегка суженная, бока почти отвесные. Мертвая самка имеет окраску от темно-желтой до красновато-коричневой, длину — около 6 мм и ширину — 4 мм.

Распространение. Европа (в основном южные регионы) и Закавказье.

Образ жизни. В течение одного года развивается одно поколение. Зимуют личинки второго возраста в трещинах коры или на ветвях у почек. Весной личинки покидают места зимовки и питаются, пребывая на тонких ветвях. Здесь они линяют и превращаются в самок. Самки откладывают яйца с середины мая до начала июня. Продолжительность эмбрионального развития составляет около одного месяца. Отрождение личинок приурочено к середине

июня, иногда к первой половине июля. После прикрепления к листьям кормового растения они становятся бесцветными, прозрачными и малозаметными. Развитие личинок растянуто во времени. Первая линька может быть и в августе, и в сентябре. Личинки второго возраста — выпуклые, окраска — серовато-коричневая. Миграция личинок с листьев на ветви происходит перед листопадом в октябре. Зимующие личинки имеют длину до 2 мм, окраска вначале темная, затем коричневатая-красная. Изменение окраски тела зимующих личинок связано с накоплением жиров, которые видны сквозь прозрачные эластичные покровы. Весной, с началом питания, у них снова изменяется цвет тела — на зеленовато-серый.

Экология. Полифаг. Основным кормовым растением является дуб, однако насекомое живет также на грабе, вязе, каштане и других деревьях. Может переходить с дубов на чайные кусты.

Вредоносность. Опасный вредитель дубовых лесов. В результате повреждения личинками и самками ветви, вершины кроны постепенно усыхают и отмирают, засыхают отдельные деревья, особенно молодые. Вредители выделяют очень большое количество медвяной росы, которая вместе с сажистыми грибами сильно загрязняет растения.

Кермес северный — *Kermes quercus* (Linnaeus, 1758) (рис. 2).

Материал. Гомельская обл., Гомельский район, поле, расположенное севернее д. Уза близ р. Уза (52°22'58" с. ш., 30°51'18" в. д.), ствол одиноко стоящего дуба черешчатого (*Q. robur*), 16.05.2020, 3♀.

Краткое описание. Тело взрослой самки почковидное, голое или покрытое белыми, мучнистыми, восковыми выделениями, верхняя ее поверхность гладкая, блестящая, на спинной стороне есть продольный желоб, окраска — от темно-коричневой до черной с несколькими темными волнистыми прерывающимися полосами длиной 3...4 мм, шириной 3...5 мм, высотой 4...6 мм.

Распространение. Европа и Северная Америка.

Образ жизни. В течение одного года развивается одно поколение. Насекомые зимуют в личиночной фазе в трещинах коры дуба черешчатого. Личинки первой стадии развития зимуют под прозрачной оболочкой, на поверхности которой находятся стеклянноподобные трубочки воскового вещества. В начале сентября и в зимний период также наблюдаются личинки второй стадии развития самок и самцов. Личинки второй стадии первоначально покрыты такими же покровами, как и личинки первой стадии. Весной перезимовавшие личинки самок второй стадии легко найти на стволе дерева по белому пушку,



Рис. 2. Самки *Kermes quercus* (Linnaeus, 1758) в трещине коры дуба черешчатого
 Fig. 2. Females of *Kermes quercus* (Linnaeus, 1758) in the bark crack of Pedunculate Oak

покрывающему их тело, в это время они напоминают белые шарики. Личинки самцов весной выползают из трещин коры и на ее поверхности образуют овальный шелковистый кокон, в котором продолжают свое развитие. Во второй половине мая появляются самки. Вначале молодая самка на спинной поверхности несет оболочку, которой была покрыта личинка второй стадии, и личиночную шкурку. По мере быстрого роста самки теряют эти покровы. Лет самцов наблюдается в середине мая, а в холодные годы — в первой половине июня. Самки откладывают яйца в выводковую полость. Тело отмершей после окончания яйцекладки самки некоторое время служит защитой для яиц и личинок. Отрождение личинок из развивающихся яиц наблюдается в первой половине июля, а в холодные годы — во второй. Прикрепившиеся в трещинах коры дерева личинки покрываются спирально закрученными стеклянно-прозрачными восковыми трубочками и порошоквидным воском.

Экология. Монофаг. Живет в трещинах коры ствола и толстых ветвей дуба.

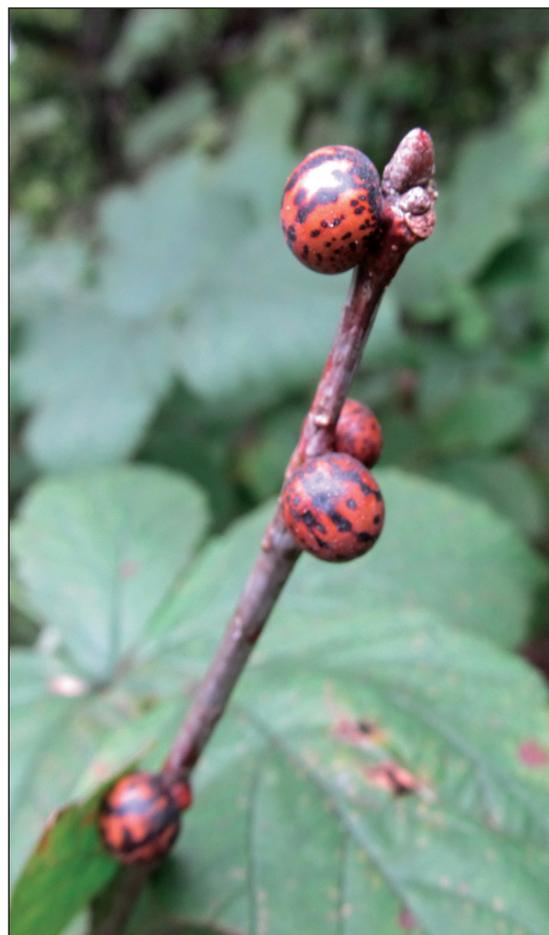


Рис. 3. Самки *Kermes roboris* (Fourcroy, 1785) на ветви дуба черешчатого
 Fig. 3. Females of *Kermes roboris* (Fourcroy, 1785) on a branch of Pedunculate Oak

Вредоносность. Вредит дубовым насаждениям в лесах, парках и зеленых зонах.

Кермес шаровидный — *Kermes roboris* (Fourcroy, 1785) (рис. 3)

Материал. Гомельская обл., Лоевский район, дубовая поросль на пойменном лугу в долине р. Старый Днепр, 3 д. Абакумы (51°58'56" с. ш., 30°49'08" в. д.), тонкие ветви дуба черешчатого (*Q. robur*), 28.07.2019, 4♀; Брагинский район, Комаринское лесничество, смешанный лес, ССЗ д. Асаревичи (51°37'27" с. ш., 30°29'00" в. д.), тонкие ветви дуба черешчатого (*Q. robur*), 17.08.2019, 19♀; Жаровское лесничество, лесосека в смешанном лесу вдоль автодороги между д. Кирово и д. Верхние Жары (51°22'03" с. ш., 30°34'20" в. д.), тонкие ветви дуба черешчатого (*Q. robur*), 18.07.2020, 3♀.

Краткое описание. Тело взрослой самки почти шаровидное, верхняя его сторона гладкая, блестящая, не имеет продольного желоба, окраска — от желто-охряной до буро-коричневой с темными полосами, пятнами и точками разного размера, длиной 5...7,5 мм, шириной 6,8...8,5 мм, высотой 5,5...8 мм.

Распространение. Европа (в основном южные регионы), Северный Кавказ, Грузия, Армения, Западный Казахстан, Северная Африка.

Образ жизни. Биология сходна с предыдущим видом (*K. quercus*). В течение года развивается одно поколение. Самки откладывают яйца в выводковую полость. Тело отмершей после окончания яйцекладки самки некоторое время служит защитой для яиц и личинок. Зимовка проходит в личиночной фазе на коре дуба. Самцы не известны.

Экология. Монофаг. Живет на тонких ветвях дуба. Самки встречаются обычно одиночно, иногда наблюдаются их небольшие скопления — по 3...5 самок. Большие колонии образует редко.

Вредоносность. На юге вредит молодым посадкам дуба.

Выводы

Рассмотренные находки представляют большой интерес, поскольку позволяют расширить имеющиеся представления о современном распространении *Parthenolecanium rufulum*, *Kermes quercus* и *K. roboris* в Восточной Европе. Появление этих видов кокцид на юго-востоке Беларуси, очевидно, связано с расширением их ареалов, что может быть обусловлено как климатическими изменениями последних десятилетий, так и в результате завоза с юга.

Одной из задач будущих исследований является выявление новых мест обитания и трофических связей хозяйственно значимых видов кокцид в условиях Беларуси, поскольку без учета этого важнейшего экологического аспекта не возможна разработка специальных мер борьбы с ними.

Список литературы

- [1] Георгиевский С.Д. Древесно-кустарниковая растительность // Ботанический сад Академии наук БССР: путеводитель / Под ред. Н.В. Смольского. Минск: Изд-во АН БССР, 1956. С. 24–43.
- [2] Юркевич И.Д., Голод Д.С., Адериго В.С. Растительность Белоруссии, ее картографирование, охрана и использование. Минск: Наука и техника, 1979. 248 с.
- [3] Потапенко А.М., Гримашевич В.В. Естественное восстановление смешанных дубрав при проведении постепенных рубок в юго-восточной части Беларуси // Лесное хозяйство: тезисы 76-й научно-технической конференции профессорско-преподавательского состава, научных сотрудников и аспирантов, Минск, 13–20 февраля 2012 г. Минск: Изд-во БГТУ, 2012. С. 35.
- [4] Единовременный государственный учет лесов Республики Беларусь по состоянию на 1 января 2006 года // Министерство лесного хозяйства Республики Беларусь. Минск: Белгослес, 2006. 88 с.
- [5] Сетракова Е.М. Современное состояние изученности таксономического состава насекомых-филлофагов дуба черешчатого (*Quercus robur* L.) в Беларуси // Труды БГУ, 2014. Т. 9. Ч. 2. С. 236–245.
- [6] Гаврилов И.А. Систематика и цитогенетика кокцид (Homoptera: Coccinea) европейской части России: автореф. дис. ... канд. биол. наук. СПб, 2005. 25 с.
- [7] Zhora D.G., Buga S.V. Coccoidea fauna of Belarus and presence of nucleotide sequences of the scale insects in the genetic databases // Monographs of the Upper Silesian Museum in Bytom, 2019, no. 10, pp. 55–64.
- [8] Хотько Э.И., Марченко Я.И., Шаванова Т.М. Атлас насекомых — вредителей лесных пород в Беларуси. Минск: Минская печатная фабрика, 1999. 128 с.
- [9] Определитель насекомых европейской части СССР. В 5 т. Т. 1. Низшие, древнекрылые, с неполным превращением / под ред. Г.Я. Бей-Биенко. М.; Л.: Наука, 1964. 937 с.
- [10] Борхсениус Н.С. Червецы и щитовки (Coccoidea) СССР. М.; Л.: Изд-во АН СССР, 1950. 250 с.
- [11] Борхсениус Н.С. Определитель кокцид (Coccidae), вредных культурным растениям и лесу в СССР. Л.: Изд-во Ленинградской областной карантинной инспекции, 1937. 148 с.
- [12] Борхсениус Н.С. Практический определитель кокцид (Coccoidea) культурных растений и лесных пород СССР. М.; Л.: Изд-во АН СССР, 1963. 311 с.
- [13] Борхсениус Н.С. Фауна СССР. Нов. сер. № 66. Насекомые хоботные. Т.9. Подотряд кокциды (Homoptera, Coccoidea). Семейство подушечницы и ложнощитовки (Coccidae). М.; Л.: Изд-во АН СССР, 1957. 493 с.
- [14] Борхсениус Н.С. Фауна СССР. Нов. сер. № 77. Насекомые хоботные. Т.8. Подотряд кокциды (Homoptera, Coccoidea). Семейства Kermococcidae, Asterolecaniidae, Lecanodiaspididae, Acleridae. М.; Л.: Изд-во АН СССР, 1960. 283 с.
- [15] Терезникова Е.М. Фауна Украины. В 40 т. Т. 20. Кокциды. Вип. 19. Повстярї, кермеси, червці парнозалозисті та несправжньощитівки. Київ: Наукова думка, 1981. 215 с.
- [16] Терезникова Е.М. Определитель кокцид – вредителей сельскохозяйственных и лесных культур на Украине. Киев: Наукова думка, 1982. 76 с.

Сведения об авторе

Островский Артем Михайлович — ст. преп. кафедры общественного здоровья и здравоохранения с курсом ФПК и П учреждения образования «Гомельский государственный медицинский университет», Arti301989@mail.ru

Поступила в редакцию 16.08.2021.

Одобрено после рецензирования 14.10.2021.

Принята к публикации 15.11.2021.

NEW RECORDS OF SCALE INSECTS (RHYNCHOTA: STERNORRHYNCHA: COCCINEA) — PEDUNCULATE OAK PESTS (*QUERCUS ROBUR* LINNAEUS, 1753) IN FAUNA OF BELARUS

A.M. Ostrovsky

Gomel State Medical University, 5, Lange st., 246000, Gomel, Republic of Belarus

Arti301989@mail.ru

This article provides information about the findings of three more species new to the fauna of Belarus — *Parthenolecanium rufulum* (Cockerell, 1903), *Kermes quercus* (Linnaeus, 1758) and *K. roboris* (Fourcroy, 1785). Information on the distribution, biology, ecology and the degree of harmfulness of these species is given. The morphological description of the studied forms is given. As part of the implementation of forest protection measures, monitoring and recording of all cases of detection of these scale insects in our region will be important.

Keywords: Sternorrhyncha, Coccinea, *Parthenolecanium rufulum*, *Kermes quercus*, *K. roboris*, scale insects, findings, fauna

Suggested citation: Ostrovsky A.M. *Novye nakhodki koktsid (Rhynchota: Sternorrhyncha: Coccinea) — vrediteli duba chereschatogo (Quercus robur Linnaeus, 1753) v faune Belarusi* [New records of scale insects (Rhynchota: Sternorrhyncha: Coccinea) — pedunculate oak pests (*Quercus robur* Linnaeus, 1753) in fauna of Belarus]. *Lesnoy vestnik / Forestry Bulletin*, 2022, vol. 26, no. 2, pp. 31–35. DOI: 10.18698/2542-1468-2022-2-31-35

References

- [1] Georgievskiy S.D. *Drevesno-kustarnikovaya rastitel'nost'* [Arboreal and shrubby vegetation]. Botanicheskiy sad Akademii nauk BSSR: putevoditel' [Botanical Garden of the Academy of Sciences of the BSSR: a guide]. Minsk: AS BSSR, 1956, pp. 24–43.
- [2] Yurkevich I.D., Golod D.S., Aderikho V.S. *Rastitel'nost' Belorussii, ee kartografirovaniye, okhrana i ispol'zovanie* [Vegetation of Belarus, its mapping, protection and use]. Minsk: Nauka i tekhnika, 1979, 248 p.
- [3] Potapenko A.M., Grimashevich V.V. *Estestvennoye vosstanovleniye smeshannykh dubrav pri provedenii postepennykh rubok v yugo-vostochnoy chasti Belarusi* [Natural restoration of mixed oak forests during gradual logging in the south-eastern part of Belarus]. *Lesnoe khozyaystvo: tezisy 76-y nauchno-tekhnicheskoy konferentsii professorsko-prepodavatel'skogo sostava, nauchnykh sotrudnikov i aspirantov* [Forestry: abstracts of the 76th scientific and technical Conference of faculty, researchers and postgraduates], Minsk, 13–20 February 2012. Minsk: Belarusian State Technological University, 2012, p. 35.
- [4] *Edinovremennyy gosudarstvennyy uchet lesov Respubliki Belarus' po sostoyaniyu na 1 yanvarya 2006 goda* [One-time state accounting of forests of the Republic of Belarus as of January 1, 2006]. Ministry of Forestry of the Republic of Belarus. Minsk: Belgosles, 2006, 88 p.
- [5] Setrakova E.M. *Sovremennoye sostoyaniye izuchennosti taksonomicheskogo sostava nasekomykh-fillofagov duba chereschatogo (Quercus robur L.) v Belarusi* [The current state of knowledge of the taxonomic composition of phyllophagous insects of oak (*Quercus robur* L.) in Belarus]. *Trudy BGU* [Proceedings of the Belarusian state University], 2014, v. 9, part 2, pp. 236–245.
- [6] Gavrilov I.A. *Sistematika i tsitogenetika koktsid (Homoptera: Coccinea) Evropeyskoy chasti Rossii* [Taxonomy and cytogenetics of Coccidae (Homoptera: Coccinea) the European part of Russia]. *Dis. Cand. Sci. (Biol.)*. Saint-Petersburg, 2005, 25 p.
- [7] Zhorau D.G., Buga S.V. *Coccoidea fauna of Belarus and presence of nucleotide sequences of the scale insects in the genetic databases // Monographs of the Upper Silesian Museum in Bytom*, 2019, no. 10, pp. 55–64.
- [8] Khot'ko E.I., Marchenko Ya.I., Shavanova T.M. *Atlas nasekomykh — vreditel'nykh porod v Belarusi* [Atlas of insect pests of forest species in Belarus]. Minsk: Minskaya pechatnaya fabrika, 1999, 128 p.
- [9] *Opredelitel' nasekomykh Evropeyskoy chasti SSSR* [Key of Insects of the European part of the USSR]. In 5 v., v. 1. Nizshnie, drevnekrylye, s nepolnym prevrashcheniem [Lower, ancient winged, with incomplete transformation]. Ed. G.Ya. Bey-Bienko. Moscow–Leningrad: Nauka, 1964, 937 p.
- [10] Borkshenius N.S. *Chervetsy i shchitovki (Coccoidea) SSSR* [Scale insects (Coccoidea) of the USSR]. Moscow–Leningrad: AS SSSR, 1950, 250 p.
- [11] Borkshenius N.S. *Opredelitel' koktsid (Coccidae), vredyashchikh kul'turnym rasteniyam i lesu v SSSR* [Tables for the identification of coccids (Coccidae) injurious to cultivated plants and forests in the USSR]. Leningrad: Leningradskaya oblastnaya karantinnyaya inspektsiya, 1937, 148 p.
- [12] Borkshenius N.S. *Prakticheskiy opredelitel' koktsid (Coccoidea) kul'turnykh rasteniy i lesnykh porod SSSR* [Practical tables for the identification of coccids (Coccoidea) of cultivated plants and forest breeds of the USSR]. Moscow–Leningrad: AS SSSR, 1963, 311 p.
- [13] Borkshenius N.S. *Fauna SSSR. Nov. ser. № 66. Nasekomye khobotnye. T.9. Podotryad koktsidy (Homoptera, Coccoidea). Semeystvo podushechnitsy i lozhnoshchitovki (Coccidae)* [Fauna of the USSR. Suborder coccids (Homoptera, Coccoidea). Family of scale insects (Coccidae)]. Moscow–Leningrad: AS SSSR, 1957, 493 p.
- [14] Borkshenius N.S. *Fauna SSSR. Nov. ser. № 77. Nasekomye khobotnye. T.8. Podotryad koktsidy (Homoptera, Coccoidea). Semeystva Kermococcidae, Asterolecaniidae, Lecanodiaspididae, Acleridae* [Fauna of the USSR. Suborder coccids (Homoptera, Coccoidea). Families of Kermococcidae, Asterolecaniidae, Lecanodiaspididae, Acleridae]. Moscow–Leningrad: AS SSSR, 1960, 283 p.
- [15] Tereznikova E.M. *Fauna Ukraini. V 40 t. T. 20. Koktsidi. Vip. 19. Povstyari, kermesi, chervitsi parnozalizisti ta nespravzhn' oshchitivki* [Fauna of Ukraine. In 40 v., v. 20., iss. 19. Eriococcidae, Kermesidae, Asterolecaniidae, Coccidae]. Kiev: Naukova dumka, 1981, 215 p.
- [16] Tereznikova E.M. *Opredelitel' koktsid — vreditel'nykh sel'skokhozyaystvennykh i lesnykh kul'tur na Ukraine* [Tables for the identification of coccids injurious to cultivated and forest crops in Ukraine]. Kiev: Naukova dumka, 1982, 76 p.

Author's information

Ostrovsky Artem Mikhaylovich — Senior Lecturer at the Department of Public Health and Health with the course of the Faculty of Professional Development and Retraining EI «Gomel State Medical University», Arti301989@mail.ru

Received 16.08.2021.
Approved after review 14.10.2021.
Accepted for publication 15.11.2021.

ЗАСОРЕНИЕ ДРЕВЕСНОЙ МАССОЙ ВОДОХРАНИЛИЩ ГИДРОЭЛЕКТРОСТАНЦИЙ, ПОСТРОЕННЫХ НА ПОКРЫТЫХ ЛЕСОМ ЗЕМЛЯХ

В.П. Корпачев✉, А.И. Пережилин, А.А. Андрияс

ФГБОУ ВО «Сибирский государственный университет науки и технологий имени академика М.Ф. Решетнева»,
660037, г. Красноярск, проспект имени газеты «Красноярский рабочий», д. 31

korpachevvp@sibsau.ru

В работе проанализированы особенности проектирования и создания гидроэлектростанций в Сибири и на Дальнем Востоке — выявлены экологические, экономические и социальные проблемы, представлены результаты исследований объемов древесины планируемых (проектных) и действительно затопленных в ложах, а также находящейся на плаву на акватории водохранилищ Ангаро-Енисейского региона. Установлены причины оставления значительных объемов древесно-кустарниковой растительности в зонах затопления водохранилищ, охарактеризованы негативные явления, обусловленные наличием в акваториях плавающей древесной массы и органических веществ растительного происхождения. Изложено основное применяемое направление утилизации древесины из водных объектов — захоронение на полигоне. Рекомендуются более широкое использование плавающей и затопленной древесины в производстве различной продукции, что позволит сохранить от вырубки растущие древостой. Показана необходимость разработки на стадии проектирования гидроэлектростанций комплекса защитно-компенсационных мероприятий и научного обоснования безопасных для водного объекта объемов древесины, оставляемых в процессе проведения работ по подготовке лож водохранилищ под затопление. Отмечено, что проводимые в настоящее время работы по мониторингу запасов древесной массы и оценке состояния береговой полосы водохранилищ, построенных на покрытых лесом землях, следует продолжить с привлечением методов дистанционного зондирования и беспилотных летательных аппаратов с целью осуществления оперативной оценки изменений. Своевременная оценка изменения состояния акваторий водохранилищ позволит отслеживать развитие неблагоприятных геологических процессов, направления перемещения древесной массы, устанавливать места и объемы ее концентрации, что важно для дальнейшей разработки технологий и создания технических средств очистки водохранилищ от плавающей древесины.

Ключевые слова: ложе водохранилища, лесопокрытые территории, акватория водохранилища, плавающее торфяное поле, засорение, древесная масса

Ссылка для цитирования: Корпачев В.П., Пережилин А.И., Андрияс А.А. Засорение древесной массой водохранилищ гидроэлектростанций, построенных на покрытых лесом землях // Лесной вестник / Forestry Bulletin, 2022. Т. 26. № 2. С. 36–43. DOI: 10.18698/2542-1468-2022-2-36-43

Особенностью строительства высоконапорных гидроэлектростанций в Сибири и на Дальнем Востоке является их создание и проектирование для возведения на покрытых лесом землях [1–3].

Крупные водохранилища гидроэлектростанций оказывают мощное антропогенное воздействие на естественный режим водного объекта и окружающие территории, поэтому гидроэнергетическое строительство воспринимается неоднозначно: с одной стороны, необходимо обеспечивать социально-экономическое развитие того или иного региона и страны в целом, удовлетворять возрастающие потребности общества и экономики в воде и энергии, осуществлять борьбу с наводнениями и т. д., с другой — избегать негативного воздействия возводимых гидроэлектростанций на окружающую среду. Пути устранения указанных противоречий не всегда имеют рациональный характер — важно достичь согласованности

совместных работ инженеров-проектировщиков и строителей в вопросах экологии с помощью социально-экологических мероприятий [4].

Отметим, что гидротехническое строительство наряду с положительными факторами влечет за собой и негативные для окружающей среды и человека последствия в виде материального, экономического, экологического и социального ущерба [5].

Доля затрат на подготовку зон затопления при создании водохранилищ и на природоохранные мероприятия составляет до 50 % общей суммы капиталовложений, предназначенных для строительства гидроузла [6, 7]. В некоторых странах Европы такие затраты составляют от 30 до 65 % объемов капиталовложений на строительство гидротехнического комплекса [5, 8, 9]. При этом на различных этапах происходят отступления от проектных разработок и нормативных требований, что приводит к непредсказуемым последствиям и вызывает затруднения при некоторых

видах водопользования. В частности, ухудшается качество воды, снижается биологическая продуктивность водоема, плавающие объекты (древесина и торф) создают преграды для водного транспорта и водозаборных сооружений, размыв берегов и подпор грунтовых вод требует переноса имеющихся строений или применения дорогостоящих инженерных методов их защиты и т. д.

Требования к подготовке лож водохранилищ для гидроэлектростанций установлены Санитарными правилами проектирования, строительства и эксплуатации водохранилищ СанПиН 3907–85 (далее — СанПиН 3907–85) и Стандартом организации НП «ИНВЭЛ» СТО 70238424.27.140.036–2009, которые предусматривают комплекс мероприятий по подготовке зоны затопления, в том числе проведение санитарной очистки территорий от древесной и кустарниковой растительности.

Опыт строительства гидроэлектростанций и подготовки зон затопления показал, что ни на одном водохранилище не были выполнены работы по лесосводке и лесочистке в проектных объемах [1].

Строительство гидроэлектростанций часто провоцировало возникновение таких природных явлений, как разрушение берегов, отпад полузатопленных деревьев, вынос древесины из притоков рек, различные стихийные бедствия, а также антропогенных процессов, возникающих, в частности, в результате отступления от нормативных документов. По этим причинам в акватории водохранилищ появлялась плавающая древесная масса — хлысты, вершинники, бревна, коротье и др., что само по себе несло большую опасность. Плавающая древесная масса под воздействием ветро-волновых нагрузок и течений перемещается по акватории водохранилищ, представляя угрозу не только в целом для гидроэлектростанций, но и для судоходства и лесосплава, снижает рекреационную привлекательность водного объекта. К тому же затопленная и плавающая древесная масса, всплывающие торфяные залежи оказывают негативное влияние на качество воды водохранилища [10–13].

Поэтому проект ГЭС должен в обязательном порядке предусматривать комплекс мероприятий, минимизирующих объемы затопления древесины, сохраняющих качество воды водохранилища, предотвращающих поступление древесной массы в пределы акватории и предусматривающих технические решения по очистке акваторий от плавающей и полузатопленной древесины.

Цель работы

Цель работы — анализ причин затопления древесно-кустарниковой растительности в ложах водохранилищ гидроэлектростанций, формиро-

вания запасов плавающей древесной массы на их акваториях, а также привлечение внимания на необходимость разработки уже на стадии проектирования гидроэлектростанций комплекса защитно-компенсационных мероприятий и научного обоснования безопасных для водного объекта объемов древесины, оставляемых в процессе проведения работ по подготовке лож водохранилищ под затопление.

Объекты и методы исследования

Объектом исследования служат водохранилища гидроэлектростанций, созданные на покрытых лесом территориях Сибири. На реках Ангара и Енисей расположены крупнейшие в России Красноярская ГЭС, Саяно-Шушенская ГЭС, Братская ГЭС, Усть-Илимская ГЭС, Богучанская ГЭС.

Предмет исследования — затопленная и плавающая древесина в водохранилищах гидроэлектростанций.

Представленные результаты исследований базируются на многолетних натурных обследованиях водохранилищ гидроэлектростанций Сибири, выполняемых с 1985 г. сотрудниками кафедры транспорта, строительства и водопользования Сибирского государственного университета науки и технологий имени М.Ф. Решетнева (далее — СибГУ им. М.Ф. Решетнева) (ранее кафедра использования водных ресурсов Сибирского государственного технологического университета и водного транспорта леса Сибирского технологического института).

В качестве методики исследования причин и объемов плавающей и затопленной древесины в ложах водохранилищ был принят метод сбора и анализа репрезентативных исходных данных натурных исследований водохранилищ гидроэлектростанций Сибири по пробным площадям и картографическим материалам, данных дистанционного зондирования характерных участков акватории водохранилищ при проведении качественной и количественной оценок исследуемых процессов.

Результаты исследования

В разработке проектной документации лесосводки и лесочистки ложа водохранилища Богучанской ГЭС и комплекса научно-исследовательских работ по прогнозированию засорения древесной массой водохранилища Богучанской ГЭС на р. Ангаре, Нижне-Бурейской ГЭС на р. Бурее и Усть-Среднеканской ГЭС на р. Колыме, а также в создании проектов Мотыгинской ГЭС на р. Ангаре и Эвенкийской ГЭС на р. Нижней Тунгуске [1, 14, 16–19] авторы статьи принимали непосредственное участие.

Т а б л и ц а 1

Характеристика водохранилищ гидроэлектростанций Ангаро-Енисейского региона

Characteristics of reservoirs of hydroelectric power plants of the Angara-Yenisei region

Показатель	Водохранилище						Всего
	Братское	Красноярское	Усть-Илимское	Курейское	Саяно-Шушенское	Богучанское	
Год заполнения водохранилища до нормального подпорного уровня	1967	1970	1977	1989	1990	2015	–
Общая площадь затопления земель, тыс. га	510,5	175,0	154,0	55,8	54,6	137,3	1087,2
Площадь затопления лесопокрытых земель, тыс. га	236,9	38,0	127,8	30,5	48,9	126,5	608,6
Общий запас насаждений, млн м ³	40,5	0,5	14,4	1,8	3,7	13,5	74,4
Объем затопления древесины, млн м ³ :							
проектный	4,0	0,3	1,6	0,5	2,1	2,0	10,5
реальный	12,0	0,5	5,0	1,7	3,5	10,3	33,0
Объем плавающей древесины, млн м ³	2,2	0,1	0,9	–	0,2*	1,0	4,4

*Древесина в зоне сработки уровня.

Материалы о ранее проведенных исследованиях широко представлены в рамках всероссийских и международных симпозиумов, конференций, в СМИ, научных статьях, монографиях, что послужило основой для проведения дальнейших работ в этом направлении. Многие практические решения по этой теме подкреплены патентами, а полученные результаты использованы в учебном процессе при подготовке бакалавров, магистров и аспирантов по направлению подготовки «Технология лесозаготовительных и деревоперерабатывающих производств».

Многолетние исследования авторов по оценке реальных объемов затопления и плавающей древесины на водохранилищах Ангаро-Енисейского региона позволили получить важные результаты (табл. 1).

Как видно из представленных в табл. 1 данных, общая площадь затопления земель составила более 1 млн га, из которых больше половины (56 %) составляют покрытые лесом земли. В ложе этих водохранилищ затоплено 33 млн м³ древесной и кустарниковой растительности. Проектные объемы затопления древесины обосновывались технико-экономическими расчетами, требованиями СанПиН 3907–85 и техническими условиями на проведение лесосводки и лесочистки лож водохранилищ, разрабатываемых для каждого водохранилища. Под действием ветра и гидрологических факторов затопленные и полузатопленные вдоль береговой линии водохранилищ лесные массивы отпадают и поступают в пределы аква-

тории, будучи основным источником появления плавающей древесной массы. Очистка акваторий от плавающей и полузатопленной древесины — процесс экономически невыгодный (затратный), поэтому еще на стадии проектирования следует определить допустимые объемы затопления, которые обеспечили бы значения показателей качества воды, не превышающие фоновых.

Наиболее изученным с точки зрения поступления древесной массы и очистки акватории водохранилищем, является Братское, в ложе которого было затоплено 12 млн м³ древесины. Многолетний опыт эксплуатации водохранилищ Братской ГЭС и Усть-Илимской ГЭС показал непрерывность процесса восполнения объемов плавающей древесной массы в их акваториях. С 1967 по 1990 гг. с акватории Братского водохранилища было убрано и передано Братскому лесопромышленному комплексу (ЛПК) около 7 млн м³ древесины, т. е. в среднем 300 тыс. м³ в год, тем не менее запасы плавающей древесной массы практически не уменьшаются [1].

На водохранилищах Братской ГЭС и Усть-Илимской ГЭС плавающая древесина, безусловно, создавала проблемы, однако с меньшими негативными последствиями, поскольку здесь изначально функционировали лесосплавные предприятия, занимавшиеся очисткой водохранилищ от древесной массы параллельно с основными работами.

Древесина, поступающая к решеткам водозаборов гидроэлектростанций может не только снизить их пропускную способность, но и уве-

личить нагрузку на плотину. Так, на Саяно-Шушенской ГЭС в 1980-е годы вследствие помех, создаваемых плавающей древесиной (рис. 1), выработка электроэнергии агрегатами постоянно снижалась на 5...7% [20], и только после этого ее было решено запарить запанями в заливах.

Затопленная и плавающая древесина обуславливает возникновение некоторых негативных явлений, причем не сразу, а по прошествии нескольких лет. К примеру, на Саяно-Шушенском водохранилище наполнение началось в 1978 г., а массовое поступление древесины к плотине произошло только в 1985 г. На очистку Саяно-Шушенского водохранилища были затрачены значительные бюджетные средства, поскольку объемы плавающей древесины были очень велики, сроки производства работ не соответствовали необходимым, отсутствовала необходимая инфраструктура, а длительное нахождение древесины в воде снижало ее товарные качества, что негативно влияло на востребованность потребителей, предопределяя единственный вариант утилизации — захоронение на полигоне [21].

По оценке специалистов кафедры использования водных ресурсов СибГУ им. М.Ф. Решетнева, в акватории и на побережье Саяно-Шушенского водохранилища в 1995 г. плавающая древесная масса составляла 714 тыс. м³, в 2008 г. — 696 тыс. м³. Авария, произошедшая на Саяно-Шушенской ГЭС 2009 г., обусловила начало интенсивной очистки акватории водохранилища от плавающей и скопившейся по берегам древесины. Вследствие этого ее количество к 2015 г. уменьшилось до 196 тыс. м³ [14].

В 2015 г. работы по уборке плавающей древесины на Саяно-Шушенском водохранилище были завершены, однако в зоне сработки уровня (до 40 м) остались одиночные стволы сухостоя, которые задерживают в данной полосе разнесенную и поступающую от размыва берегов древесину и не позволяют ей выйти в акваторию. В связи с этим наблюдается сильное захламление прибрежной полосы древесиной (рис. 2) объемом около 142 тыс. м³ [14].

Подобная ситуация наблюдается на Бурейском водохранилище (рис. 3), на котором объем плавающей древесины составляет около 1 млн м³ [15].

Вызывает тревогу водохранилище Богучанской ГЭС, заполненное до нормального подпорного уровня (НПУ) в июне 2015 г. и в настоящее время находящееся на стадии интенсивного формирования.

Технический проект 1976 г. предусматривал проведение лесосводки в зоне затопления водохранилища Богучанской ГЭС в объеме 12,1 млн м³ и лесочистку на спецучастках площадью 26,9 тыс. га. Плановый объем затопления древесины должен был составить 2 млн м³ [22].



Рис. 1. Древесная масса у Саяно-Шушенской ГЭС (1986)
Fig. 1. Wood pulp at the Sayano-Shushenskaya HPP (1986)



Рис. 2. Разнесенная древесина в зоне сработки Саяно-Шушенского водохранилища (2015)
Fig. 2. Scattered wood in the empty zone of the Sayano-Shushenskoye reservoir (2015)



Рис. 3. Разнесенная древесина в зоне сработки Бурейского водохранилища (2015)
Fig. 3. Scattered wood in the empty zone of the Bureya reservoir (2015)

Остаточные запасы древесины, попадающие под затопление в ложе водохранилища Богучанской ГЭС при нормальном подпорном уровне 208,0 м Балтийской системы высот
Residual timber stocks subject to flooding in the bed of the reservoir of the Boguchanskaya HPP at a normal retaining level of 208,0 m of the Baltic height system

Показатели	Красноярский край	Иркутская область	Всего
Общая характеристика зоны затопления			
Общая площадь, га	138051	15090	153141
Площадь, покрытая лесной растительностью, га	108461	13582	122043
Общий запас насаждений, тыс. м ³	8191,4	1358,5	9549,9
в том числе запас товарных насаждений, тыс. м ³	4351,0	929,9	5280,9
Запас единичных деревьев, тыс. м ³	474,6	50,8	525,4
Запас сухостоя и захламленности, тыс. м ³	1198,6	184,3	1382,9
в том числе сухостой	311,4	76,9	388,3
захламленность	887,2	107,4	994,6
Общая характеристика участков специального назначения (спецучастков)			
Площадь спецучастков, га	16160,4	427,0	16587,4
Общий запас насаждений, тыс. м ³	960,4	8,2	968,6
в том числе запас товарных насаждений, тыс. м ³	579,7	1,6	581,3
Запас единичных деревьев, тыс. м ³	42,8	0,9	43,7
Запас сухостоя и захламленности, тыс. м ³	135,6	1,8	137,4
в том числе сухостой	34,1	1,1	35,2
захламленность	101,5	0,7	102,2
Остаточные запасы древесины, попадающие под затопление			
Общий запас насаждений, тыс. м ³	7231,0	1350,3	8581,3
в том числе запас товарных насаждений, тыс. м ³	3771,3	928,3	4699,6
Запас единичных деревьев, тыс. м ³	431,8	49,9	481,7
Запас сухостоя и захламленности, тыс. м ³	1063,0	182,5	1245,5
в том числе сухостой	277,3	75,8	353,1
захламленность	785,7	106,7	892,4
Запас древесной массы, поступающей под затопление, тыс. м ³	8725,8	1582,7	10308,5



Рис. 4. Плавающая древесина в береговой полосе Богучанского водохранилища (2016)

Fig. 4. Floating wood in the shoreline of the Boguchansky reservoir (2016)

С учетом произошедших изменений в лесном фонде зоны затопления после проведения первичной лесоочистки и лесосводки в 1981–1987 гг. и согласно откорректированной проектной документации в 2009–2013 гг. фактически была выполнена работа по лесоочистке на 89 спец-

участках площадью 16,6 тыс. га. Реальный объем затопления древесной и кустарниковой растительности в ложе Богучанского водохранилища составил 10,3 млн м³ [1, 16–18, 23] (табл. 2).

В процессе становления ложа Богучанского водохранилища происходит интенсивная береговая переработка (абразионные берега составляют почти 1/3 периметра береговой линии — 766 км или 31,5 %), в связи с чем в ложе водохранилища ежегодно поступает около 170 тыс. м³ древесины [1].

В настоящее время свободно плавающая по акватории водохранилища древесина практически не наблюдается, что связано с ее локализацией вдоль береговой линии в зацепе с полузатопленными деревьями в объеме около 1,0 млн м³ (рис. 4).

Трудноразрешимой и высокочатратной является проблема очистки водохранилищ от древесной массы (плавающей и затопленной) и всплывающих торфяных полей, которые под действием ветра и течений способны перемещаться по акватории, создавая потенциальную угрозу водному транспорту и водозаборам практически в любом районе водохранилища, а не только в месте их формирования.

Выводы

1. Многолетний опыт наблюдений за подготовкой зон затопления, созданием и эксплуатацией водохранилищ гидроэлектростанций, построенных на лесных землях, выявил проблемы экологического, экономического и социального направлений. Одной из проблем является засорение водохранилищ затопленной, плавающей древесины и древесиной в зоне сезонной сработки уровня водохранилища. Объемы плавающей древесины на водохранилищах Сибири составляют 4,4 млн м³, затопленной — 33,0 млн м³. Источниками появления плавающей древесной массы служат природные и антропогенные факторы. Вследствие дрейфа по акватории водохранилища плавающая древесина представляет угрозу для эксплуатации гидроэлектростанций, судоходства, лесосплава и др.

Вовлечение в производство плавающей и затопленной древесины позволит, нарастить объемы деревопереработки и сохранить от вырубki растущие древостои.

2. Мониторинг запасов древесной массы в водохранилищах и оценку состояния береговой полосы необходимо продолжить с применением методов дистанционного зондирования и беспилотных летательных аппаратов для осуществления оперативной оценки изменений.

3. Оценить объемы плавающей древесной массы, определить направления перемещения и места ее концентрации важно для дальнейшей разработки технологий и создания технических средств очистки водохранилищ от плавающей древесины.

4. Разработанные на кафедре транспорта, строительства и водопользования СибГУ им. М.Ф. Решетнева методика прогнозирования поступления древесной массы в акватории водохранилищ и технологии очистки [1] позволяют уже на стадии проектирования подготовки под затопление лож водохранилищ выполнить комплекс мероприятий по снижению поступления древесной массы в акватории водохранилищ и их очистку.

Список литературы

- [1] Корпачев В.П., Пережилин А.И., Андрияс А.А. Водохранилища ГЭС Сибири. Проблемы проектирования, создания и эксплуатации. Красноярск: Изд-во СибГТУ, 2015. 209 с.
- [2] Энергетическая стратегия России на период до 2030 года. URL: <https://minenergo.gov.ru/node/15357> (дата обращения 15.06.2021 г.).
- [3] Никитина О.И., Симонов Е.А., Егидарев Е.Г. Адаптация к наводнениям на Амуре и охрана природы // Использование и охрана природных ресурсов в России, 2015. № 3 (141). С. 15–24.
- [4] Side-Effects of Water Resources Management. Eds. A. Volker, J.C. Henry // IAHS Publ., 1988, no. 172, 269 p.
- [5] Environmental experience gained from reservoirs in operation. Transactions of the 18-th Int. Congress on Large Dams, Durban, South Africa, 1994, v. 2, 789 p.
- [6] Авакян А.Б., Матарзин Ю.М., Салтанкин В.П. Водохранилища и их воздействие на окружающую среду. М.: Наука, 1986. 367 с.
- [7] Кочерян А.Г., Лебедева И.П. Динамика создания водохранилищ в мировой практике XX и XXI веков // Гидротехническое строительство, 2014. № 8. С. 7–12.
- [8] Djođević V., Purić V. Die Djerdap-Kraftwerke und Schiffahrtsanlage // Wasserwirtschaft, 1970, bd. 60, no. 8, pp. 263–269.
- [9] Koenig H.W. Talsperrenbau in Einzugsgebiet der Ruhr: Betrieb und Überwachung // Wasserwirtschaft, 1971, bd. 61, no. 5, pp. 130–135.
- [10] Корпачев В.П., Губин И.В., Пережилин А.И., Андрияс А.А. Оценка запасов плавающей древесной массы на акватории водохранилища Саяно-Шушенской ГЭС // Гидротехническое строительство, 2010. № 10. С. 50–52.
- [11] Корпачев В.П., Губин И.В., Пережилин А.И., Андрияс А.А. Прогноз всплывания древесной массы и оценка объемов органических веществ растительного происхождения в ложе водохранилища Богучанской ГЭС // Гидротехническое строительство, 2010. № 12. С. 28–32.
- [12] Прогноз качества воды в водохранилище и в нижнем бьефе Богучанской ГЭС: отчет о НИР. ИЛ СО РАН — ИВЭП ДВО РАН / под рук. С.Е. Сиротского, А.С. Шишкина. Красноярск; Хабаровск: Изд-во ИЛ СО РАН–ИВЭП ДВО РАН, 2009. 178 с.
- [13] Уточненный прогноз всплывания торфа в Богучанском водохранилище. Книга I: отчет о НИР. Горьковская геологоразведочная экспедиция ПО «Торфгеология» / под рук. В.И. Деньгуба. Горький, 1987. 115 с.
- [14] Проведение оценки объемов плавающей древесно-го хлама (плавника) в акватории Саяно-Шушенского водохранилища, его экологической опасности и товарной составляющей: отчет о НИР / СибГТУ; рук. В.П. Корпачев. Красноярск: Изд-во СибГТУ, 2015. 71 с.
- [15] Проведение оценки объемов древесного плавника в акватории Бурейского водохранилища, его экологической опасности и товарной составляющей: отчет о НИР. ИВЭП ДВО РАН / под рук. А.В. Остроухова. Хабаровск: Изд-во ИВЭП ДВО РАН, 2013. 80 с.
- [16] Проведение лесочистки спецучастков ложа водохранилища Богучанской ГЭС с отметкой НПУ 208,0 м. 1 этап. Рабочий проект. Красноярск: Изд-во СибГТУ, Востсиблеспроект, 2008. 111 с.
- [17] Проведение лесочистки спецучастков ложа водохранилища Богучанской ГЭС с отметкой НПУ 208,0 м. 2 этап. Рабочий проект. Красноярск: Изд-во СибГТУ, Востсиблеспроект, 2008. 98 с.
- [18] Проект лесосводки ложа водохранилища Богучанской ГЭС с отметкой НПУ 208,0 м. на территории Красноярского края. Красноярск: СибГТУ, Востсиблеспроект, 2008. 109 с.
- [19] Корпачев В.П., Пережилин А.И., Корпачев К.И. Прогноз засорения древесной массой проектируемого водохранилища Мотыгинской ГЭС // Вестник Московского государственного университета леса – Лесной вестник, 2010. № 1 (70). С. 60–64.
- [20] Корытный Л.М. Реки Красноярского края. Красноярск: Красноярское книжное издательство, 1991. 157 с.
- [21] Проект берегового хранилища извлекаемого из водохранилища сырья. Саяно-Шушенская ГЭС на р. Енисее (инв. № 1047-8-263). СПб.: Изд-во РАО «ЕЭС России» АО «Ленгидропроект», 1994. 29 с.
- [22] Богучанская ГЭС на реке Ангара: Технический проект. Том III. Водохранилище и охрана окружающей среды. Кн. I. М.: Гидропроект, 1976. 219 с.
- [23] Корпачев В.П., Пережилин А.И., Андрияс А.А. Запасы древесной массы в ложе водохранилища Богучанской ГЭС после проведения лесочистки // Гидротехническое строительство, 2014. № 9. С. 32–35.

Сведения об авторах

Корпачев Василий Петрович  — канд. техн. наук, профессор кафедры транспорта, строительства и водопользования, ФГБОУ ВО «Сибирский государственный университет науки и технологий имени академика М.Ф. Решетнева», korpachevvp@sibsau.ru

Пережилин Александр Иванович — канд. биол. наук, заведующий кафедрой транспорта, строительства и водопользования, ФГБОУ ВО «Сибирский государственный университет науки и технологий имени академика М.Ф. Решетнева», alex_pr@sibsau.ru

Андрияс Андрей Александрович — канд. техн. наук, доцент кафедры транспорта, строительства и водопользования, ФГБОУ ВО «Сибирский государственный университет науки и технологий имени академика М.Ф. Решетнева», andriyas@sibsau.ru

Поступила в редакцию 16.09.2021.

Одобрена после рецензирования 24.09.2021.

Принята к публикации 25.11.2021.

WOOD MASS CLOGGING OF HYDROELECTRIC POWER PLANTS RESERVOIRS IN FORESTED AREAS

V.P. Korpachev , A.I. Perezhilin, A.A. Andriyas

Reshetnev Siberian State University of Science and Technology, 31, Krasnoyarsky rabochy av., 660037, Krasnoyarsk, Russia

korpachevvp@sibsau.ru

The paper analyzes the design peculiarity and construction of hydroelectric power plants in Siberia and the Far East, it also identifies environmental, economic and social problems, it presents the study results of the volumes of wood planned (design) and actually flooded in the beds, as well as being afloat in the water area of the Angara–Yenisei reservoirs region. The study identified the reasons for leaving significant amounts of tree and shrub vegetation in the zones of flooding of reservoirs, characterized the negative phenomena caused by the presence of floating wood pulp and organic substances of plant origin in the water areas. The article states the main applied direction of wood utilization from water bodies as ground disposal at the landfill. A wider use of floating and water-logged wood in the production of various products is recommended, which will help save growing forest stands from cuttings. The article shows the necessity of developing at the design stage of hydroelectric power plants a complex of protective and compensatory measures and scientific justification of volumes of wood, safe for a water body, left in the process of preparing reservoir beds for flooding. It was noted that the ongoing work on monitoring wood pulp stocks and assessing the state of the reservoirs shoreline built on forested lands should be continued with the involvement of remote sensing methods and unmanned aerial vehicles in order to quickly assess changes. A timely assessment of changes in the state of reservoir waters will make it possible to track the development of adverse geological processes, the direction of movement of wood mass, to establish the places and volumes of its concentration, which is important for the further development of technologies and the creation of technical means for cleaning reservoirs from floating wood.

Keywords: reservoir floor, forest covered territories, water area of reservoir, floating peat field, clogging, wood pulp

Suggested citation: Korpachev V.P., Perezhilin A.I., Andriyas A.A. *Zasorenie drevesnoy massoy vodokhranilishch gidroelektrostantsiy, postroennykh na pokrytykh lesom zemlyakh* [Wood mass clogging of hydroelectric power plants reservoirs in forested areas]. *Lesnoy vestnik / Forestry Bulletin*, 2022, vol. 26, no. 2, pp. 36–43.

DOI: 10.18698/2542-1468-2022-2-36-43

References

- [1] Korpachev V.P., Perezhilin A.I., Andriyas A.A. *Vodokhranilishcha GES Sibiri. Problemy proektirovaniya, sozdaniya i ekspluatatsii* [Reservoirs of HPP of Siberia. Problems of design, construction and operation]. Krasnoyarsk: SibGTU, 2015, 209 p.
- [2] *Energeticheskaya strategiya Rossii na period do 2030 goda* [Energy strategy of Russia for the period up to 2030.]. Available at: <https://minenergo.gov.ru/node/15357> (accessed 15.06.2021).
- [3] Nikitina O.I., Simonov E.A., Egidarev E.G. *Adaptatsiya k navodneniyam na Amure i okhrana prirody* [Adaptation to floods on the Amur and nature protection]. *Ispol'zovanie i okhrana prirodnykh resursov v Rossii* [Use and protection of natural resources in Russia], 2015, no. 3 (141), pp. 15–24.
- [4] Side-Effects of Water Resources Management. Eds. A. Volker, J.C. Henry. IAHS Publ., 1988, no. 172, 269 p.
- [5] Environmental experience gained from reservoirs in operation. *Transactions of the 18-th Int. Congress on Large Dams*, Durban, South Africa, 1994, v. 2, 789 p.
- [6] Avakyan A.B., Matarzin Yu.M., Saltankin V.P. *Vodokhranilishcha i ikh vozdeystvie na okruzhayushchuyu sredu* [Reservoirs and their impact on the environment]. Moscow: Nauka, 1986, 367 p.

- [7] Kocheryan A.G., Lebedeva I.P. *Dinamika sozdaniya vodokhranilishch v mirovoy praktike XX i XXI vekov* [Dynamics of the creation of reservoirs in the world practice of the XX and XXI centuries]. *Gidrotekhnicheskoe stroitel'stvo* [Hydrotechnical constructing], 2014, no. 8, pp. 7–12.
- [8] Djorjević V., Purić V. Die Djerdap-Kraftwerke und Schiffahrtsanlage. *Wasserwirtschaft*, 1970, bd. 60, no. 8, pp. 263–269.
- [9] Koenig H.W. Talsperrenbau in Einzugsgebiet der Ruhr: Betrieb und Überwachung. *Wasserwirtschaft*, 1971, bd. 61, no. 5, pp. 130–135.
- [10] Korpachev V.P., Gubin I.V., Perezhilin A.I., Andriyas A.A. *Otsenka zapasov plavayushchey drevesnoy massy na akvatorii vodokhranilishcha Sayano-Shushenskoy GES* [Assessment of stocks of floating wood pulp in the water area of the Sayano-Shushenskaya HPP reservoir]. *Gidrotekhnicheskoe stroitel'stvo* [Hydrotechnical constructing], 2010, no. 10, pp. 50–52.
- [11] Korpachev V.P., Gubin I.V., Perezhilin A.I., Andriyas A.A. *Prognoz vsplyvaniya drevesnoy massy i otsenka ob'emov organicheskikh veshchestv rastitel'nogo proiskhozhdeniya v lozhe vodokhranilishcha Boguchanskoy GES* [Forecast of wood pulp floating up and estimation of volumes of organic matter of plant origin in the bed of the Boguchanskaya HPP reservoir]. *Gidrotekhnicheskoe stroitel'stvo* [Hydrotechnical constructing], 2010, no. 12, pp. 28–32.
- [12] *Prognoz kachestva vody v vodokhranilishche i v nizhnem b'efe Boguchanskoy GES: otchet o NIR* [Prediction of water quality in the reservoir and in the downstream of the Boguchanskaya HPP: research report], under the direction of S.E. Sirotkiy, A.S. Shishkin. Krasnoyarsk; Khabarovsk: IL SO RAN – IVEP DVO RAN, 2009, 178 p.
- [13] *Utochnennyy prognos vsplyvaniya torfa v Boguchanskom vodokhranilishche. Kniga I: otchet o NIR* [Updated forecast of peat flooding in the Boguchanskoye reservoir. Book I: research report]. Gor'kovskaya geologorazvedochnaya ekspeditsiya PO «Torfgeologiya», under the direction of V.I. Den'gub. Gor'kiy, 1987, 115 p.
- [14] *Provedenie otsenki ob'emov plavayushchego drevesnogo khlama (plavnika) v akvatorii Sayano-Shushenskogo vodokhranilishcha, ego ekologicheskoy opasnosti i tovarnoy sostavlyayushchey: otchet o NIR* [Assessment of the volumes of floating wood trash (fin) in the water area of the Sayano-Shushensky reservoir, its environmental hazard and commodity component: research report], under the direction of V.P. Korpachev. Krasnoyarsk: SibGTU, 2015, 71 p.
- [15] *Provedenie otsenki ob'emov drevesnogo plavnika v akvatorii Bureyskogo vodokhranilishcha, ego ekologicheskoy opasnosti i tovarnoy sostavlyayushchey: otchet o NIR* [Assessing the volume of wood fin in the water area of the Bureya reservoir, its environmental hazard and commercial component: research report], under the direction of A.V. Ostroukhov. Khabarovsk: IVEP DVO RAN, 2013, 80 p.
- [16] *Provedenie lesoochistki spetsuchastkov lozha vodokhranilishcha Boguchanskoy GES s otmetkoy NPU 208,0 m. 1 etap. Rabochiy projekt* [Carrying out the forest clearance of special sections of the reservoir floor of the Boguchanskaya HPP with a mark of NRL 208.0 m. 1st stage: Working project]. Krasnoyarsk: SibGTU, Vostsiblesproekt, 2008, 111 p.
- [17] *Provedenie lesoochistki spetsuchastkov lozha vodokhranilishcha Boguchanskoy GES s otmetkoy NPU 208,0 m. 2 etap. Rabochiy projekt* [Carrying out the forest clearance of special sections of the reservoir floor of the Boguchanskaya HPP with a mark of NRL 208.0 m. 2nd stage: Working project]. Krasnoyarsk: SibGTU, Vostsiblesproekt, 2008, 98 p.
- [18] *Projekt lesosvodki lozha vodokhranilishcha Boguchanskoy GES s otmetkoy NPU 208,0 m. na territorii Krasnoyarskogo kraya* [Timber logging of the reservoir of the Boguchanskaya HPP with a mark of NRL 208.0 m. on the territory of the Krasnoyarsk Territory]. Krasnoyarsk: SibGTU, Vostsiblesproekt, 2008, 109 p.
- [19] Korpachev V.P., Perezhilin A.I., Korpachev K.I. *Prognoz zasoreniya drevesnoy massoy proektiruemogo vodokhranilishcha Motygin'skoy GES* [Forecast of wood pulp contamination of the projected reservoir of the Motygin'skaya HPP] Moscow state forest university bulletin – Lesnoy vestnik, 2010, no. 1 (70), pp. 60–64.
- [20] Korytnyy L.M. *Reki Krasnoyarskogo kraya* [Rivers of the Krasnoyarsk Region]. Krasnoyarsk: Krasnoyarskoe knizhnoe izdatel'stvo, 1991, 157 p.
- [21] *Projekt beregovogo khranilishcha izvlekaemogo iz vodokhranilishcha syr'ya. Sayano-Shushenskaya GES na r. Enisee (inv. № 1047-8-263)* [Project of onshore storage of raw materials retrieved from the reservoir. Sayano-Shushenskaya hydroelectric station on the river Yenisei (inv. number 1047-8-263)]. St. Petersburg: EES Rossii, Lengidropoekt, 1994, 29 p.
- [22] *Boguchanskaya GES na reke Angara: Tekhnicheskii projekt. Tom III. Vodokhranilishche i okhrana okruzhayushchey sredy* [Boguchanskaya HPP on the Angara River: Technical design. Vol. III. Reservoir and environmental protection] Book I. Moscow: Gidropoekt, 1976, 219 p.
- [23] Korpachev V.P., Perezhilin A.I., Andriyas A.A. *Zapasy drevesnoy massy v lozhe vodokhranilishcha Boguchanskoy GES posle provedeniya lesoochistki* [Reserves of wood pulp in the bed of the reservoir of the Boguchanskaya HPP after forest clearing] *Gidrotekhnicheskoe stroitel'stvo* [Hydrotechnical constructing], 2014, no. 9, pp. 32–35.

Authors' information

Korpachev Vasily Petrovich — Cand. Sci. (Tech.), Professor of the Department of Transport, construction and water use, Reshetnev Siberian State University of Science and Technology, korpachevvp@sibsau.ru

Perezhilin Aleksandr Ivanovich — Cand. Sci. (Biology), Head of the Department of Transport, construction and water use, Reshetnev Siberian State University of Science and Technology, alex_pr@sibsau.ru

Andriyas Andrey Aleksandrovich — Cand. Sci. (Tech.), Associate Professor of the Department of Transport, construction and water use, Reshetnev Siberian State University of Science and Technology, andriyas@sibsau.ru

Received 16.09.2021.

Approved after review 24.09.2021.

Accepted for publication 25.11.2021.

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

О ВЛИЯНИИ АМПЛИТУДЫ ВИБРАЦИИ НА РАЗРУШЕНИЕ ПОЧВЕННЫХ АГРЕГАТОВ ПРИ ОПРЕДЕЛЕНИИ ИХ ВОДОУСТОЙЧИВОСТИ ПРИ СИТОВОМ АНАЛИЗЕ

Д.И. Потапов¹, Д.А. Ушкова¹, И.В. Горепекин¹,
Г.Н. Федотов¹✉, Ю.П. Батырев², В.С. Шалаев²

¹ФГБОУ ВО «Московский государственный университет имени М.В. Ломоносова», 119991, г. Москва, ГСП-1,
Ленинские горы, д. 1, стр. 12, факультет почвоведения, МГУ

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

gennadiy.fedotov@gmail.com

Предложен метод определения водоустойчивости почвенных агрегатов, основными этапами которого являются: вакуумирование агрегатов для устранения неконтролируемого влияния заземленного воздуха на их распад, последующее насыщение агрегатов водой в вакууме до значений потенциала почвенной влаги, близких к нулю, использование вибрационного воздействия для ускорения разрушения агрегатов. Рассмотрено влияние амплитуды вибрации на водоустойчивость агрегатов почв зонального ряда. Показано, что полученные кривые имеют общий вид для всех изученных типов почв: слабое разрушение агрегатов при увеличении амплитуды вибрации на начальном этапе сменяется резким ускорением их распада при достижении порогового значения воздействия. Предложенный способ оценки водоустойчивости обладает заметно более высокой производительностью в сравнении с методами ситового анализа и может быть использован в качестве экспресс-метода для оценки водоустойчивости почвенных агрегатов.

Ключевые слова: водоустойчивость почвенной структуры, ситовой анализ, вибрационное воздействие на почвенные агрегаты, заземленный воздух

Ссылка для цитирования: Потапов Д.И., Ушкова Д.А., Горепекин И.В., Федотов Г.Н., Батырев Ю.П., Шалаев В.С. О влиянии амплитуды вибрации на разрушение почвенных агрегатов при определении их водоустойчивости при ситовом анализе // Лесной вестник / Forestry Bulletin, 2022. Т. 26. № 2. С. 44–49.
DOI: 10.18698/2542-1468-2022-2-44-49

Водоустойчивость почв представляет собой один из ключевых показателей ее физического состояния, который обеспечивает благоприятные для роста и развития растений водно-воздушные условия и определяет ее способность противостоять действию эрозионных процессов [1–3].

Существуют различные подходы к оценке водоустойчивости почвенной структуры, что объясняется отсутствием единой позиции относительно того, должны ли воздействия на почвенные образцы полностью повторять те процессы, которые существуют в природных условиях. Общепринятым можно считать, что данные, полученные в ходе экспериментов, должны коррелировать с водоустойчивостью в полевых условиях [3].

К числу наиболее распространенных методов оценки данного свойства почв относят метод определения водоустойчивости в стоячей воде, известный в отечественной литературе как метод Андрианова [1, 2, 4–9], и методы ситового анализа [3, 5, 10–17].

Определение водоустойчивости методом Андрианова основано на подсчете количества нераспавшихся в стоячей воде агрегатов за заданные

промежутки времени [4]. При проведении экспериментов в емкость устанавливают сито, прикрытое фильтровальной бумагой, которая расчерчена на квадраты площадью 1 см². В каждом квадрате размещают агрегат диаметром 3...5 мм (всего в опыте используют 50 или 100 агрегатов), после чего в емкость добавляют воду в количестве, обеспечивающем капиллярное насыщение агрегатов в течение 3 мин. Затем уровень воды в емкости поднимают таким образом, чтобы агрегаты были погружены в воду примерно на 0,5 см. За последующие 10 мин с интервалом в 1 мин подсчитывают количество распавшихся агрегатов. На десятой минуте измерения фиксируют количество полураспавшихся и нераспавшихся агрегатов. Результаты измерений обрабатывают в соответствии с имеющейся справочной информацией, после чего делают вывод о количестве водоустойчивых агрегатов.

Основной вклад в разрушение агрегатов в данном методе вносят расклинивающее действие воды и разрывающее влияние заземленного в агрегатах воздуха [8], что приближает условия проводимых опытов к полевым. Однако у этого метода существуют некоторые недостатки. Во-первых, количество агрегатов, распавшихся за 10 мин, для неко-

торых почв может быть крайне незначительным, длительность выдерживания агрегатов в воде может возрасти до нескольких десятков часов [2]. Во-вторых, действие защемленного воздуха в методе Андрианова неконтролируемо, поэтому его вклад в разрушение агрегатов может варьировать в широких пределах. В-третьих, отсутствие четких различий между полураспавшимся и распавшимся агрегатом вносит заметную погрешность в обработку получаемых данных.

Другая группа методов оценки водоустойчивости представлена методами ситового анализа [3, 5, 10–17]. В их основе лежит определение средневзвешенного диаметра агрегатов при расसेве образца в колонках сит различного диаметра. С точки зрения простоты проведения экспериментов наибольший интерес представляет метод Савинова [3]. При проведении экспериментов готовят навеску почвы массой 50 г, в которой фракции агрегатов представлены пропорционально их процентному содержанию в образце (за исключением фракции менее 0,25 мм). Навеску помещают в цилиндр с водой и спустя 10 мин переворачивают его 10 раз таким образом, чтобы агрегаты успевали достигнуть дна цилиндра. После этого проводят рассев агрегатов на колонке сит, высушивание образовавшихся фракций и определение средневзвешенного диаметра агрегатов изучаемого образца.

Недостатки данного метода обусловлены, с одной стороны, высокой степенью субъективности при переворачивании цилиндра с водой, с другой — неконтролируемым влиянием защемленного воздуха. Для их устранения было предложено проводить рассев агрегатов непосредственно на колонке сит (без использования цилиндра), а увлажнение агрегатов, как и в методе Андрианова, проводить путем постепенного поднятия уровня воды. Процесс погружения сит был автоматизирован за счет использования мотора и редуктора, а неконтролируемое влияние защемленного воздуха минимизировано вследствие его удаления посредством предварительного вакуумирования агрегатов [3]. Однако разработанная установка позволяла регулировать только частоту колебаний сит.

Цель работы

Цель работы — определение характера влияния амплитуды вибрации сит на распад почвенных агрегатов при оценке их водоустойчивости.

Материалы и методы

При проведении исследований использовали образцы агродерново-глубокоподзолистой на водно-ледниковых (древнеозерных) отложениях почвы, подстилаемой с глубины 92 см бескарбонатными лёссовидными (покровными) суглинками, в

Рабочие амплитуды при определении водоустойчивости почвенных агрегатов Working amplitudes in determining the water stability of soil aggregates

Номер амплитуды	Значение амплитуды, мм
1	1,8
2	1,95
3	2,1
4	2,25
5	2,4
6	2,55
7	2,7
8	2,85

окрестностях поймы р. Яхромы в Московской обл.; серой лесной освоенной со вторым гумусовым горизонтом высококовскипающей среднесуглинистой почвы на лёссовидных карбонатных суглинках в окрестностях г. Суздаль на полях Владимирского НИИСХ; чернозема выщелоченного среднетяжелого на лёссовидном суглинке в Свердловском районе Орловской обл.; каштановой среднетяжелой почвы на элюво-делювиальных суглинках в Иловлинском районе Волгоградской обл.

Эксперименты по оценке водоустойчивости почвенных агрегатов проводили с помощью метода, представленного в работе [18]. Подложками для агрегатов служили ячейки сита, разделенные проволокой, что позволило провести более четкую фиксацию распавшихся агрегатов, которые разваливаясь освобождают ячейки сита. Отсутствие необходимости определения массы фракций и выполнения расчета средневзвешенного диаметра агрегатов, которые используются в традиционных методах ситового анализа, значительно повышает производительность экспериментов. Кроме того, для ускорения процесса распада в используемом методе применяют вибрацию, за счет которой ситовая подложка оказывает на агрегаты ударные воздействия, значение которых определяется амплитудой вибрации.

Для минимизации неконтролируемого влияния защемленного воздуха на процесс распада агрегатов при применении описанного метода проводили их вакуумирование в течение 15 мин при разрежении 15 кПа. Эти параметры были подобраны в ходе предварительных экспериментов. Затем агрегаты посредством хлопчатобумажных фитилей увлажняли до значений потенциала почвенной влаги, близких к нулю. Время насыщения агрегатов подбирали индивидуально для каждого типа почв: для дерново-подзолистой — 15 мин, для серой лесной, чернозема и каштановой — 30 мин. После этого подложку с агрегатами опускали в сосуд с водой

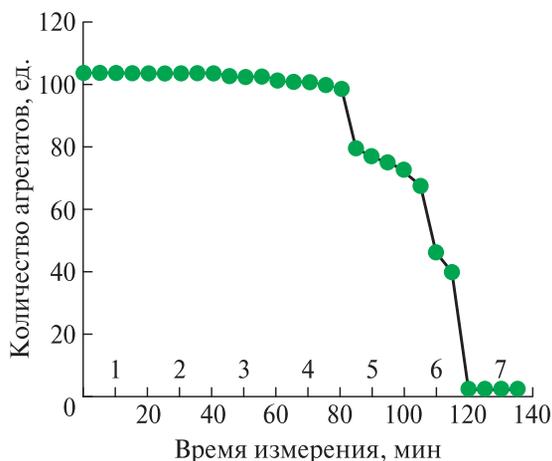


Рис. 1. Влияние амплитуды вибрации на водоустойчивость агрегатов дерново-подзолистой почвы (здесь и далее, цифрам на графике соответствуют режимы амплитуд, приведенные в таблице)

Fig. 1. Influence of vibration amplitude on the water stability of soddy-podzolic soil aggregates (hereinafter, the numbers on the graph correspond to the amplitude modes given in the table)

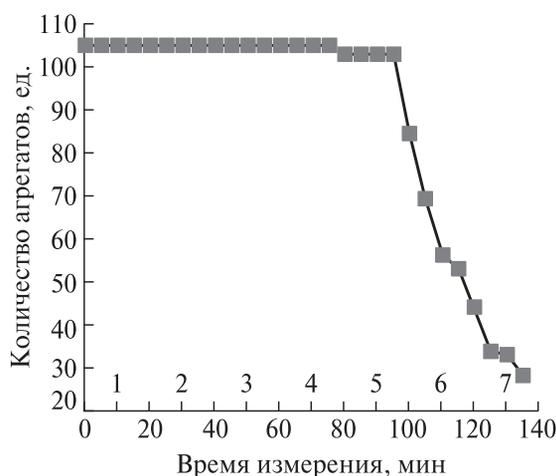


Рис. 2. Влияние амплитуды вибрации на водоустойчивость агрегатов серой лесной почвы

Fig. 2. Effect of vibration amplitude on the water stability of gray forest soil aggregates

таким образом, чтобы над агрегатами был слой воды 1...2 см и проводили фотографирование сита с агрегатами с интервалом 5 мин.

Определение влияния амплитуды вибрации на распад агрегатов при заданной частоте (50 Гц) проводили на вибростоле Fritch pulverisette (таблица). Длительность измерений в пределах каждой амплитуды составила 20 мин — время, достаточное для разрушения большинства агрегатов в таких условиях.

Результаты и обсуждение

В ходе экспериментов получены результаты по влиянию амплитуды вибрации на скорость разрушения агрегатов зональных типов почв (рис. 1–4).

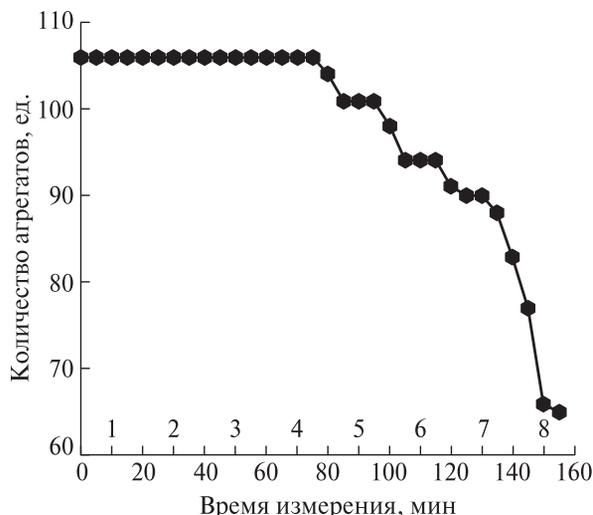


Рис. 3. Влияние амплитуды вибрации на водоустойчивость агрегатов чернозема выщелоченного

Fig. 3. Influence of vibration amplitude on the water stability of aggregates of leached chernozem

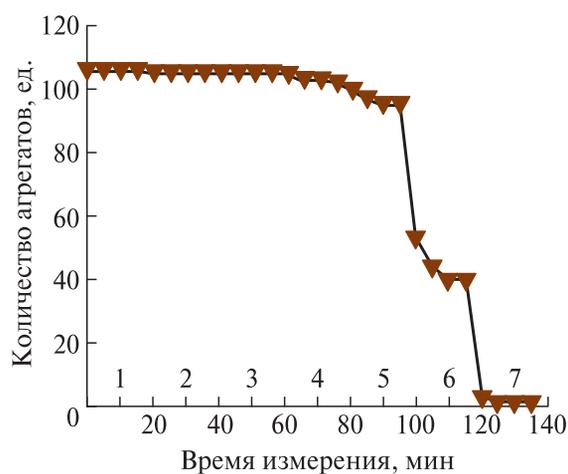


Рис. 4. Влияние амплитуды вибрации на водоустойчивость агрегатов каштановой почвы

Fig. 4. Effect of vibration amplitude on the water stability of chestnut soil aggregates

Ход кривых здесь имеет общий вид для всех типов изученных почв. На начальном этапе агрегаты слабо распадаются при росте амплитуды вибрации. Ситуация кардинально изменяется при достижении пороговых значений воздействия. Так, для дерново-подзолистой почвы переход на амплитуду вибрации 2,4 мм (режим № 5) сопровождается заметным увеличением количества распавшихся агрегатов, которое продолжает возрастать при дальнейшем повышении амплитуды. Сходная ситуация наблюдается для серой лесной и каштановой почв, а также для чернозема (рис. 2–4).

Общий ход кривых, наблюдаемый для разных почв, позволяет обрабатывать экспериментальные данные несколькими способами.

Первый из них заключается в сравнении средних амплитуд диапазона, в котором начинается и завершается распад агрегатов. Для дерново-подзолистой почвы разрушение агрегатов начинается при амплитуде вибрации 2,4 мм, а заканчивается — при 2,7 мм. Усредненное значение амплитуды составляет 2,55 мм. Однако в некоторых случаях, например, для каштановой почвы, оценить момент начала распада агрегатов достаточно сложно. Если считать, что разрушение агрегатов начинается с амплитуды 2,25 мм, а завершается при 2,7 мм, то среднее значение будет составлять 2,48 мм. Принимая за точку начала распада значение 2,4 мм, среднее значение увеличивается до 2,55 мм — значения, полученного для дерново-подзолистой почвы.

Обращает на себя внимание низкая чувствительность рассматриваемого подхода. На наш взгляд, это связано, прежде всего, с неточностью регулировки амплитуды вибрации прибора. Еще одно ограничение заключается в том, что необходимость достижения полного распада агрегатов таких водоустойчивых почв, как чернозем, выдвигает высокие требования к вибрационному столу, который помимо точности регулировки амплитуд должен обеспечивать возможность работы в более широком диапазоне.

Другим способом оценки водоустойчивости почвы является выбор параметров (амплитуды вибрации и времени воздействия), при которых происходит полный распад агрегатов контрольной почвы и оценка количества устойчивых агрегатов относительно контроля. Так, при сравнении числа устойчивых агрегатов серой лесной почвы относительно дерново-подзолистой почвы можно отметить, что при значении амплитуды вибрации в 2,7 мм разрушаются все агрегаты дерново-подзолистой почвы, а в образце серой лесной почвы их остается примерно 25 ед. При переходе к чернозему количество водоустойчивых агрегатов возрастает до 90 ед. Основная сложность данного подхода заключается в выборе стабильного сравнительного (контрольного) образца, относительно которого следует проводить измерения.

Несмотря на меньшую информативность по сравнению с традиционными методами ситового анализа [3, 13, 16, 17], предложенный способ оценки водоустойчивости почвенных агрегатов обладает заметно более высокой производительностью и может использоваться в качестве экспресс-метода для предварительной оценки агрегатной водоустойчивости, а также при разработке приемов ее повышения.

Выводы

Предложен метод оценки водоустойчивости почвенных агрегатов, основными достоинствами которого являются высокая производительность

и четкая визуальная фиксация процесса распада агрегатов. С помощью разработанного метода показано, что зависимость водоустойчивости изученных почв зонального ряда от амплитуды вибрации имеет общий вид: слабое разрушение агрегатов при росте амплитуды вибрации на начальном этапе сменяется резким ускорением их распада при достижении порогового значения воздействия.

Список литературы

- [1] Гросс Е.Е., Кокорева А.А., Кулижский С.П., Николаева Е.И., Соловьева Т.П. Исследование изменения прочности агрегатов почв при различных сельскохозяйственных нагрузках // Вестник Томского государственного университета, 2013. № 368. С. 180–185.
- [2] Николаева Е.И. Устойчивость почвенных агрегатов к водным и механическим воздействиям: дис. ... канд. биол. наук. М.: МГУ, 2016. 104 с.
- [3] Ревут И.Б. Физика почв. Л.: Колос, 1972. 368 с.
- [4] Вадюнина А.Ф., Корчагина З.А. Методы исследования физических свойств почв. М.: Агропромиздат, 1986. 416 с.
- [5] Вершинин П.В. Почвенная структура и условия ее формирования. М.: Изд-во АН СССР, 1958. 188 с.
- [6] Шейн Е.В., Русанов А.М., Милановский Е.Ю., Хайдапова Д.Д., Николаева Е.И. Математические модели некоторых почвенных характеристик: обоснование, анализ, особенности использования параметров моделей // Почвоведение, 2013. № 5. С. 595–595.
- [7] Fajardo M., Field D.J., Mcbratney A.B., Minasny B. Soil slaking assessment using image recognition // Soil and Tillage Research, 2016, v. 163, pp. 119–129.
- [8] Le Bissonnais Y. Aggregate stability and assessment of soil crustability and erodibility: I. Theory and methodology // European J. of soil science, 1996, v. 47, no. 4, pp. 425–437.
- [9] Saygin S.D., Cornelis W.M., Erpul G., Gabriels D. Comparison of different aggregate stability approaches for loamy sand soils // Applied Soil Ecology, 2012, v. 54, pp. 1–6.
- [10] Белобров В.П., Юдин С.А., Ярославцева Н.В., Юдина А.В., Дриггер В.К., Стукалов П.С., Клюев Н.Н., Заматаев И.В., Ермолаев Н.Р., Иванов А.Л., Холодов В.А. Изменение физических свойств черноземов при прямом посеве // Почвоведение, 2020. № 7. С. 880–890.
- [11] Amezketa E., Singer M.J., Le Bissonnais Y. Testing a new procedure for measuring water-stable aggregation // Soil Science Society of America J., 1996, v. 60, no. 3, pp. 888–894.
- [12] Angers D.A., Mehuys G.R. Effects of cropping on macro-aggregation of a marine clay soil // Canadian J. of Soil Science, 1988, v. 68, no. 4, pp. 723–732.
- [13] Chaney K., Swift R.S. The influence of organic matter on aggregate stability in some British soils // J. of Soil Science, 1984, v. 35, no. 2, pp. 223–230.
- [14] Haynes R.J. Effect of sample pretreatment on aggregate stability measured by wet sieving or turbidimetry on soils of different cropping history // J. of Soil Science, 1993, v. 44, no. 2, pp. 261–270.
- [15] Jordahl J.L. Soil management impact on the water stability of soil aggregates // Retrospective Theses and Dissertations. Iowa: Iowa State University Ames, 1991, 151 p.
- [16] Lu G. Role of soil organic matter in stabilization of water-stable aggregates in soils under different types of land use // Soil Science and Plant Nutrition, 1998, v. 44, no. 2, pp. 147–155.
- [17] Xukai H.U., Jutian C., Lixia Z.H.U. Soil aggregate size distribution and stability of farmland as affected by dry and wet sieving methods // Zemdirbyste-Agriculture, 2020, v. 107, no. 2, pp. 179–184.
- [18] Потапов Д.И., Горепекин И.В., Федотов Г.Н., Шалаев В.С., Батырев Ю.П. Выбор условий для изучения влияния внутриагрегатных связей на водопрочность почвенных агрегатов // Лесной вестник / Forestry Bulletin, 2021. Т. 25. № 4. С. 52–58. DOI: 10.18698/2542-1468-2021-4-52-58

Сведения об авторах

Потапов Дмитрий Иванович — аспирант факультета почвоведения МГУ имени М.В. Ломоносова, zmiyovka1995@mail.ru

Горепекин Иван Владимирович — аспирант факультета почвоведения МГУ имени М.В. Ломоносова, decembrist96@yandex.ru

Ушкова Дарья Александровна — студентка факультета почвоведения МГУ имени М.В. Ломоносова, decembrist96@yandex.ru

Федотов Геннадий Николаевич✉ — д-р биол. наук, вед. науч. сотр. факультета почвоведения МГУ имени М.В. Ломоносова, gennadiy.fedotov@gmail.com

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

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

Поступила в редакцию 01.11.2021.

Одобрено после рецензирования 15.11.2021.

Принята к публикации 29.11.2021.

VIBRATION AMPLITUDE EFFECT ON SOIL AGGREGATES DESTRUCTION WHEN DETERMINING WATER STABILITY BY SIEVING METHOD

**D.I. Potapov¹, I.V. Gorepekin¹, D.A. Ushkova¹,
G.N. Fedotov¹✉, Yu.P. Batyrev², V.S. Shalaev²**

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

²BMSTU (Mytishchi branch), 1, 1st Institut'skaya st., 141005, Mytishchi, Moscow reg., Russia

gennadiy.fedotov@gmail.com

The paper presents method to determine soil aggregates water stability. Its main stages are vacuuming of aggregates to eliminate the uncontrolled influence of trapped air on their destruction, subsequent saturation of aggregates with water in vacuum to values of soil moisture potential close to zero, and the use of vibration, to accelerate the destruction of aggregates. The influence of the vibration amplitude on the water stability of soil aggregates of the zonal series was studied using the developed method. It is shown that obtained curves have a general form for all the studied types of soil, a weak destruction of aggregates with vibration increase at the initial stage is replaced by a sharp acceleration of their destruction when the maximum value of the impact is reached. Despite the lower information content in comparison with traditional methods of sieving method, the proposed approach for assessing water stability has a noticeably higher performance and can be used as an express method for determining aggregate water stability and techniques for increasing it.

Keywords: water stability of the soil structure, sieve analysis, vibration effect on soil aggregates, trapped air

Suggested citation: Potapov D.I., Gorepekin I.V., Ushkova D.A., Fedotov G.N., Batyrev Yu.P., Shalaev V.S. *Ovliyanii amplitudy vibratsii na razrushenie pochvennykh agregatov pri opredelenii ikh vodoustoychivosti pri sitovom analize* [Vibration amplitude effect on soil aggregates destruction when determining water stability by sieving method]. *Lesnoy vestnik / Forestry Bulletin*, 2022, vol. 26, no. 2, pp. 44–49. DOI: 10.18698/2542-1468-2022-2-44-49

References

- [1] Gross E.E., Kokoreva A.A., Kulizhskiy S.P., Nikolaeva E.I., Solov'eva T.P. *Issledovanie izmeneniya prochnosti agregatov pochv pri razlichnykh sel'skokhozyaystvennykh nagruzkakh* [Investigation of changes in the strength of soil aggregates under various agricultural loads]. *Vestnik Tomskogo gosudarstvennogo universiteta* [Bulletin of the Tomsk State University], 2013, no. 368, pp. 180–185.
- [2] Nikolaeva E.I. *Ustoychivost' pochvennykh agregatov k vodnym i mekhanicheskim vozdeystviyam* [Resistance of soil aggregates to water and mechanical influences]. Dis. ... Cand. Sci. (Biol.). Moscow: Moscow State University, 2016, 104 p.
- [3] Revut I.B. *Fizika pochv* [Physics of soils]. Leningrad: Kolos, 1972, 368 p.
- [4] Vadyunina A.F., Korchagina Z.A. *Metody issledovaniya fizicheskikh svoystv pochv* [Methods for studying the physical properties of soils]. Moscow: Agropromizdat, 1986, 416 p.
- [5] Vershinin P.V. *Pochvennaya struktura i usloviya ee formirovaniya* [Soil structure and conditions of its formation]. Moscow: Publishing House of the Academy of Sciences of the USSR, 1958, 188 p.
- [6] Shein E.V., Rusanov A.M., Milanovskiy E.Yu., Khaydapova D.D., Nikolaeva E.I. *Matematicheskie modeli nekotorykh pochvennykh kharakteristik: obosnovanie, analiz, osobennosti ispol'zovaniya parametrov modeley* [Mathematical models of some soil characteristics: substantiation, analysis, features of the use of model parameters]. *Pochvovedenie* [Pochvovedenie], 2013, no. 5, pp. 595–595.

- [7] Fajardo M., Field D.J., Mcbratney A.B., Minasny B. Soil slaking assessment using image recognition. *Soil and Tillage Research*, 2016, v. 163, pp. 119–129.
- [8] Le Bissonnais Y. Aggregate stability and assessment of soil crustability and erodibility: I. Theory and methodology. *European J. of soil science*, 1996, v. 47, no. 4, pp. 425–437.
- [9] Saygın S.D., Cornelis W.M., Erpul G., Gabriels D. Comparison of different aggregate stability approaches for loamy sand soils. *Applied Soil Ecology*, 2012, v. 54, pp. 1–6.
- [10] Belobrov V.P., Yudin S.A., Yaroslavtseva N.V., Yudina A.V., Dridiger V.K., Stukalov R.S., Klyuev N.N., Zamotaev I.V., Ermolaev N.R., Ivanov A.L., Kholodov V.A. *Izmenenie fizicheskikh svoystv chernozemov pri pryamom poseve* [Changes in the physical properties of chernozems during direct sowing]. *Pochvovedenie* [Pochvovedenie], 2020, no. 7, pp. 880–890.
- [11] Amezketa E., Singer M.J., Le Bissonnais Y. Testing a new procedure for measuring water-stable aggregation. *Soil Science Society of America J.*, 1996, v. 60, no. 3, pp. 888–894.
- [12] Angers D.A., Mehuys G.R. Effects of cropping on macro-aggregation of a marine clay soil. *Canadian J. of Soil Science*, 1988, v. 68, no. 4, pp. 723–732.
- [13] Chaney K., Swift R.S. The influence of organic matter on aggregate stability in some British soils. *J. of Soil Science*, 1984, v. 35, no. 2, pp. 223–230.
- [14] Haynes R.J. Effect of sample pretreatment on aggregate stability measured by wet sieving or turbidimetry on soils of different cropping history. *J. of Soil Science*, 1993, v. 44, no. 2, pp. 261–270.
- [15] Jordahl J.L. Soil management impact on the water stability of soil aggregates. *Retrospective Theses and Dissertations. Iowa: Iowa State University Ames*, 1991, 151 p.
- [16] Lu G. Role of soil organic matter in stabilization of water-stable aggregates in soils under different types of land use. *Soil Science and Plant Nutrition*, 1998, v. 44, no. 2, pp. 147–155.
- [17] Xukai H.U., Jutian C., Lixia Z.H.U. Soil aggregate size distribution and stability of farmland as affected by dry and wet sieving methods. *Zemdirbyste-Agriculture*, 2020, v. 107, no. 2, pp. 179–184.
- [18] Potapov D.I., Gorepekin I.V., Fedotov G.N., Shalaev V.S., Batyrev Yu.P. *Iybor usloviy dlya izucheniya vliyaniya vnutriagregatnykh svyazey na vodoprochnost' pochvennykh agregatov* [Selection of conditions for studying intraaggregate connections influence on water stability of soil aggregates]. *Lesnoy vestnik / Forestry Bulletin*, 2021, vol. 25, no. 4, pp. 52–58. DOI: 10.18698/2542-1468-2021-4-52-58

Authors' information

Potapov Dmitriy Ivanovich — Ph.D. student of the Lomonosov Moscow State University, zmiyovka1995@mail.ru

Gorepekin Ivan Vladimirovich — Ph.D. student of the Lomonosov Moscow State University, decembrist96@yandex.ru

Ushkova Darya Alexandrovna — Student of the Lomonosov Moscow State University, decembrist96@yandex.ru

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

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

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

Received 01.11.2021.

Approved after review 15.11.2021.

Accepted for publication 29.11.2021.

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 ЛАНДШАФТНОЙ ОРГАНИЗАЦИИ МЕМОРИАЛЬНЫХ КОМПЛЕКСОВ Г. СЕВАСТОПОЛЯ

В.С. Теодоронский✉, А.Е. Парфенова

МГТУ им. Н.Э. Баумана (Мытищинский филиал), 141005, Московская обл., г. Мытищи, ул. 1-я Институтская, д. 1
vst01@mail.ru

Неотъемлемой частью нашего культурного наследия являются скульптурные, архитектурные ансамбли и мемориальные комплексы, которые посвящены историческим событиям или выдающимся личностям. Подобные сооружения присутствуют на территории практически любой страны, что обусловлено закономерным желанием ее народа увековечить события из истории государства. Рассмотрены особенности ландшафтной организации мемориальных комплексов города-героя Севастополя, расположенного в южной части Крымского полуострова, который отличается своим географическим положением и уникальными климатическими условиями. Представлены результаты комплексного анализа современной структуры и состояния ландшафтной организации мемориальных комплексов г. Севастополя.

Ключевые слова: мемориальные комплексы, оценка территорий, ландшафтная организации

Ссылка для цитирования: Теодоронский В.С., Парфенова А.Е. Особенности ландшафтной организации мемориальных комплексов г. Севастополя // Лесной вестник / Forestry Bulletin, 2022. Т. 26. № 2. С. 50–58.
DOI: 10.18698/2542-1468-2022-2-50-58

Мемориальные комплексы представляют собой каменную летопись о событиях и людях, записанную на века для потомков. Они символизируют вехи прошлого, которые не должны быть забыты, становятся местами поклонения и патриотического воспитания потомков. Как правило, мемориальные комплексы (мемориальные парки) представлены совокупностью разнообразных сооружений, ансамблей, обелисков, памятников, которые образуют территорию, выполненную в едином архитектурно-художественном стиле [1–6]. Иногда мемориальный комплекс создается на специально выделенной местности, вокруг которой формируется парковое пространство, объединенное в определенную смысловую композицию [7–9]. В настоящее время существует несколько классификаций памятников в качестве объектов культурного наследия (ОКН), которые в основном определяются как по назначению и цели установки, так и по типу сооружения и степени распространения. [1–3].

Согласно классификации по типу сооружения памятники подразделяются на жанровые композиции — монументальные городские скульптуры, стелы, здания, ритуальные сооружения, бюсты, мемориальные доски, скульптурные группы, обелиски, статуи, плиты, декоративные скульптуры, мемориальные доски. На основании литературных данных и практического опыта можно констатировать, что в целом при создании мемориальных комплексов формируется единая смысловая композиция. При этом большую роль

играет ландшафтная организация территорий, включающая в себя функционально-планировочное зонирование с учетом правил и канонов их создания, проведения таких важных мероприятий, как благоустройство и озеленение. Практика показывает, что в основе ландшафтной организации территорий мемориальных комплексов (мемориальных парков) используются принципы архитектурно-художественного формирования пространства в целях создания определенных эмоциональных ориентиров. В связи с тем, что мемориальные комплексы (мемориальные парки) своим появлением обязаны событиям, которые происходили на этой территории в то или иное историческое время, при ландшафтной организации территорий следует проводить тщательный предпроектный анализ, который включает в себя следующие работы [7, 8]:

1) анализ архивных данных для выявления исторической, экологической и эстетической ценности сохранившихся сооружений, элементов благоустройства и озеленения;

2) оценку природных особенностей местности;

3) оценку общей градостроительной ситуации;

4) общую характеристику ландшафта с эстетической точки зрения;

5) проектные ограничения, которые дополняют и конкретизируют имеющуюся информацию.

Это позволяет выявить элементы, имеющие общую историческую и культурную ценность, сохранить определенные тенденции формирования мемориального комплекса в пространстве и времени, определить общие закономерности построения композиции и рационально их

Т а б л и ц а 1

Мемориальные комплексы, расположенные в пределах Республики Крым и г. Севастополя
Memorial complexes located within the Republic of Crimea and the city of Sevastopol

Наименование объекта	Даты сооружения, события	Адрес объекта
Аджимушкайские каменоломни	1982 г. — открытие мемориала	г. Керчь, ул. Братьев Мальченко, 36
Мемориал в честь героев Эльгинского десанта	1985 г. — открытие мемориала	г. Керчь, ул. Галины Петровой
Военно-историческое кладбище воинов (1853–1856), павших в годы Крымской войны	1994–2004 — работы по восстановлению мемориала	г. Симферополь, ул. Петровская балка, 346
Холм Славы — мемориальный комплекс в честь героев Гражданской (1917–1920) и Великой Отечественной войны (1941–1945)	1967 — открытие комплекса; 1973 г. — установка стелы в память героев Гражданской войны; 2020 г. — завершение глобальной реконструкции	г. Ялта, холм Дарсан, высота 110 м н. у. м.
Поле Альминского сражения (1854)	1884 г. — открытие обелиска; 1993–1999 гг. — открытие и установка скульптур комплекса	Бахчисарайский район, с. Вилино
Панорама «Оборона Севастополя 1854–1855 годов»	1905 г. — открытие панорамы	г. Севастополь, Исторический бульвар
Малахов курган	1905 г. — установка мемориальной плиты на месте смертельного ранения адмирала П.С. Нахимова, 1959 г. — сооружение панорамы	г. Севастополь, ул. Истомина
Диорама «Штурм Сапун-горы 7 мая 1944 г.»	1959 г. — открытие диорамы	г. Севастополь, Ялтинское шоссе
Мемориальный комплекс летчикам-черноморцам, совершившим таран	1965 г. — установка мемориального комплекса	г. Севастополь, Кача, ул. Авиаторов
Мемориальный комплекс на месте базирования Севастопольского партизанского отряда (1941–1942)	1975–1976 гг. — установка мемориального комплекса	г. Севастополь, Балаклавский район, урочище Текне

использовать в архитектурно-планировочной структуре территории мемориального комплекса, что будет способствовать созданию «музея под открытым небом» [7].

Большинство значимых мест в Крыму имеет статус памятников — исторических, археологических, архитектурных, ландшафтных [10]. Согласно перечню объектов культурного наследия, в настоящее время их количество составляет 4407 объектов [11], в том числе на территории Севастополя 1416 объектов [12]. Регулярно проводимые исторические исследования и возведение новых сооружений дополняют списки таких объектов, а полученные данные регулярно пополняются и обновляются.

На территории г. Севастополя расположено пять мемориальных комплексов (табл. 1).

Цель работы

Цель работы — анализ и оценка состояния мемориальных комплексов г. Севастополя.

Объекты и методы исследования

Объектами исследования послужили мемориальные комплексы, расположенные в пределах г. Севастополя, предметом — особенности их ландшафтной организации. Исследования проводились с помощью следующих методов:

- 1) маршрутно-визуальная оценка территории;
- 2) анализ ее функционально-планировочного зонирования;
- 3) оценка состояния элементов комплексов (по методике А.И. Репецкой, И.А. Парфеновой и соавт. [10]) с модификацией и учетом специфики каждого из них.

Примененная методика оценки состояла в следующем. Для каждой категории элементов комплексов, в частности древесно-кустарниковых насаждений, газонов, цветников, оборудования скульптур, дорожной сети, разработана шкала:

- «отлично» (5 баллов);
- «хорошо» (4 балла);
- «удовлетворительно» (3 балла).

При этом осуществлялась суммарная оценка по количеству баллов и общая оценка по территории всего комплекса. Был введен относительный интегральный показатель (ОИП), который рассчитывался по формуле

$$\frac{S^1}{S^2},$$

где S^1 — общая сумма оценок всех элементов благоустройства и озеленения объекта (баллы); S^2 — максимальная сумма баллов для объекта (с учетом исключенных из оценивания элементов).

Т а б л и ц а 2

**Анализ территорий мемориальных комплексов г. Севастополя
по функциональному зонированию**

Territory Analysis of memorial complexes in the city of Sevastopol by functional zoning

Наименование мемориального комплекса	Площадь объекта, га	Функциональные зоны объекта культурного наследия					
		Входная	Административная	Мемориальная	Музейная	Ландшафтно-рекреационная зона, типы планировки и структура насаждений	Хозяйственная и буферная часть
Панорама «Оборона Севастополя 1854–1855 годов»	18,25	Две входные группы	Здание администрации	15 памятников и мемориальных знаков	Здание панорамы и музей, музей И.Д. Папанина	Пейзажная планировка, аллеи, группы, солитеры, массивы, цветники	Автостоянка за пределами объекта (по одной у каждого входа)
Малахов курган	13,04	Три входные группы	–	20 мемориальных объектов	Здание оборонительной башни Корниловского бастиона	Пейзажная планировка, аллеи, группы, солитеры, массивы, цветники	Автостоянка за пределами объекта (по одной у двух входных групп)
Диорама «Штурм Сапун-горы 7 мая 1944 г.»	7,76	Одна входная группа	–	10 памятников и мемориальных знаков	Здание диорамы «Штурм Сапун-горы 7 мая 1944 г.»	Пейзажная планировка, аллеи, группы, солитеры, массивы, контейнерное цветочное оформление	Автостоянка за пределами объекта (напротив входа)
Мемориальный комплекс летчикам черноморцам, совершившим таран	1,32	Одна главная группа и 14 второстепенных	–	31 мемориальный объект	–	Пейзажная планировка, аллеи, изгороди, массивы, контейнерное цветочное оформление	Автостоянка за пределами объекта (по периметру)
Мемориальный комплекс на месте базирования Севастопольского партизанского отряда	0,25+0,09	Одна входная группа (не выражена)	–	4 мемориальных объекта	–	Массивы лесной растительности	Автостоянка не предусмотрена

Относительный интегральный показатель является дробной величиной и варьирует от 0 до 1: менее 0,3 — неудовлетворительное состояние; от 0,3 до 0,7 — удовлетворительное; от 0,7 до 0,9 — хорошее; свыше 0,9 — отличное.

Результаты и обсуждение

При проведении исследований было принято во внимание героическое прошлое г. Севастополя — две обороны города с боевыми действиями и на суше, и на море, что в той или иной степени нашло отражение в мемориальных памятниках. При анализе проводился учет мест сражений, в том числе обелисков, монументов, мемориальных комплексов, памятных знаков или мемориальных табличек, которые свидетельствуют о главных событиях прошлого, об известных личностях и оставили яркий след в жизни города-героя (табл. 2).

Из табл. 2 следует, что рассматриваемые территории мемориальных комплексов различны по площади и имеют характерные зоны: входную часть и административную группу, мемориальную зону, которая представлена совокупностью разнообразных сооружений, обелисков, памятников, мемориальных досок и конструкций, посвященных определенному историческому периоду. Композиционным центром комплексов является музейная часть, включающая в себя отдельные здания и сооружения. Хозяйственные участки территорий вынесены на периферию для удобства их обслуживания коммунальными службами города. Зоны парковок расположены в буферной зоне, примыкающей к границам мемориальных комплексов. Все элементы территории (ландшафтная составляющая) мемориальных комплексов размещены в основном по принципам пейзажной планировки.

Нами исследованы три объекта:

- 1) «Оборона Севастополя 1854–1855 годов»;
- 2) Малахов курган;
- 3) диорама «Штурм Сапун-горы 7 мая 1944 г.»

На основании проведенного анализа сделан вывод о классическом функциональном зонировании рассмотренных территорий (рис. 1–3). Кроме того, при изначальном проектировании на этих территориях доминировали закрытые пространства, составляющие по площади примерно 60...80 %. На долю открытых и полуоткрытых пространств отведено, как правило, 20...30 % площади. Считаем, что назрела необходимость в проведении работ по реконструкции, что позволило бы оптимально сбалансировать пространственную структуру, удалить неуместные сооружения, расчистить заросли, снизить переуплотненность растительности, раскрыть наиболее важные композиционные объекты — все это, несомненно, дало возможность улучшить общий обзор и комфортность пребывания на этих территориях.

При изучении состояния зеленых насаждений и их композиционного значения на территории мемориалов были учтены природные особенности местности — характерные почвы, рельеф и растительность. Согласно литературным данным, Севастополь расположен в Западном (Гераклейском) предгорном агроклиматическом районе [13, 14]. Как правило, для озеленения территории были использованы растения, которые могут произрастать на каменистых известковых грунтах, в условиях малоснежных или бесснежных зим с ветрами и резкими похолоданиями, а также засушливого лета с небольшим количеством осадков [15–19].

Нами установлено, что на территории изучаемых комплексов выявлены также типы насаждений (ТН), как аллеи, массивы, крупные группы буферных зон, солитеры. Здесь встречаются деревья с раскидистой и зонтичной формой кроны, в частности: гледичия трехколочковая (*Gleditsia triacanthos* L.), софора японская (*Sophora japonica* L.), миндаль обыкновенный (*Amygdalus communis* L.), ясень обыкновенный (*Fraxinus excelsior* L.), робиния псевдоакация (*Robinia pseudoacacia* L.), вяз обыкновенный (*Ulmus laevis* Pall.), каштан конский (*Aesculus hippocastanum* L.), и др.

Для придания «нот скорби» в композиции мемориалов использованы такие приемы композиции, как динамика нисходящих линий у крон декоративных растений, например: плакучие формы ивы вавилонской (*Salix babylonica* L.), шелковицы белой (форма плакучая) (*Morus alba* L.), рябины обыкновенной ф. плакучая (*Sorbus aucuparia* L.). Данные виды и формы растений произрастают на фоне подчеркнуто-вертикальной линейной формы кипарисов вечнозеленых

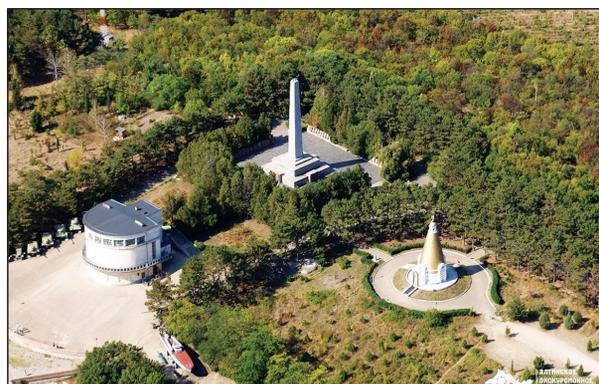


Рис. 1. Мемориальный комплекс «Штурм Сапун-горы 7 мая 1944 г.» (ссылка на сайт: <https://yalta-ex.com/geroicheskij-sevastopol>)

Fig. 1. Memorial complex «Assault on Sapun Mountain on May 7, 1944» (<https://yalta-ex.com/geroicheskij-sevastopol>)

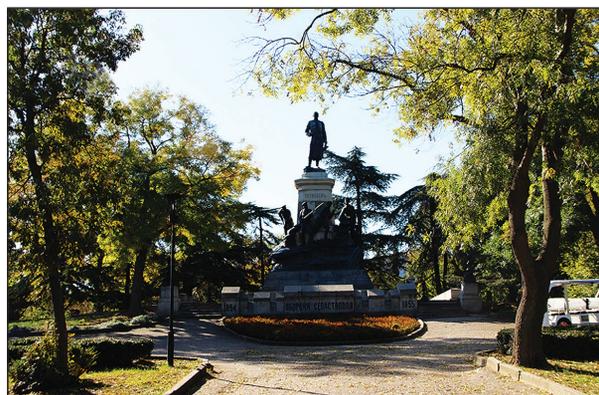


Рис. 2. Исторический бульвар Севастополя. Памятник обороне Севастополя (ссылка на сайт: <https://crimeapress.mirtesen.ru/blog/43395777174/V-Sevastopole-ocherednaya-masshtabnaya-rekonstruktsiya.-Stroit>)

Fig. 2. Historical boulevard in Sevastopol. Monument to the defense of Sevastopol (<https://crimeapress.mirtesen.ru/blog/43395777174/V-Sevastopole-ocherednaya-masshtabnaya-rekonstruktsiya.-Stroit>)



Рис. 3. Малахов курган. Музей-панорама «Оборона Севастополя 1854–1855 годов» (ссылка на сайт: <https://traveltimes.ru/исторические-достопримечательность-3/#fancybox-6>)

Fig. 3. Malakhov Kurgan. Panorama Museum «Defense of Sevastopol in 1854-1855» (<https://traveltimes.ru/исторические-достопримечательность-3/#fancybox-6>)

(*Cupressus sempervirens* L.), кипарисов аризонских (*Cupressus arizonica* Greene) и плосковечнока восточного (*Platycladus orientalis*). Элемент торжественности и монументальности достигнут за счет использования растений с динамикой крон по восходящей композиционной линии, например, как у кедра атласского (*Cedrus atlantica* (Endl.) Manetti ex Carrière) и кедра ливанского (*Cedrus libani* A. Rich.).

В качестве цветочного оформления территории комплексов распространены классические клумбы и мобильные цветники различных конфигураций (регулярные и пейзажной композиции).

Кроме того, на территории Мемориального комплекса летчикам-черноморцам совершившим таран, находящегося на периферии города, административная и музейная зоны отсутствуют. По планировке территория носит исключительно транзитный характер. Главная входная часть включает в себя 14 второстепенных входов, которые служат для связи между примыкающей жилой застройкой и объектами инфраструктуры. На территории комплекса есть мемориальная зона, в которой расположен 31 объект, посвященный Великой Отечественной войне и летчикам Качинского высшего военного авиационного училища. Маршрутно-визуальный анализ территории показал, что состав насаждений ограничен по ассортименту, во многом утрачена их декоративность, фитосанитарное состояние крайне неудовлетворительно. К тому же нарушена первоначальная архитектурно-ландшафтная структура, что связано с привнесением в мемориальную зону неуместных сооружений — игровых и детских площадок и др. и ограниченностью использования композиционных приемов и средств. Территория комплекса нуждается в проведении плановой реконструкции в целях восстановления архитектурно-художественного облика.

Мемориальный комплекс на месте базирования Севастопольского партизанского отряда находится в лесу в 3 км от с. Морозовка, характерного зонирования не имеет [20], в частности у него нет выраженной входной зоны, и состоит он из двух участков. На первом участке расположена братская могила, памятная стела и колодец (каптированный родник), на втором — Партизанская стоянка, которая отнесена к наиболее сохранившимся свидетельствам героической борьбы партизан в Крыму в период обороны Севастополя 1941–1942 гг. С 1976 г. территория сохранилась в неизменном виде. Растительность здесь естественная, представлена преимущественно дубом пушистым (*Quercus pubescens*), можжевельником дельтовидным (*Juniperus deltoides* R.P. Adams) и грабом восточным (*Carpinus orientalis* Mill.).

Нами исследованы основные планировочные конструктивные элементы рассматриваемых мемориальных комплексов и дана оценка их состояния в баллах (табл. 3).

Из табл. 3 видно, что мемориальный комплекс «Штурм Сапун-горы 7 мая 1944 г.» имеет высший относительный интегральный показатель — 0,96 и категорию состояния «отлично» с оценкой 5 баллов, что обусловлено проведенной реконструкцией.

Мемориальный комплекс «Малахов курган» имеет интегральный показатель 0,75, высокой оценки заслуживают малые архитектурные формы, мемориальная скульптура, оценка — 5 баллов. При этом есть необходимость в улучшении состояния древесно-кустарниковых насаждений, поскольку работы по уходу пока не проводятся.

Музей-заповедник героической обороны и освобождения Севастополя занимает одно из центральных мест в группе мемориальных комплексов города. В то же время интегральный показатель по этому объекту составляет 0,58, а общая оценка состояния — «удовлетворительно». Садово-парковое оборудование, малые архитектурные формы находятся в неудовлетворительном состоянии: имеются повреждения покрытий, памятных знаков, трещины в ограждениях и др. На объекте утрачена целостность композиции древесно-кустарниковых растений в связи с их массовой гибелью, на центральной аллее выявлены растения, пораженные грибами-паразитами. В реконструкции нуждаются живые изгороди, газоны и цветники. Система полива насаждений не функционирует. По состоянию осмотра на начало 2020 г. объекту требуется плановое проведение работ по реставрации и реконструкции отдельных элементов.

Мемориальный комплекс летчикам черноморцам, совершившим таран, имеет относительно низкий интегральный показатель — 0,52 и оценку состояния «удовлетворительно». Благоустройство и озеленение в целом не соответствуют элементарным требованиям по их содержанию, не предусмотрены луговые газоны. На территории комплекса отсутствует ограда, что отрицательно сказывается на организации движения и посещаемости. Комплекс остро нуждается в проведении работ по реставрации объектов, реконструкции элементов благоустройства и озеленения, удалению диссонирующих планировочных элементов (игровых площадок и др.)

Что касается мемориального комплекса на месте базирования Севастопольского партизанского отряда, то из 12 элементов территории учтены только два вследствие его специфического расположения и назначения. Высокую оценку заслужили древесные виды растений — 5 баллов. Территория в целом нуждается в работах по ландшафтной организации, следует предусмотреть специальными проектными работами.

Т а б л и ц а 3

Оценка в баллах состояния элементов территории мемориальных комплексов, расположенных в пределах г. Севастополя

Assessment in points of the state of the memorial complexes elements located within Sevastopol

Древесно-кустарниковые группы	Древесно-кустарниковые насаждения										Газоны					Малые архитектурные формы					ГТС декоративного назначения	Система полива	Дорожно-тропичная сеть	Итого, баллов	Максимальная сумма баллов	Относительный интегральный показатель	Оценка, категория состояния
	Деревья до 5 лет	Деревья старше 5 лет	Кустарники	Живые изгороди	Солитеры	Рядовые посадки	Партерные	Луговые	Цветники	Урны	Скамьи	Детские площадки	Скульптуры	Фонари	Отрады												
Музей-заповедник героической обороны и освобождения Севастополя. Исторический бульвар																											
3	3	3	2	4	3	3	2	0	3	3	3	0	4	3	3	3	2	2	2	2	49	85	0,58	Удовлетворительно 3 балла			
Мемориальный комплекс «Малахов курган»																											
3	3	3	3	4	3	3	3	0	4	5	5	0	5	5	5	0	2	2	4	60	80	0,75	Хорошо 4 балла				
Мемориальный комплекс «Штурм Сапун-горы 7 мая 1944 г.»																											
4	5	5	5	5	5	4	4	0	5	5	5	0	5	5	5	0	4	4	5	77	80	0,96	Отлично 5 баллов				
Мемориальный комплекс летчикам-черноморцам, совершившим таран																											
1	3	3	4	3	1	3	1	0	3	3	3	5	3	3	0	2	1	2	2	44	85	0,52	Удовлетворительно 3 балла				
Мемориальный комплекс на месте базирования Севастопольского партизанского отряда																											
0	0	5	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	3	0	0	0	0	0	0	8	10	0,8	Хорошо 4 балла				

Выводы

Основой ландшафтной организации территорий мемориальных комплексов и построения композиций является оптимальное использование рельефа местности, водных объектов и растительности с учетом особенностей климата и наличия каменистых карбонатных почв Герacleйского агроклиматического района. С помощью метода оценки территории мемориальных комплексов на основании введения общего интегрального показателя охарактеризовано общее состояние элементов исследованных территории. На этом основании сделан вывод о необходимости оптимизации функционального зонирования, восстановления типов оптимальной пространственной структуры, ликвидации нарушений, удаления неоправданных сооружений, разрежения зарослей, ремонта садово-паркового оборудования, дорожной сети, малых архитектурных форм. В местах присутствия элементов скорби и торжественности зеленые насаждения имеют важное значение для создания их целостного архитектурно-художественного облика. Считаем, что назрела острая необходимость реконструкции объектов, проведения восстановительных посадок деревьев и кустарников, цветочных и травянистых растений засухоустойчивых видов с яркими не выгорающими цветками и без контрастных решений.

Список литературы

- [1] История охраны памятников и их классификация. URL: <https://mypersonalia.livejournal.com/32752.html> (дата обращения 27.11.2020).
- [2] Галкова О.В. Проблема типологизации памятников истории и культуры. URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/problema-tipologizatsii-pamyatnikov-istorii-i-kultury> (дата обращения 20.11.2020).
- [3] Виды и типы культурного наследия. URL: https://studwood.ru/792770/kulturologiya/vidy_tipy_kulturnogo_naslediya (дата обращения 16.11.2020).
- [4] Виды памятников истории и культуры. URL: <https://base.garant.ru/24902798/>
- [5] Классификация памятников. Функции памятников. URL: <https://obuchonok.ru/node/3648> (дата обращения 27.11.2020).
- [6] Мемориальный комплекс. URL: <https://вмкс.рф/poleznaya-informaciya/memorialnyy-kompleks/> (дата обращения 27.11.2020).
- [7] Горохов В.А. Зеленая природа города. В 2 т. М.: Архитектура-С, 2012. Т. 1. 528 с.
- [8] Теодоронский В.С., Боговая И.О. Объекты ландшафтной архитектуры. М.: МГУЛ, 2003. 300 с.
- [9] Нефедов В.А. Городской ландшафтный дизайн. СПб.: Любавич, 2020. 320 с.
- [10] Репецкая А.И., Парфенова И.А., Донцова А.С. Количественный подход к оцениванию состояния объектов ландшафтной архитектуры. Симферополь: Изд-во Таврической академии ФГАОУ ВО «КФУ им. В.И. Вернадского», 2018. С. 21.
- [11] Перечень объектов культурного наследия регионального значения и выявленные объекты культурного наследия. URL: <https://archive-gkokn.rk.gov.ru/ru/structure/321> (дата обращения 09.12.2020).
- [12] Перечень объектов культурного наследия, расположенных на территории города Севастополя. URL: <https://uookn.sev.gov.ru/perechen-obektov-kulturnogo-naslediya-federalnogo-znacheniya-raspolozhennykh-na-territorii-goroda-se/> (дата обращения 19.12.2020).
- [13] Муратов М.В. Краткий очерк геологического строения Крыма. М.: Госгеолтехиздат, 1960. 207 с.
- [14] Подгородецкий П.Д. Крым. Природа. Справочное изд. Симферополь: Таврия, 1988. 192 с.
- [15] Агроклиматический справочник по Автономной республике Крым (1986–2005 гг.). Симферополь: Таврида, 2011. 343 с.
- [16] Агроклиматический справочник по Крымской области. Л.: Гидрометеиздат, 1959. 136 с.
- [17] Багров Н.В., Вахрушев Б.А., Карпенко С.А. Атлас Автономной Республики Крым. Киев; Симферополь, 2004. 78 с.
- [18] Багрова Л.А., Боков В.А., Багров Н.В. География Крыма. Киев: Лыбидь, 2001. 302 с.
- [19] Важов В. И. Агроклиматическое районирование Крыма // Тр. Никитского ботанического сада, 1977. Т. 71. С. 92–120.
- [20] Царева Т.В. Акт государственной историко-культурной экспертизы выявленного объекта культурного наследия «Место лагеря и братская могила партизан. Мемориальное обозначение» по адресу: город Севастополь, район пионерлагеря «Алеу-2». URL: <https://sev.gov.ru/files/iblock/59d/102-akt-partiz.stoyanka-raspechatan.pdf> (дата обращения 06.07.2021).

Сведения об авторах

Теодоронский Владимир Сергеевич [✉] — д-р с.-х. наук, академик РАЕН, профессор МГТУ им. Н.Э. Баумана (Мытищинский филиал), vst01@mail.ru

Парфенова Анастасия Евгеньевна — магистрант кафедры «Ландшафтная архитектура и садово-парковое строительство», МГТУ им. Н.Э. Баумана (Мытищинский филиал), parfyonova.la@yandex.ru

Поступила в редакцию 11.11.2021.

Одобрено после рецензирования 19.11.2021.

Принята к публикации 02.12.2021.

LANDSCAPE ORGANIZATION OF MEMORIAL COMPLEXES IN SEVASTOPOL

V.S. Teodoronsky[✉], A.E. Parfyonova

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

vst01@mail.ru

Integral parts of our cultural heritage are sculptural, architectural ensembles and memorials which are devoted to historical events or outstanding people. Similar structures are presented in many countries, due to the natural desire of the local people to immortalize some historical events. Some features of landscape design of Sevastopol's memorials are examined in this work. Sevastopol is located at the southwestern tip of the Crimean Peninsula and was awarded the title Hero City. Due to geographical position and unique climate, Sevastopol has rich history with lots of events. Many of the significant places in the Crimea have historical, archeological, architectural, or landscape memorial status.

Keywords: memorials, territory assessing, landscape organization

Suggested citation: Teodoronsky V.S., Parfyonova A.E. *Osobennosti landshaftnoy organizatsii memorial'nykh kompleksov g. Sevastopolya* [Landscape organization of memorial complexes in Sevastopol]. *Lesnoy vestnik / Forestry Bulletin*, 2022, vol. 26, no. 2, pp. 50–58. DOI: 10.18698/2542-1468-2022-2-50-58

References

- [1] *Istoriya okhrany pamyatnikov i ikh klassifikatsiya* [History of monument protection and their classification]. Available at: <https://mypersonalia.livejournal.com/32752.html> (accessed 27.11.2020).
- [2] Galkova O.V. *Problema tipologizatsii pamyatnikov istorii i kul'tury* [The problem of typologization of historical and cultural monuments]. Available at: <https://cyberleninka.ru/article/n/problema-tipologizatsii-pamyatnikov-istorii-i-kul'tury> (accessed 20.11.2020).
- [3] *Vidy i tipy kul'turnogo naslediya* [Types and types of cultural heritage]. Available at: https://studwood.ru/792770/kulturologiya/vidy_tipy_kulturnogo_naslediya (accessed 16.11.2020).
- [4] *Vidy pamyatnikov istorii i kul'tury* [Types of historical and cultural monuments]. Available at: <https://base.garant.ru/24902798/5633a92d35b966c2ba2f1e859e7bdd69/> (accessed 20.11.2020).
- [5] *Klassifikatsiya pamyatnikov. Funktsii pamyatnikov* [Classification of monuments. Functions of monuments]. Available at: <https://obuchonok.ru/node/3648> (accessed 27.11.2020).
- [6] *Memorial'nyy kompleks* [The Memorial complex]. Available at: <https://vmkc.pф/poleznaya-informaciya/memorialnyy-kompleks/> (accessed 27.11.2020).
- [7] Gorokhov V.A. *Zelenaya priroda goroda* [Green nature of the city], in 2 t. Moscow: Arkhitektura-S, 2012, t. 1, 528 p.
- [8] Teodoronskiy V.S., Bogovaya I.O. *Ob'ekty landshaftnoy arkhitektury* [Objects of landscape architecture]. Moscow: MSFU, 2003, 300 c.
- [9] Nefedov V.A. *Gorodskoy landshaftnyy dizayn* [Urban landscape design]. St. Petersburg: Lyubavich, 2020, 320 p.
- [10] Repetskaya A.I., Parfenova I.A., Dontsova A.S. *Kolichestvennyy podkhod k otsenivaniyu sostoyaniya ob'ektov landshaftnoy arkhitektury* [Quantitative approach to assessing the state of landscape-architecture objects] Simferopol': Izd-vo Tavricheskoy akademii FGAOU VO «KFU im. V.I. Vernadskogo» [Crimean Federal University], 2018, p. 21.
- [11] *Perechen' ob'ektov kul'turnogo naslediya regional'nogo znacheniya i vyyavlennyye ob'ekty kul'turnogo naslediya* [List of cultural heritage sites of regional significance and identified cultural heritage sites]. Available at: <https://archive-gkokn.rk.gov.ru/ru/structure/321> (accessed 09.12.2020).
- [12] *Perechen' ob'ektov kul'turnogo naslediya, raspolzhenykh na territorii goroda Sevastopolya* [List of cultural heritage sites located on the territory of the city of Sevastopol]. Available at: <https://uookn.sev.gov.ru/perechen-obektov-kulturnogo-naslediya/perechen-obektov-kulturnogo-naslediya-federalnogo-znacheniya-raspolzhenykh-na-territorii-goroda-se/> (accessed 19.12.2020).
- [13] Muratov M.V. *Kratkiy ocherk geologicheskogo stroeniya Kryma* [A brief outline of the geological structure of the Crimea]. Moscow: Gosgeoltekhizdat, 1960, 207 p.

- [14] Podgorodetskiy P.D. *Krym. Priroda. Spravochnoe izd.* [Crimea. Nature. Reference ed.]. Simferopol: Tavria, 1988, 192 p.
- [15] *Agroklimaticheskiy spravochnik po Avtonomnoy respublike Krym (1986–2005 gg.)* [Agro-climatic handbook of the Autonomous Republic of Crimea (1986-2005)]. Simferopol: Tavrida, 2011, 343 p.
- [16] *Agroklimaticheskiy spravochnik po Krymskoy oblasti* [Agro-climatic handbook of the Crimean region]. Leningrad: Hydrometeoizdat, 1959, 136 p.
- [17] Bagrov N.V., Vakhrushev B.A., Karpenko S.A. *Atlas Avtonomnoy Respubliki Krym* [Atlas of the Autonomous Republic of Crimea]. Kiev; Simferopol, 2004, 78 p.
- [18] Bagrova L.A., Bokov V.A., Bagrov N.V. *Geografiya Kryma* [Geography of the Crimea]. Kiev: Lybid, 2001, 302 p.
- [19] Vazhov V.I. *Agroklimaticheskoe rayonirovanie Kryma* [Agro-climatic zoning of the Crimea]. Trudy Nikitskogo botanicheskogo sada [Proceedings of the Nikitsky Botanical Garden], 1977, v. 71, pp. 92–120.
- [20] Tsareva T.V. *Akt gosudarstvennoy istoriko-kul'turnoy ekspertizy vyavlenogo ob'ekta kul'turnogo naslediya «Mesto lagerya i bratskaya mogila partizan. Memorial'noe oboznachenie», po adresu: gorod Sevastopol', rayon pionerlagerya «Alsu-2»* [Act of the state historical and cultural expertise of the identified object of cultural heritage «The camp site and the mass grave of partisans. Memorial designation», at the address: the city of Sevastopol, the area of the pioneer camp «Alsu-2»]. Available at: <https://sev.gov.ru/files/iblock/59d/102-akt-partiz.stoyanka-raspechatan.pdf> (accessed 06.07.2021).

Authors' information

Teodoronsky Vladimir Sergeevich ✉ — Dr. Sci. (Agricultural), Member of the Union of Architects of the Russian Federation, Professor of the Department of Landscape Architecture and Garden and Park Construction of the BMSTU (Mytishchi branch), vst01@mail.ru

Parfyonova Anastasya Evgenievna — Master's Degree of of Landscape Architecture and Garden and Park Construction of the BMSTU (Mytishchi branch), parfyonova.la@yandex.ru

Received 11.11.2021.

Approved after review 19.11.2021.

Accepted for publication 02.12.2021.

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

ПРИНЦИПЫ ФОРМИРОВАНИЯ ЛАНДШАФТНОГО ТЕМАТИЧЕСКОГО КОМПЛЕКСА В ЦЕНТРАЛЬНОМ ЧЕРНОЗЕМЬЕ

В.В. Кругляк¹✉, Е.И. Гурьева²

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

kruglyak_vl@mail.ru

Приведено обоснование принципов формирования ландшафтного тематического комплекса в Центральном Черноземье. Представлена схема размещения мест отдыха жителей города Воронежа. Установлены требования к объектам рекреационного использования предусматривающие использование существующих природных и озелененных территорий общего пользования. Определена цель работы — сохранение природного ландшафта с выделением самостоятельных объектов рекреации тематического комплекса Центрального Черноземья. Проанализирована концептуальная модель тематического парка состоящего из трех частей: аналитического блока, научно-исследовательской части и проектно-экспериментальной части. Охарактеризована проектная площадка для проведения исследований, расположенная на землях сельскохозяйственного назначения на территории Яменского сельского поселения Рамонского района Воронежской области. Показана идея создания тематического комплекса Центрального Черноземья в пойме реки Дон. Изложена современная концепция развития тематического парка Центрального Черноземья, включающего функции: ландшафтную, общественной зоны, коммерческой зоны, оздоровительной, развлекательной, туристической. Указано, что в проектируемой модели реализована идея создания среды для круглогодичного использования, привлекательного и комфортного отдыха.

Ключевые слова: природный каркас, ландшафтный тематический комплекс, парк, градостроительство

Ссылка для цитирования: Кругляк В.В., Гурьева Е.И. Принципы формирования ландшафтного тематического комплекса в Центральном Черноземье // Лесной вестник / Forestry Bulletin, 2022. Т. 26. № 2. С. 59–68. DOI: 10.18698/2542-1468-2022-2-59-68

При организации рекреационной деятельности большое значение имеет информация о наиболее популярных в обществе ее видах, а также изучение тенденций по развитию данной отрасли. Создание благоприятной, комфортной для человека окружающей среды, достигается двумя основными путями — сохранением существующих природных комплексов и благоустройством территорий, а также деятельностью по обеспечению их эстетичности, доступности, безопасности и приспособленности к использованию в соответствии с функциональным назначением [1]. Ландшафтно-градостроительное проектирование при создании объектов ландшафтной архитектуры исходит из пространственной конфигурации и внешнего облика, а также функциональности элементов парка. Развитие тематических парков в мире представляет собой реализацию рекреационной деятельности на озелененных территориях, которая отражала бы эволюцию туристских предпочтений и взгляды специалистов в области экологии, дизайна и архитектуры [2]. Отдых в тематических парках должен совмещать развлекательный и познавательный элементы, охватывать широкий круг посетителей и соответствовать по-

требностям современного человека, быть организованным в сохранившихся естественных лесных массивах и при этом преобразованным в систему озелененных территорий рекреационного назначения [3]. Архитектурно-планировочный акцент тематических парков следует реализовывать путем ландшафтного преобразования парковых зон, что является чрезвычайно перспективным направлением туристической деятельности — «экологизация» [4].

В связи с этим на территории Центрального Черноземья очевидны необходимость комплексного решения всего рекреационного пространства и освоение рекреационно-парковых зон. Предметом рассмотрения послужили территории природного комплекса города Воронежа, используемые для отдыха горожан (рис. 1).

В качестве объектов рекреационного использования рассмотрим существующие природные и озелененные территории общего пользования, а на перспективу — резервные территории природного комплекса [5] с учетом следующего:

- интересов городской общественности;
- интересов посетителей и потребителей услуг парка;
- интересов потенциальных арендаторов и производителей услуг парка;



Рис. 1. Схема размещения мест отдыха жителей города Воронежа
Fig. 1. Layout of recreation places for residents of the city of Voronezh

- насыщенной сбалансированной инфраструктуры парка;
- оптимального уровня благоустройства парка;
- эффективного использования территории парка;
- наполнения деятельности парка яркими событиями и праздниками районного и городского значения;
- присутствия деятельности парка в календаре городских событий, участия в жизни города;
- интеграции нового общественно-культурного центра в городскую среду при сохранении рекреационного назначения;
- возможности привлечения средств из внебюджетных источников для финансирования развития парка.

Цель работы

Цель работы — создание самостоятельных объектов рекреации тематического комплекса Центрального Черноземья (с сохранением природного ландшафта); выделение отдельного направления, направленного на формирование полноценного рукотворного ландшафта, комфортного для пребывания; создание на существующей базе туристического кластера.

Задачи исследования:

- создание жизнеспособного, направленного на устойчивое развитие объекта культуры, отдыха и спорта, в задачу которого входит улучшение экологического, социального, градостроительного, экономического состояния региона;

- разработка экономических стимулов на местном, региональном и национальном уровне в сфере отдыха и туризма;
- повышение имиджа Воронежской области и Центрально-Черноземного экономического района внутри страны и за рубежом, поддержка туристических услуг.

Материалы и методы

Методическую основу проведенного исследования составили теоретические и концептуальные современные отечественные и зарубежные работы по проектированию объектов ландшафтной архитектуры. Наглядным примером архитектурно-планировочной композиции тематического парка является Выставка достижений народного хозяйства (ВДНХ) в Москве. Главная аллея ВДНХ в Москве представлена на рис. 2. Процесс исследования осуществлялся поэтапно:

- 1) градостроительный анализ;
- 2) ретроспективный анализ;
- 3) ландшафтно-визуальный анализ;
- 4) функциональное зонирование территории;
- 5) анализ расположения предприятий малого и среднего бизнеса, производственных предприятий.

Примером уникального объекта парка развлечений является «Сочи Парк» расположенный в г. Сочи (рис. 3).

Примером инновационного тематического комплекса является парк Диснейленд в г. Париже, Франция (рис. 4).



Рис. 2. Главная аллея ВДНХ, Москва, Россия
Fig. 2. The main alley of VDNH, Moscow, Russia



Рис. 4. Парк Диснейленд, Париж, Франция
Fig. 4. Disneyland Park, Paris, France



Рис. 3. Вечерний «Сочи Парк», Сочи, Россия
Fig. 3. Evening «Sochi Park», Sochi, Russia

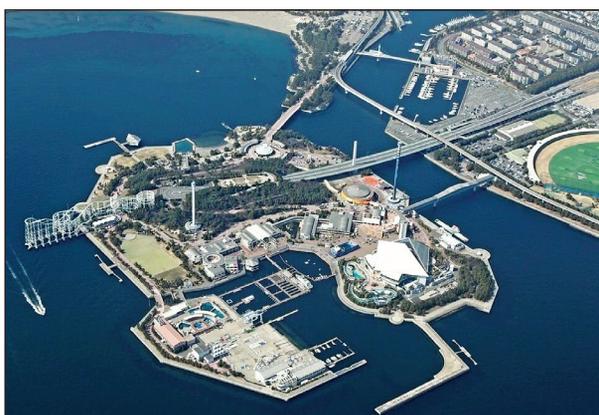


Рис. 5. Тематический водный парк «Морской рай Хаккейдзима», Йокогама, Япония
Fig. 5. Hakkeijima Sea Paradise Theme Water Park Yokohama, Japan

Тематический водный парк «Морской рай Хаккейдзима» в г. Йокогама (рис. 5) сочетает в себе большинство функций, которые использованы при проектировании ландшафтного тематического комплекса Центрального Черноземья.

Тематические парки Дании, Германии, Южной Кореи, Гонконга, Нидерландов сочетают в себе лучшие инновационные элементы тематических комплексов, составные части которых фрагментарно были использованы при формировании принципов тематических комплексов Центрального Черноземья. В парке развлечений «Сады Тиволи» в г. Копенгагене (Дания) представлены уникальные инновационные водные аттракционы (рис. 6).

Парк развлечений «Европа-парк» в г. Руст (Германия) представлен элементами малых архитектурных форм, современной системой сопровождения посетителей и системой контроля пропускного режима на объекты парка (рис. 7).

Парка развлечений «Эверленд» в г. Сеул, (Южная Корея) имеет уникальное цветочное оформление (рис. 8). Идея такого оформления нашла применение в структуре ландшафтных композиций, использованных при оформлении входных групп, интерьера административных зданий и

многофункционального выставочного комплекса тематического парка Центрального Черноземья.

Парк развлечений «Диснейленд» в Гонконге (рис. 9) сочетает на своей территории уникальный ассортимент древесных, кустарниковых, цветочных и травянистых растений как аборигенного, так и интродуцированного ассортимента. Использование примера такого сочетания может способствовать расширению ассортимента растений на всей территории тематического комплекса в Центральном Черноземье.

Парк развлечений «Эфтелинг» в г. Катсхевель, Нидерланды (рис. 10) оформлен с использованием оригинальных архитектурных ансамблей, элементы и структура которых фрагментарно были использованы при формировании главной композиционной оси тематического комплекса в Центральном Черноземье.

При проведении инновационных исследований были использованы следующие отечественные и зарубежные методики и материалы: методика системных исследований лесоаграрных ландшафтов [6], биоразнообразие города Воронежа [7], организация хозяйства в пригородных лесах [8], лесной план Воронежской области [9],



Рис. 6. Парк развлечений «Сады Тиволи», Копенгаген, Дания
Fig. 6. The Tivoli Gardens Amusement Park, Copenhagen, Denmark



Рис. 7. Парк развлечений «Европа-парк», Руст, Германия
Fig. 7. Amusement park «Europe-park», Rust, Germany



Рис. 8. Парк развлечений «Эверленд», Сеул, Южная Корея
Fig. 8. Everland Amusement Park in Seoul, South Korea

дендрология Центрального Черноземья [10], материалы по древоводству [11], эколого-географические районы Воронежской области [12], элементы формирования природного каркаса в генеральных планах городов [13], флора дубрав городского округа город Воронеж [14], экологический менеджмент территории Воронежского водохранилища [15], материалы по большой Воронежской экологической тропе [16], материалы по обоснованию изменений в генеральном плане

городского округа город Воронеж [17], биоразнообразии городов по методике Uchiyama Y. [18], сохранение биоразнообразия городов по методике Kohsaka R. [19], взаимосвязь природных зон городов по методике Deslaugiers M.R. [20], методика структуры объектов ландшафтной архитектуры по Теодоронскому В.С. [21], методика садово-паркового строительства парков санаториев и курортов Воронежской области [22], методику зональных особенностей паркостроения [23], структуру парков Лондона по Young G. [24], ландшафтный дизайн парков мира по Newbury T. [25], научные основы рекреационного использования горных лесных экосистем [26], методическое руководство и технические условия по реконструкции городских зеленых насаждений [27], инновационные технологии выращивания декоративных растений [28], материалы по структуре ботанического сада им. проф. Б.М. Козо-Полянского [29], материалы по эколого-ценотическому комплексу Ставропольского ботанического сада [30].

Экологическое равновесие городской среды может быть достигнуто при оптимальном соотношении интенсивно эксплуатируемых, экстенсивно используемых и особо охраняемых территорий. Был изучен широкий круг научных изданий, сборников статей и трудов и монографий по реорганизации территории в целях восстановления утраченных или формирования новых территорий природного комплекса — резервных территорий. Концептуальная модель тематического парка состоит из трех частей: 1) аналитический блок; 2) научно-исследовательская часть; 3) проектно-экспериментальная часть (рис. 11).

Проектно-экспериментальная часть предусматривает предпроектный анализ по формированию тематических парков. На этом этапе создается концепция туристского тематического комплекса, закладывается главная его идея, проводится оценка возможных территориальных границ, закладываются терренкуры с доминантами на маршрутах, а также определяется основная функция — специализация туристского кластера. Предложения по функциональному использованию территории разрабатываются с учетом сложившейся и перспективной планировочной структуры городского поселения, планировочных ограничений, требований Градостроительного кодекса Российской Федерации.

Проектное предложение формируется одновременно с созданием точной схемы туристического тематического комплекса, в концепцию, которой заложены все представляющие ценность объекты. Туристические маршруты составляются по виду туризма, инфраструктура — по программе создания кластера, проектирование стратегии развития туристского тематического комплекса —



Рис. 9. Парк развлечений «Диснейленд», Гонконг
Fig. 9. Disneyland Amusement Park in Hong Kong

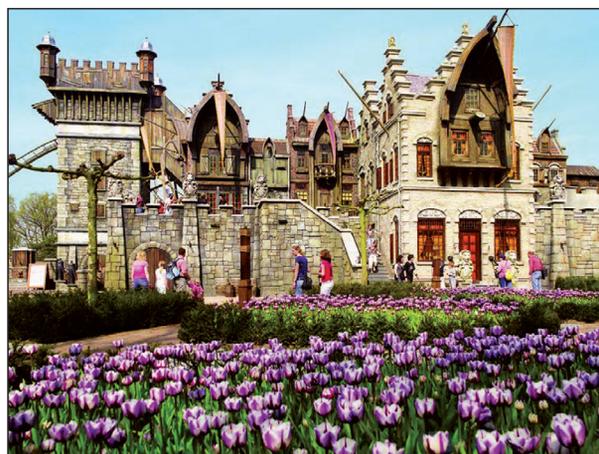


Рис. 10. Парк развлечений «Эфтелинг», Катсхевель, Нидерланды
Fig. 10. Efteling Amusement Park in Katshevel, the Netherlands



Рис. 11. Концептуальная модель исследования
Fig. 11. Conceptual model of the study

по возрастному составу отдыхающих, сезонности эксплуатации, вместимости.

Проектная площадка, выбранная для проведения исследований, расположена в пределах сложившейся системы участков земель сельскохозяйственного назначения на территории Яменского сельского поселения Рамонского района Воронежской обл. в пойме р. Дон, в 10 км к северу от г. Воронежа. Территория площадки наполовину покрыта лесом, что позволяет увидеть окружающий ландшафт. Остальная часть территории холмисто-равнинная. На западе участка протекает р. Дон. Существующие лесные массивы представлены чистыми лиственными, а также смешанными лесами из вечнозеленых и листопадных деревьев, которые предполагается полностью сохранить. Центральный парк является общественной зоной, связывающей культурный объект с остальными объектами. Характеризуется открытостью, обилием деревьев, цветов и зеленых лужаек, развлечениями под открытым небом, аллеями, ведущими к центру и от него. Культурную функцию парка

выполняет маршрут с традиционными сельскими объектами, вписавшимися в пейзаж парка.

Тематический парк Центрального Черноземья, созданный в пойме р. Дон, обоснован идеей создания в соответствии с картой мира (рис. 12). Таким образом, по континентам можно материализовать мультипарковую концепцию развития особых туристских зон, поскольку каждый континент будет иметь тематическую направленность. Так, Северная Америка — многофункциональный спортивный комплекс, Северная Америка и Южная Америка, объединенные в Большой ряд, — большое количество выставочных павильонов, шоурумы, бутики, рестораны, кафе, сувенирные магазины, пляж и территорию основного парка, Ледовый дворец, Африка — зоопарк и океанариум, Австралия — Аквапарк, Евразия — многофункциональный комплекс, главную площадь, детский парк и развлекательный комплекс. Природное и культурное разнообразие местности обусловило выделение неповторимости красот региона в тематическом комплексе.

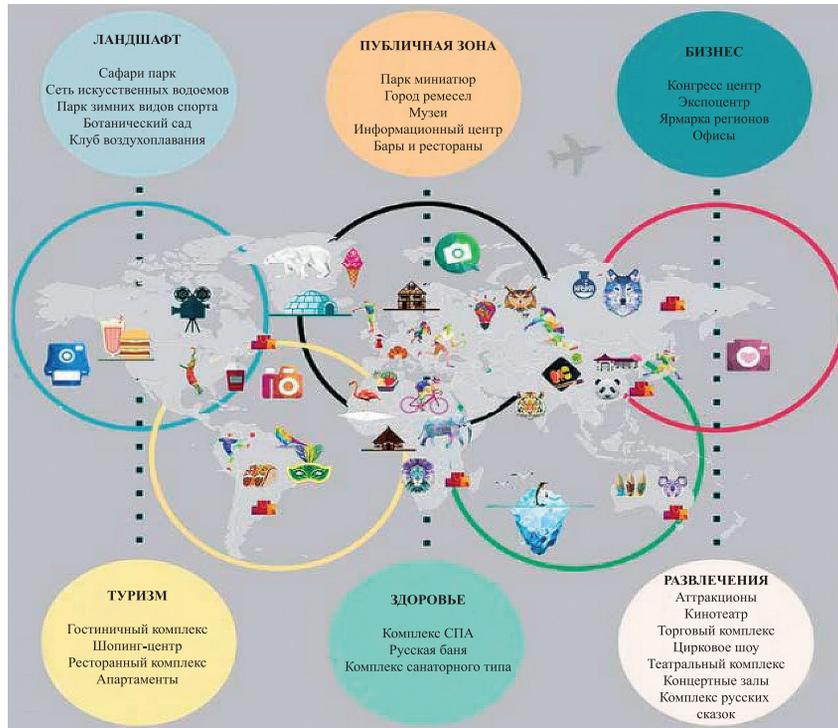


Рис. 12. Современная концепция развития тематического парка Центрального Черноземья (руководитель Е.И. Гурьева, автор Сычева Мария)

Fig. 12. The modern concept of the development of the theme park of the Central Chernozem region (head E.I. Guryeva, author Maria Sycheva)

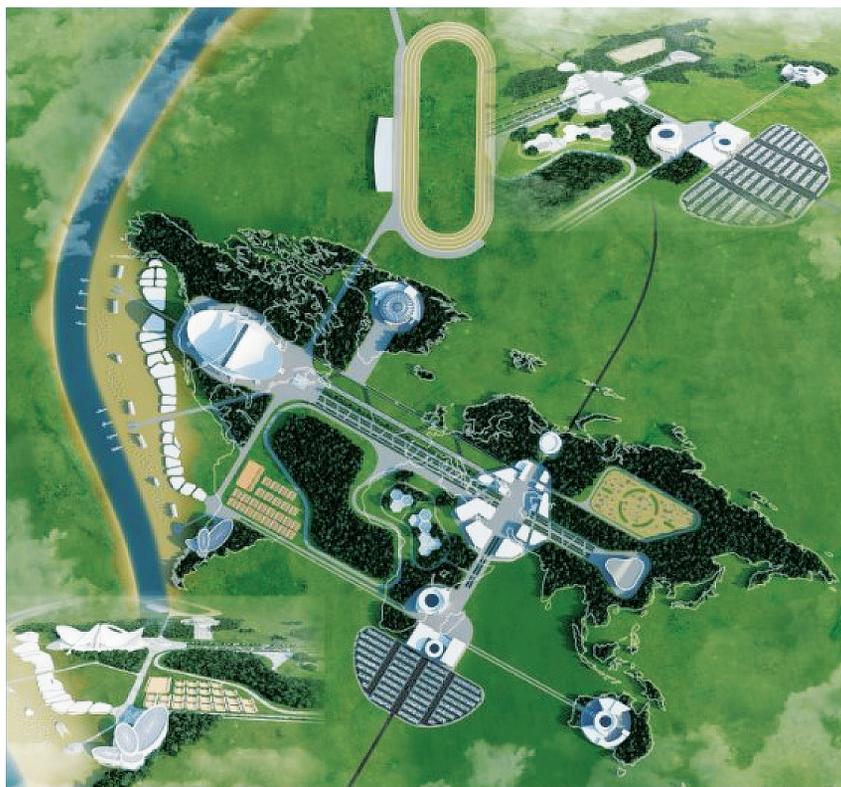


Рис. 13. Модель тематического парка Центрального Черноземья

Fig. 13. Model of the theme park of the Central Chernozem region

Все воображаемые континенты связаны между собой внутренней транспортно-пешеходной сетью. В парк заложены также следующие функции:

- ландшафтная (зоопарк, пляж, ипподром, велосипедные дорожки и главная аллея);
- общественная (город миниатюр, музеи, информационный центр, бары и рестораны);
- коммерческая (конгресс-центр, экспоцентр, ярмарка регионов, офисы);
- оздоровительная (комплекс СПА, русская баня, комплекс санаторного типа);
- развлекательная (аттракционы, кинотеатр, торговый комплекс, концертные залы, комплекс русских сказок);
- туристическая (гостиничный комплекс, шопинг-центр, ресторанный комплекс, апартаменты) (рис. 13).

Климатические условия Центрального Черноземья позволяют наблюдать полноценную картину смены времен года. В зависимости от сезона посетители могут участвовать в различных развлекательных и культурно-спортивных мероприятиях как в помещениях, так и на открытом воздухе, получить разнообразные услуги и посетить объекты питания. Зима — прекрасная пора для активной спортивной деятельности на свежем воздухе: посещение каткой для катания на коньках, лыжах и сноуборде, для парусного спорта на льду, зимней рыбалки, а также проведения ярмарок и фестивалей ледяных фигур. Весной можно активно заниматься летними видами спорта на стадионах и спортивных аренах, устраивать выставки цветов. Лето предоставляет все возможные варианты времяпрепровождения. Осенью можно проводить праздник урожая и другие коллективные мероприятия. Исходя из анализа социально-экономического положения Яменского сельского поселения, следует, что его территория обладает значительным потенциалом для многофункционального развития.

В проекте модели тематического парка Центрального Черноземья совмещены оптимальные варианты решения поставленных задач. В частности, в полной мере реализована идея создания среды для круглогодичного времяпрепровождения, привлекательного и комфортного отдыха. Создан объект, способный привести улучшение в регионе в экологическом, градостроительном, социальном, экономическом отношении и не только в сфере отдыха и туризма. Тематический парк будет способствовать решению проблем в сфере культуры, спорта и здоровья, благодаря созданию спортивно-оздоровительных объектов, призванных восстанавливать здоровье граждан, наполнять их жизнь новыми впечатлениями, а также осуществлять правильное воспитание молодого поколения с помощью многофункционального выставочного комплекса (рис. 14).



Рис. 14. Многофункциональный выставочный комплекс тематического парка Центрального Черноземья

Fig. 14. Multifunctional exhibition complex of the Central Chernozem Region Theme Park



Рис. 15. Главная композиционная ось тематического парка Центрального Черноземья

Fig. 15. The main compositional axis of the theme park of the Central Chernozem region

Территория рассматриваемого тематического парка занимает площадь 133 га. Капитальная застройка общественного назначения и территории озеленения в границах главных и второстепенных направлений составили 35 и 50 га соответственно. Расчетная численность единовременных посетителей составила 9485 чел. Оптимальным является размещение 1900 парковочных мест. Главная композиционная ось тематического парка Центрального Черноземья представлена на рис. 15.

Выводы

Формирование системы ресурсного обеспечения кластера тематического парка Центрального Черноземья обусловлено благоприятными природными условиями для экологической активности, архитектурно-градостроительной деятельности, имеет достаточное количество градообразующих объектов и объектов культурного значения.

Анализ комплексного маркетингового исследования объекта, территория которого охватывает реальных (выявленных в ходе исследования) и возможных (потенциальных) участников

кластера определил главную цель проектирования туристического тематического комплекса — социальную направленность. Нами впервые разработана модель тематического парка, которая будет способствовать повышению конкурентоспособности в области туристических услуг, предоставляемых в регионе.

Тематический парк содержит шесть главных функциональных зон: административно-гостиничный комплекс, главную аллею, спортивно-оздоровительные объекты, научно-познавательные объекты, пляжную зону, развлекательно-культурные объекты.

Список литературы

- [1] Гурьева Е.И., Шутка А.В. Архитектурно-пространственные особенности формирования городского сквера // Вестник Томского государственного архитектурно-строительного университета, 2021. Т. 23. № 1. С. 50–57.
- [2] Гурьева Е.И., Шутка А.В. Градостроительная концепция формирования рекреационных территорий города (на примере скверов Железнодорожного района города Воронежа) // Вестник Томского государственного архитектурно-строительного университета, 2021. Т. 23. № 4. С. 46–56.
- [3] Гурьева Е.И., Грибцова А.А. Реновация прибрежных территорий на примере центральной набережной города Волгограда // Строительство и реконструкция, 2021. № 3(95). С. 130–139.
- [4] Гурьева Е.И., Шутка А.В. Градостроительная оптимизация структуры рекреационных территорий на примере сквера на ул. Депутатской г. Воронежа // Вестник Томского государственного архитектурно-строительного университета, 2020. Т. 22. № 1. С. 31–43.
- [5] Гурьева Е.И., Яньшина Н.А. Социально-психологические факторы в градостроительной политике на примере Воронежской агломерации // Строительство и реконструкция, 2019. № 5(85). С. 96–107.
- [6] Методика системных исследований лесоаграрных ландшафтов. М.: Изд-во ВАСХНИЛ, 1985. 112 с.
- [7] Биоразнообразие города Воронежа / под ред. О.П. Негрובה. Воронеж: Изд-во ВГУ, 2004. 98 с.
- [8] Гальперин М.И. Организация хозяйства в пригородных лесах. М.: Лесная пром-сть, 1971. 231 с.
- [9] Лесной план Воронежской области. URL: <http://ulh.govvgn.ru/SharedDocuments/Лесной План Воронежской области.doc>. (дата обращения 10.11.2020).
- [10] Машкин С.И. Дендрология Центрального Черноземья. Систематика, кариология, география, генезис, экология и использование местных и интродуцированных деревьев и кустарников. Воронеж: Изд-во ВГУ, 1971. 344 с.
- [11] Кругляк В.В., Гурьева Е.И. Древодводство. Воронеж: Изд-во ВГЛТА, 2011. 144 с.
- [12] Мильков Ф.Н., Михно Б.В., Федотов В.И. Эколого-географические районы Воронежской области. Воронеж: Изд-во ВГУ, 1996. 216 с.
- [13] Краснощекова Н.С. Формирование природного каркаса в генеральных планах городов. М.: Архитектура-С, 2010. 184 с.
- [14] Григорьевская А.Я., Зелепукин Д.С. Флора дубрав городского округа город Воронеж: биогеографический, экологический, природоохранный аспекты. Воронеж: Изд-во им. Е.А. Болховитинова, 2013. 260 с.
- [15] Сейдалиев Г.С. Косинова И.И., Соколова Т.В., Силкин К.Ю. Экологический менеджмент территории Воронежского водохранилища. Воронеж: Истоки, 2017. 186 с.
- [16] Саниев А.Р. Тропа Воронежская. Путеводитель по большой Воронежской экологической тропе. Воронеж: Новый взгляд, 2015. 104 с.
- [17] Материалы по обоснованию изменений в генеральный план городского округа город Воронеж. 15837-ПЗ. Воронеж: ВПИ, 2014. 64 с.
- [18] Uchiyama Y., Hayashi K., Kohsaka R. Typology of cities based on City Biodiversity Index: Exploring biodiversity potentials and possible collaborations among Japanese cities // Sustainability, 2015, v. 7, no. 10, pp. 14371–14384. DOI: 10.3390/su71014371
- [19] Kohsaka R., Uchiyama Y. Motivation, strategy and challenges of conserving urban biodiversity in local contexts: Cases of 12 municipalities in Ishikawa, Japan // Procedia Engineering, 2017, v. 198, pp. 212–218. URL: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1877705817329296> (дата обращения 29.03.2021).
- [20] Deslauriers M.R., Asgary A., Nazarnia N., Jaeger J.A.G. Implementing the connectivity of natural areas in cities as an indicator in the City Biodiversity Index (CBI) // Ecol. Indicators, 2018, v. 94, no. 2, pp. 99–113. DOI: 10.1016/j.ecolind.2017.02.028
- [21] Теодоронский В.С., Боговая И.О. Объекты ландшафтной архитектуры. М.: МГУЛ, 2001. 330 с.
- [22] Кругляк В.В., Гурьева Е.И. Ландшафтная архитектура и садово-парковое строительство парков санаториев и курортов Воронежской области. Воронеж: Изд-во ВГУ, 2010. 156 с.
- [23] Кругляк В.В. Зональные особенности паркостроения. Воронеж: Изд-во ВГЛТА, 2008. 295 с.
- [24] Young G. Walking Londons parks and gardens. Londons (UK): New Holland Publishers, 1998, p. 222.
- [25] Newbury T. The Ultimate Garden designer Word Losk. London: WardLock, 1995, p. 256.
- [26] Солнцев Г.К. Научные основы рекреационного использования горных лесных экосистем (на примере Северного Кавказа). Ростов н/Д: Изд-во СК НЦ ВШ, 2003. 60 с.
- [27] Методическое руководство и технические условия по реконструкции городских зеленых насаждений. М.: МГУЛ, 2001. 60 с.
- [28] Галдина Т.Е., Чернодубов А.И. Инновационные технологии выращивания декоративных растений. Воронеж: Изд-во ВГЛТУ, 2018. 178 с.
- [29] Воронин А.А., Комова А.В., Муковнина З.П. Ботанический сад им. проф. Б.М. Козо-Полянского Воронежского государственного университета. Воронеж: Изд-во ВГУ, 2020. 335 с.
- [30] Становление эколого-ценотического комплекса Ставропольского ботанического сада и перспектива его развития: коллективная монография / под общ. ред. В.И. Кожевникова. Ставрополь: Бюро новостей, 2020. 192 с.

Сведения об авторах

Кругляк Владимир Викторович [✉] — д-р с.-х. наук, профессор ФГБОУ ВО «Воронежский государственный аграрный университет имени Императора Петра I», kruglyak_vl@mail.ru

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

Поступила в редакцию 07.10.2021.

Одобрено после рецензирования 14.10.2021.

Принята к публикации 16.11.2021.

PRINCIPLES OF LANDSCAPE THEMED COMPLEX FORMATION IN THE CENTRAL BLACK EARTH

V.V. Kruglyak^{1✉}, E.I. Gur'eva²

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

²Voronezh State Technical University, 84, 20-letiya Oktyabrya st., 394006, Voronezh, Russia

kruglyak_vl@mail.ru

Recreational areas (reserve areas) are of particular importance in the natural frameworks of the cities of the Central Asian Republic. The city of Voronezh is considered as the center of the CDR, with the prerequisites for the formation of innovations in the tourism business. This is supported by the amount of recreation available in the area, which can act as a concentration of tourism and entertainment. The results obtained by us confirmed that the urban planning design of recreation and tourism facilities on the territory of the Central Asian Republic in the formation of a tourist thematic cluster is determined by potential geographical boundaries, key objects of attraction in the existing urban planning environment, as well as tourist qualifications (specialization). The cluster can significantly improve the level and quality of life of the city's population, since it will improve the socio-economic development of the urban settlement of the city of Voronezh. Formation of the concept of a tourist thematic complex for creating attractive investment sites and attracting, placing new large and medium-sized modern production facilities on them.

Keywords: natural frame, landscape theme complex, park, urban planning

Suggested citation: Kruglyak V.V., Gureva E.I. *Printsipy formirovaniya landshaftnogo tematicheskogo kompleksa v Tsentral'nom Chernozem'e* [Principles of landscape themed complex formation in the Central Black Earth]. *Lesnoy vestnik / Forestry Bulletin*, 2022, vol. 26, no. 2, pp. 59–68. DOI: 10.18698/2542-1468-2022-2-59-68

References

- [1] Gur'eva E.I., Shutka A.V. *Arkhitekturno-prostranstvennye osobennosti formirovaniya gorodskogo skvera* [Architectural and spatial features of the formation of city square]. *Vestnik Tomskogo gosudarstvennogo arkhitekturno-stroitel'nogo universiteta* [Bulletin of the Tomsk State University of Architecture and Civil Engineering], 2021, t. 23, no. 1, pp. 50–57.
- [2] Gur'eva E.I., Shutka A.V. *Gradostroitel'naya kontseptsiya formirovaniya rekreatsionnykh territoriy goroda (na primere skverov Zheleznodorozhnogo rayona goroda Voronezha)* [Urban planning concept of the formation of recreational areas of the city (on the example of the squares of the Zheleznodorozhny district of the city of Voronezh)]. *Vestnik Tomskogo gosudarstvennogo arkhitekturno-stroitel'nogo universiteta* [Bulletin of the Tomsk State University of Architecture and Civil Engineering], 2021, t. 23, no. 4, pp. 46–56.
- [3] Gur'eva E.I., Gribtsova A.A. *Renovatsiya pribrezhnykh territoriy na primere tsentral'noy naberezhnoy goroda Volgograda* [Renovation of coastal territories on the example of the central embankment of the city of Volgograd]. *Stroitel'stvo i rekonstruktsiya* [Construction and Reconstruction], 2021, no. 3 (95), pp. 130–139.
- [4] Gur'eva E.I., Shutka A.V. *Gradostroitel'naya optimizatsiya struktury rekreatsionnykh territoriy na primere skvera na ul. Deputatskoy g. Voronezha* [Urban planning optimization of the structure of recreational territories on the example of the square on Deputatskaya Street, Voronezh]. *Vestnik Tomskogo gosudarstvennogo arkhitekturno-stroitel'nogo universiteta* [Bulletin of the Tomsk State University of Architecture and Civil Engineering], 2020, t. 22, no. 1, pp. 31–43.
- [5] Gur'eva E.I., Yan'shina N.A. *Sotsial'no-psikhologicheskie faktory v gradostroitel'noy politike na primere Voronezhskoy aglomeratsii* [Socio-psychological factors in urban planning policy on the example of the Voronezh agglomeration]. *Stroitel'stvo i rekonstruktsiya* [Construction and reconstruction], 2019, no. 5 (85), pp. 96–107.
- [6] *Metodika sistemnykh issledovaniy lesoagrarnykh landshaftov* [Methodology of system studies of forest-agrarian landscapes]. Moscow: VASHNIL Publishing House, 1985, 112 p.
- [7] *Bioraznoobrazie goroda Voronezha* [Biodiversity of the city of Voronezh]. Ed. O.P. Negrobov. Voronezh: Voronezh state University, 2004, 98 p.
- [8] Gal'perin M.I. *Organizatsiya khozyaystva v prigorodnykh lesakh* [Organization of the economy in suburban forests]. Moscow: Lesnaya prom-st' [Forest industry], 1971, 231 p.
- [9] *Lesnoy plan Voronezhskoy oblasti* [Forest plan of the Voronezh region]. Available at: <http://ulh.govvrn.ru/Shared Documents/ForestPlan of the Voronezh области.doc>. (accessed 10.11.2020).

- [10] 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 Chernozem region. Taxonomy, karyology, geography, genesis, ecology and use of native and introduced trees and shrubs]. Voronezh: VSU Publishing House, 1971, 344 p.
- [11] Kruglyak V.V., Gur'eva E.I. *Drevovodstvo* [Arboriculture]. Voronezh: VGLTA Publishing House, 2011, 144 p.
- [12] Mil'kov F.N., Mikhno B.V., Fedotov V.I. *Ekologo-geograficheskie rayony Voronezhskoy oblasti* [Ecological and geographical areas of the Voronezh region]. Voronezh: VSU Publishing House, 1996, 216 p.
- [13] Krasnoshchekova N.S. *Formirovanie prirodnoy karkasa v general'nykh planakh gorodov* [The formation of a natural framework in the general plans of cities]. Moscow: Architecture-S, 2010, 184 p.
- [14] Grigor'evskaya A.Ya., Zelepukin D.S. *Flora dubrav gorodskogo okruga gorod Voronezh: biogeograficheskiy, ekologicheskiy, prirodnookhrannyy aspekty* [Flora of the dubrav urban district of Voronezh: biogeographic, ecological, environmental aspects]. Voronezh: Publishing House named after E.A. Bolkhovitinov, 2013, 260 p.
- [15] Seydaliyev G.S., Kosinova I.I., Sokolova T.V., Silkin K.Yu. *Ekologicheskiy menedzhment territorii Voronezhskogo vodokhranilishcha* [Environmental management of the territory of the Voronezh reservoir]. Voronezh: Istoki, 2017, 186 p.
- [16] Saniev A.R. *Tropa Voronezhskaya. Putevoditel' po bol'shoy Voronezhskoy ekologicheskoy trope* [Voronezh Trail. A guide to the great Voronezh ecological trail]. Voronezh: Novyy vzglyad, 2015, 104 p.
- [17] *Materialy po obosnovaniyu izmeneniy v general'nyy plan gorodskogo okruga gorod Voronezh. 15837-PZ* [Materials on the justification of changes to the general plan of the Voronezh city district. 15837-PZ]. Voronezh: VPI, 2014, 64 p.
- [18] Uchiyama Y., Hayashi K., Kohsaka R. Typology of cities based on City Biodiversity Index: Exploring biodiversity potentials and possible collaborations among Japanese cities. *Sustainability*, 2015, v. 7, no. 10, pp. 14371–14384. DOI: 10.3390/su71014371
- [19] Kohsaka R., Uchiyama Y. Motivation, strategy and challenges of conserving urban biodiversity in local contexts: Cases of 12 municipalities in Ishikawa, Japan. *Procedia Engineering*, 2017, v. 198, pp. 212–218. Available at: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1877705817329296> (accessed 29.03.2021).
- [20] Deslauriers M.R., Asgary A., Nazarnia N., Jaeger J.A.G. Implementing the connectivity of natural areas in cities as an indicator in the City Biodiversity Index (CBI). *Ecol. Indicators*, 2018, v. 94, no. 2, pp. 99–113. DOI: 10.1016/j.ecolind.2017.02.028
- [21] Teodoronskiy V.S., Bogovaya I.O. *Ob'ekty landshaftnoy arkhitektury* [Objects of landscape architecture]. Moscow: MSFU, 2001, 330 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 garden and park construction of parks of sanatoriums and resorts of the Voronezh region]. Voronezh: VSU Publishing House, 2010, 156 p.
- [23] Kruglyak V.V. *Zonal'nye osobennosti parkostroeniya* [Zonal features of park construction]. Voronezh: VGLTA Publishing House, 2008, 295 p.
- [24] Young G. *Walking Londons parks and gardens*. Londons (UK): New Holland Publishers, 1998, p. 222.
- [25] Newbury T. *The Ultimate Garden designer Word Losk*. London: WardLock, 1995, p. 256.
- [26] Solntsev G.K. *Nauchnye osnovy rekreatsionnogo ispol'zovaniya gornyykh lesnykh ekosistem (na primere Severnogo Kavkaza)* [Scientific bases of recreational use of mountain forest ecosystems (on the example of the North Caucasus)]. Rostov-na-Donu: Publishing house of the SC NC HSE, 2003, 60 p.
- [27] *Metodicheskoe rukovodstvo i tekhnicheskie usloviya po rekonstruktsii gorodskikh zelenykh nasazhdeniy* [Methodological guidelines and technical conditions for the reconstruction of urban green spaces]. Moscow: MGUL, 2001, 60 p.
- [28] Galdina T.E., Chernodubov A.I. *Innovatsionnye tekhnologii vyrashchivaniya dekorativnykh rasteniy* [Innovative technologies for growing ornamental plants]. Voronezh: VGLTU, 2018, 178 p.
- [29] Voronin A.A., Komova A.V., Mukovnina Z.P. *Botanicheskiy sad im. prof. B.M. Kozo-Polyanskogo Voronezhskogo gosudarstvennogo universiteta* [Botanical Garden named after prof. B.M. Kozo-Polyansky Voronezh State University]. Voronezh: VSU Publishing House, 2020, 335 p.
- [30] *Stanovlenie ekologo-tsenoticheskogo kompleksa Stavropol'skogo botanicheskogo sada i perspektiva ego razvitiya: kollektivnaya monografiya/pod obshch. red. V.I. Kozhevnikova* [The formation of the ecological and cenotic complex of the Stavropol Botanical Garden and the prospect of its development: a collective monograph/under the general ed.by V.I. Kozhevnikov]. Stavropol: Byuro novostey [News Bureau], 2020, 192 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 the Voronezh State Technical University, gurjeva_el@mail.ru

Received 07.10.2021.

Approved after review 14.10.2021.

Accepted for publication 16.11.2021.

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

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

Г.Н. Кононов✉, А.Н. Веревкин, Ю.В. Сердюкова, В.А. Жукова

МГТУ им. Н.Э. Баумана (Мытищинский филиал), 141005, г. Мытищи, Московская обл., 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 отбеливания и облагораживания технических целлюлоз, совершенствование их аппаратурного 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, отбеливание, облагораживание, растворимые целлюлозы

Ссылка для цитирования: Кононов Г.Н., Веревкин А.Н., Сердюкова Ю.В., Жукова В.А. Древесина как химическое сырье. История и современность. IV. Делигнификация древесины как путь получения целлюлозы. Часть II // Лесной вестник / Forestry Bulletin, 2022. Т. 26. № 2. С. 69–84. DOI: 10.18698/2542-1468-2022-2-69-84

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

Окончание. Начало в «Лесной вестник / Forestry Bulletin», 2022, т. 26, № 1.

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.

2.4. Перспективные способы делигнификации древесины

Азотно-кислотный способ делигнификации древесины был впервые запатентован профессором П. Крайсом из Дрездена еще в конце XIX в., однако тогда не получил распространения [1]. В конце 1930-х годов, по словам Н.И. Непенина: «...судя по отрывочным литературным сведениям из заграницы все затруднения в основном преодолены, а резкое снижение цены синтетической азотной кислоты дает возможность предполагать, что азотно-кислотный метод будет широко внедрен в производство» [2]. Работы в этом направлении продолжались и в годы Второй мировой войны. Способ был реализован в Германии на заводе «Вольфен» на установке с котлом

объемом 180 м³ с предварительной пропиткой буковой щепы 15%-й азотной кислотой при давлении 0,3 МПа и температуре 40...45 °С. Затем подавали горячую воду, и концентрация азотной кислоты снижалась до 3,5...4 %. В завершение проводили варку древесины в течение 4 ч при атмосферном давлении. Полученная масса обрабатывалась сначала 1%-м а затем 4%-м раствором гидроксида натрия для растворения и удаления нитролигнина и промывалась горячей водой. По сути, процесс был двухстадийным: азотнокислотнo-щелочным. Полученная техническая целлюлоза с выходом 47,5 % содержала около 88 % α-целлюлозы. После отбелки и облагораживания полученный продукт не уступал по свойствам хлопковому линтеру и, по-видимому, использовался для производства бездымного пороха.

В 1956 г. во Франции инженерами М. Делькруа и Л. Десорба был запатентован непрерывный метод «дельбай» с использованием 42%-й азотной кислоты и обработкой листовенной древесины при температуре 20 °С. Метод был внедрен на фабрике в г. Гаме (северная часть Франции), а несколько позднее был предложен непрерывный способ Л. Дефоржа, отличающийся пониженной концентрацией азотной кислоты с использованием катализатора при температуре 65...70 °С.

В 1960–1980-е гг. в СССР проводились исследования, посвященные получению целлюлозы этим способом из тростника, березовой и осиновой древесины. После облагораживания удавалось получать полуфабрикат с содержанием до 99 % α-целлюлозы, и по разработкам института Химии древесины АН ЛатвССР (Рига) была построена опытно-промышленная установка на Яунциемской бумажной фабрике по производству целлюлозы из еловых опилок [2].

Еще в 1844 г. химик А. Дюма определил, что для выделения целлюлозы из растительных волокон можно использовать наряду с гидроксидом натрия, еще и хлор. Он применял обработку соломенной массы 10%-м раствором гидроксида натрия при температуре 80...100 °С, а затем обрабатывал ее газообразным хлором. Т. Фрешей и Д. Терель в 1868 г. получили целлюлозу, обрабатывая древесину хлорной водой, а Р. Менцис в 1872 г. запатентовал обработку увлажненной древесины газообразным хлором с последующей ее варкой с гидроксидом натрия.

Первый патент по получению целлюлозы **хлорно-щелочным способом** из соломы получил М. Дэвен в 1912 г. По этому способу соломенную сечку подвергали натронной варке при температуре 120...140 °С с последующей обработкой хлорной водой. Впоследствии способ был внедрен на фабриках Франции, Италии и Испании, а полу-

ченную целлюлозу можно было использовать для производства искусственного шелка [3].

В 1916 г. Д. Кательди и М. Помилио в Неаполе получили патент на обработку соломы раствором гидроксида натрия при температуре 70...90 °С при атмосферном давлении с последующей обработкой газообразным хлором [3]. В 1936 г. фирмой «Цельдекор-Помилио» в Италии была внедрена непрерывная технология получения полуцеллюлозы по этому способу из однолетних растений с выходом 55...65 % на установках производительностью 50...100 т в сутки [2].

В конце 1960-х годов была разработана технология **кислородно-щелочной** делигнификации. Оптимальная температура процесса составляла 140...160 °С при давлении кислорода от 0,5 до 5 МПа. В качестве щелочного агента кроме гидроксида натрия использовался и карбонат натрия. В результате получали целлюлозу с выходом 60...62 % и содержанием лигнина не более 4 %.

Впоследствии стали применять двухступенчатую варку. На первой ступени натронным способом получали полуцеллюлозу с выходом 72...75 %, на второй — кислородно-щелочным способом получали целлюлозу нормального выхода в 45...46 %.

В 1966 г. в США был запатентован **кислородно-аммониевый способ** — «оксиаммонолиз» для производства целлюлозы из бегассы. В качестве щелочного агента в нем использовали гидроксид аммония с меньшей щелочностью, чем гидроксид натрия и поэтому продолжительность процесса увеличивалась в 1,5 раза. Малая эффективность метода при использовании древесины в качестве сырья привела к разработке в СССР двухступенчатого процесса. На первой стадии варка проводилась как «оксиаммонолиз» с выходом полуцеллюлозы 70 %, на второй — проводили кислородно-щелочную обработку при температуре 140...150 °С и давлении 4 МПа с выходом целлюлозы 55...60 %. Для реализации этого процесса был предложен пульсационный варочный аппарат, снабженный колонкой с перфорированными тарелками, между которыми волокнистая пульпа приводилась во вращательное движение пульсирующим движением поршня, соединенного с гидравлическим цилиндром. Опытнo-промышленная установка этой конструкции была смонтирована на Сясьском ЦБК.

Начиная с 1930-х годов было разработано много **органоcольвентных** способов получения целлюлозы. Первым из них был **гидротропный**, запатентованный американцем С. Макки в 1933 г. По предложенному способу, варка древесины тополя велась в 30–40%-м водном растворе ксилосульфоната натрия при температуре 150 °С

и атмосферном давлении. Полученная целлюлоза с выходом 52 % содержала 93 % α -целлюлозы. Регенерация варочного раствора осуществлялась разбавлением водой, отделением с помощью фильтрования выпавшего в осадок лигнина и упариванием раствора ксилолсульфоната натрия до исходной концентрации [4].

В 1970–1980-е гг. были разработаны технологии варок со спиртами, гликолями, фенолами, уксусной, перуксусной и монохлоруксусной кислотами, а также с диметилсульфоксидом, получаемым из черного щелока сульфатцеллюлозного производства. Последний метод позволял получать целлюлозу с выходом 45...46 % и с содержанием α -целлюлозы в ней до 94,5 %. Конкурентоспособным был натронный способ варки с добавлением гидрохинона в качестве катализатора по патенту, полученному в США Г. Холтоном в 1975 г.

Особо следует остановиться на экологически чистых методах делигнификации древесины. К ним относится запатентованный еще до Второй мировой войны В. Мэссеном в Канаде и США метод получения древесной массы «месонит» с помощью парового взрыва. Этот метод, возрожденный в улучшенном аппаратном оформлении в патентах канадских фирм, подразумевал получение химической древесной массы из щепы, предварительно пропитанной сульфитом натрия, а затем обработанной в специальном реакторе водяным паром при температуре 230 °С и давлении 3,3 МПа в течение 2 мин и сбросом давления до атмосферного с последующим размолом образовавшегося продукта. Полученная масса с выходом 89...92 % по своим физико-механическим свойствам была близка к целлюлозе нормального выхода (рис. 21) [4].

Разработка этого метода делигнификации проводилась в 1970-е годы и в институте Химии древесины АН ЛатвССР, включая его применение для фрагментации гидролизного лигнина.

Еще одним экологически чистым методом делигнификации является биологический метод с использованием ферментных систем дереворазрушающих грибов, образующих «белую гниль». В Швеции, Финляндии и Японии ведутся работы по изучению и отбору штаммов этих грибов в целях их практического использования.

В 2000–2020 гг. работы в области микологической биоделигнификации древесины под действием лигнолитических ферментов дереворазрушающих грибов ведутся в МГТУ им. Н.Э. Баумана (Мытищинский филиал) на кафедре «Химия и химические технологии в лесном комплексе» под руководством проф. Г.Н. Кононова [5].

Технологические и научные исследования процессов делигнификации привели к глубокому и

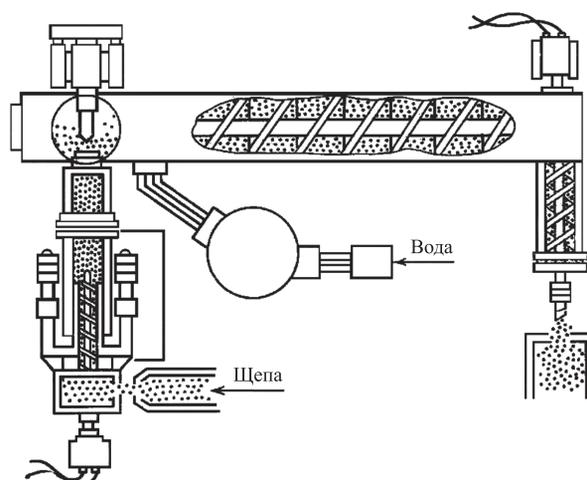


Рис. 21. Схема установки для получения химической древесной массы взрывным методом

Fig. 21. Scheme of the installation for the production of chemical wood pulp by the explosive method

всестороннему изучению химизма протекающих процессов, формированию их теоретических основ, отраженных в некоторых монографиях.

3. Отбелка технических целлюлоз

Отбелка технических целлюлоз завершает процесс их делигнификации, и после нее в отбеленных целлюлозах обнаруживаются лишь следы лигнина.

Ранее веществам, придающим темную окраску небеленым целлюлозам, приписывали различную химическую природу. Эти исследования проводились значительно позднее первого патентования способа отбелки натронной целлюлозы ее последовательной обработкой хлором, щелочью и белильной известью, предложенного еще в 1853 г. изобретателями натронного метода делигнификации М. Уаттом и Д. Бордджем [5].

Так Дж. Грифин в 1924 г. полагал, что окрашивающие вещества сульфатной целлюлозы образуются из мыл «черного щелока» за счет их гидролиза при промывке целлюлозы.

С. Швальбэ в 1925 г. считал, что вещества, придающие коричневый оттенок щелочной целлюлозе являются продуктами осмоления углеводов и имеют природу гуминовых кислот.

А. Нолль в своей работе опубликованной в 1933 г., приписывал этим веществам природу металлоорганических соединений. Спустя год И. Кюттель проводя выделение этих веществ из сульфатной целлюлозы экстракцией спиртами приписывал им характер танинов, а Ф. Хальцер указывал на их близость к флобафенам. И только работа Х. Шварца, Дж. Маккарти и Х. Гильберта (1940) и последующие за ней работы Н. Каймбла (1942), завершили дискуссию, объяснив темную окраску «крафт-целлюлозы» наличием остаточных продуктов деструкции лигнина.

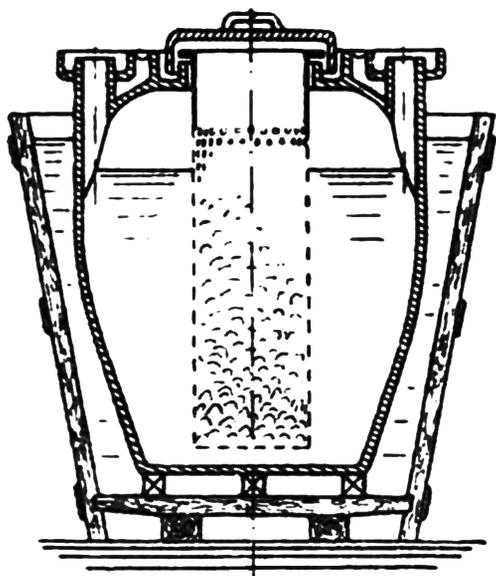


Рис. 22. Сосуд для получения хлора
Fig. 22. A vessel for chlorine production

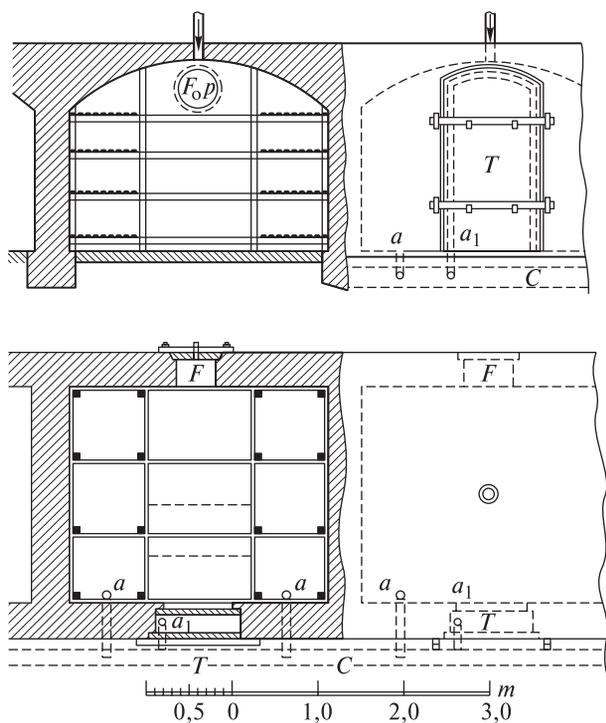


Рис. 23. Камера для отбелки газообразным хлором
Fig. 23. Bleaching chamber with chlorine gas

В 1949 г. В.Ф. Максимов в результате проведения обширных исследований пришел к заключению о том, что образовавшиеся в процессе делигнификации лигниногенные фенольные соединения при дальнейшем окислении переходят в хиноны, которые придают целлюлозе устойчивый коричневый цвет.

До конца XVIII в. отбелка тряпичной целлюлозной полумассы, используемой для произ-

водства бумаги, осуществлялась озоном воздуха при так называемой «луговой отбелке» бумажных холстов. Луговая отбелка, пришедшая в Европу из арабских стран, была длительна и малоэффективна вследствие малого содержания озона в воздухе — всего 1 мг/м^3 . Попытки с использованием чистого озона для отбелки проводились еще в 1903 г., но его промышленное использование до сих пор применяется только на опытных установках некоторых предприятий [5].

Следующим отбеливающим агентом стал хлор, открытый шведским химиком К. Шееле в 1774 г. и впервые примененный в качестве отбеливающего агента французским химиком К.Л. Бертолле в 1785 г. До второй половины XIX в. тряпичная полумасса отбеливалась газообразным хлором в особых камерах. Хлор получали действием соляной кислоты на диоксид марганца, в виде минерала пиролюзита. В керамический сосуд емкостью от 50 до 1200 дм^3 , наполненный соляной кислотой, погружали перфорированную кассету с пиролюзитом. Этот сосуд был снабжен внешним деревянным кожухом, наполняемым горячей водой для ускорения реакции (рис. 22) [5].

Выделяющийся хлор по свинцовым трубам поступал в отбельные камеры из камня или кирпича, оштукатуренные цементом или облицованные свинцом. В этих камерах находились деревянные решетчатые полки, на которые помещалась тряпичная полумасса с влажностью 70 % и толщиной слоя в 20...30 м. Камера снабжалась двойной деревянной дверью и отверстием в потолке для подачи хлора, опускающегося вниз камеры и постепенно заполняющего весь ее объем (рис. 23) [5].

Отбелка осуществлялась за счет атомарного кислорода, выделяющегося при разложении хлорноватистой кислоты, образующейся при взаимодействии хлора с водой, которую содержит полумасса. Продолжительность отбелки составляла в среднем 12...15 ч, вплоть до полного прекращения реакции соляной кислоты с пиролюзитом. После окончания отбелки камера соединялась через трубу, находящуюся в стене около пола, с дымовой трубой и за счет притока воздуха через открытое контрольное окно полностью освобождалась от остаточного хлора [5].

Первая установка для отбелки тряпичной полумассы в России появилась еще в 1820-х годах XIX в. на Екатеринбургской образцовой бумажной фабрике с использованием газообразного хлора в закрытых камерах [7].

Газовая отбелка, несмотря на присущие ей недостатки — ручной труд, опасность отравления рабочих, затрудненный контроль качества отбелки на некоторых предприятиях сохранилась вплоть до первой четверти XX в. А.С. Штробах

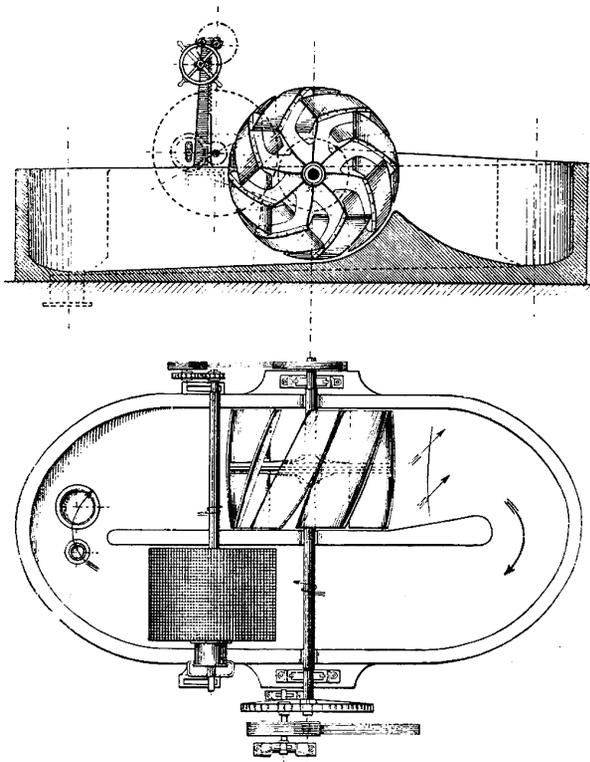


Рис. 24. Отбельный ролл Штробаха
Fig. 24. Straubach's bleach roll

в 1924 г. рекомендовал ее для предварительного отбеливания таких труднобелимых материалов, как льняные очесы, пенька и джут, с последующей добелкой в роллах.

Хлорную («белильную») известь после ее получения У. Тенордом в 1800 г. стали рассматривать в качестве отбеливающего агента, однако ее широкомасштабное использование началось только во второй половине XIX в. после получения натронной древесной целлюлозы с использованием для ее отбеливания сначала вращающихся шаровых котлов, а затем специальных роллов.

Для растворения хлорной извести применялись аппараты различной конструкции, из которых ее раствор подавался в специальные отбельные роллы.

Для отбеливания тряпичной полумассы и небольших объемов целлюлозы использовали отбельные роллы Штробаха емкостью 10...20 м³, снабженные «гоняльным колесом» с деревянными лопастями и бронзовыми накладками на них и подъемным промывным барабаном для сгущения массы при ее разбавлении белильным раствором (рис. 24) [5].

Для отбеливания больших объемов древесной целлюлозы в конце XIX в. [8] стали применять двухходовые отбельные роллы Бельмера объемом 150...200 м³, снабженные бронзовым пропеллером в виде винта, вращающегося со скоростью

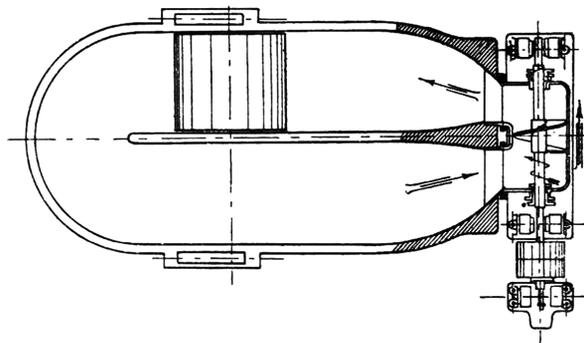


Рис. 25. Отбельный ролл Бельмера
Fig. 25. Belmer's bleach roll

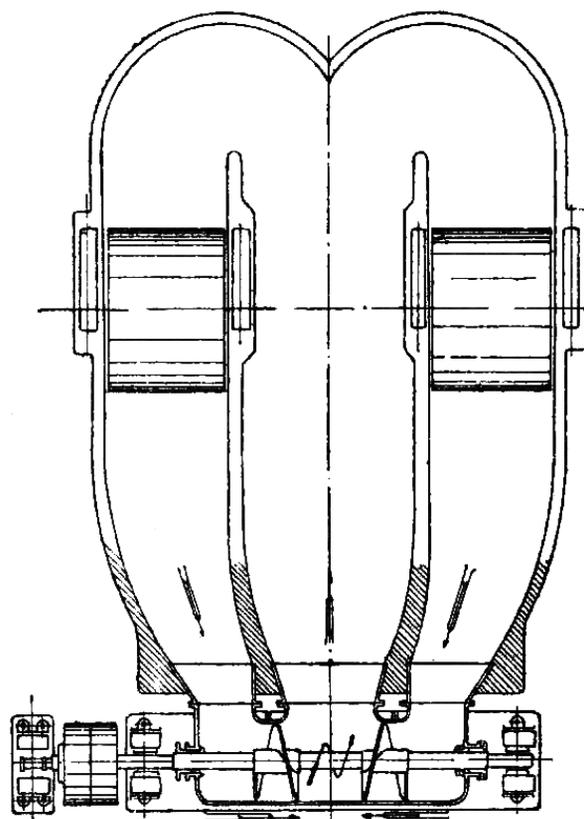


Рис. 26. Трехходовой отбельный ролл
Fig. 26. Three-way bleach roll

350...450 об./мин, для перемещения волокнистой массы из одного канала ролльной ванны в другой, с более высоким дном и уклоном к первому каналу (рис. 25) [6].

Позднее стали применять трехходовые роллы еще больших объемов — до 400 м³ с двойным (левым и правым) пропеллером на одном валу, передвигающим массу из левого и правого каналов ванны ролла в центральный канал (рис. 26) [6].

Все роллы снабжались промывными барабанами разной конструкции для поддержания концентрации массы на уровне 7...8 % с продолжительностью отбеливания 8 ч [6].

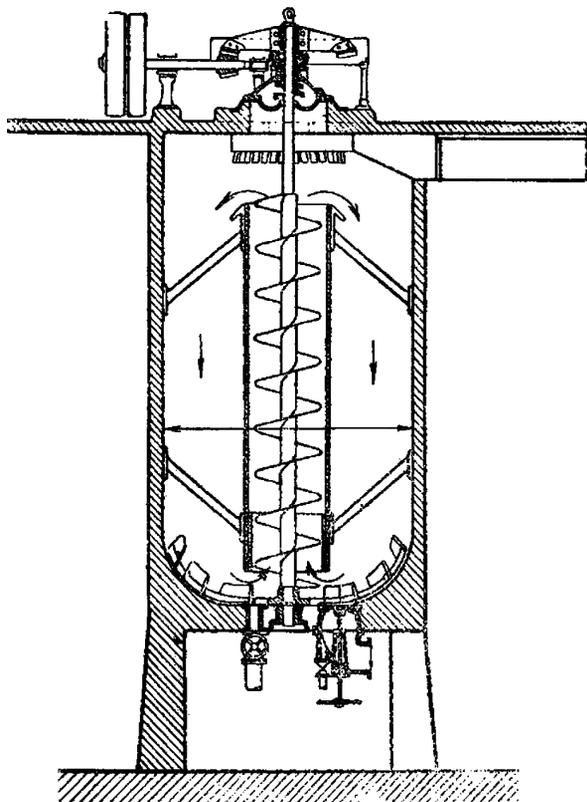


Рис. 27. Отбельный аппарат Вольфа
Fig. 27. Wolf's bleaching apparatus

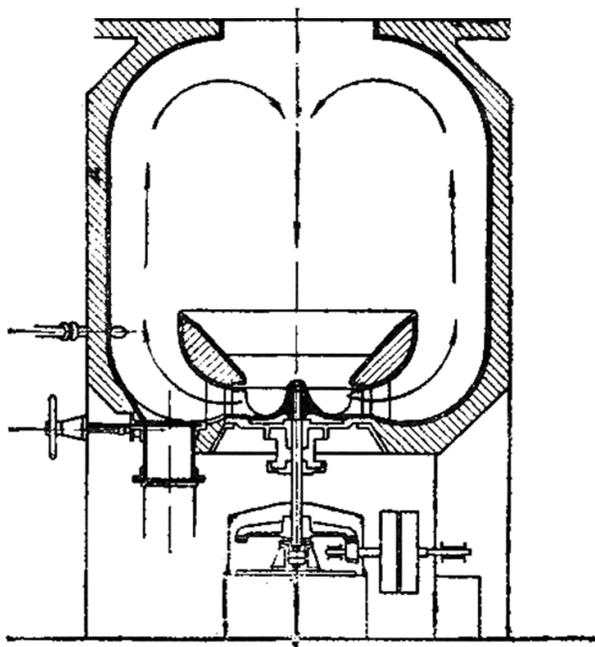


Рис. 28. Отбельный аппарат Фойта
Fig. 28. Foigt's bleaching apparatus

Наряду с отбелкой, сопровождающейся перемешиванием массы, еще в начале XX в. применялась отбелка при неподвижном состоянии массы. При этом целлюлозу только смешивали в роллах

с белильным раствором, а затем выпускали в большие плоские емкости глубиной 2...2,5 м и выдерживали в них до полной отбелки, а уже затем промывали в роллах с помощью промывных барабанов.

В отбельных роллах больших объемов для перемешивания массы кроме двухходовых винтовых пропеллеров применялись пропеллеры И.М. Фойта в виде 3- и 4-лопастного корабельного винта. Для массы высоких концентраций (до 16 %) в начале 1920-х годов стали использовать колесо норвежского инженера Ф. Мерке и колесо системы «Комир» в виде плоских или конических крыльчаток.

Для одноступенчатой отбелки хлорной известью при высоких концентрациях массы (17...18 %) также применялись аппараты Вольфа, широко распространенные в США в 1920-е годы. Они представляли собой высокие башни объемом 18...36 м³ с внутренним червяком для перемещения массы (рис. 27) [6].

В Европе устанавливали аппараты Фойта, с гоняльным колесом Мерке вместо червяка (рис. 28) [6].

Еще одним отбеливающим агентом стали гипохлориты щелочных металлов, впервые предложенные К.Л. Бертолле еще в 1787 г. в виде «белильной жидкости», получаемой пропуском хлора через раствор гидроксида калия. Однако дороговизна большого количества щелочи сдерживала применение этого способа отбелки, и только в начале XX в. в США, Норвегии, Швеции и Финляндии стал распространяться электролитический способ отбелки, расширение применения которого и разработка соответствующей аппаратуры принадлежали одному из изобретателей сульфитно-целлюлозного производства доктору Ф. Кельнеру. Способ заключался в использовании в качестве отбеливающего агента гипохлорита натрия, получаемого электролизом раствора поваренной соли в аппарате без разделительной диафрагмы анодного и катодного пространств. Аппарат представлял собой набор керамических ванн с платиноиридиевыми электродами и напряжением между ними 5 В (рис. 29) [6].

В 1915 г. на Кондровской бумажной фабрике С.А. Фотиевым при участии А.Г. Хитчена был разработан и внедрен в производство процесс электролитической отбелки тряпичной полумассы по технологии Кельнера просуществовавшей три года.

Впоследствии на бумажных предприятиях Европы наибольшее распространение получил аппарат Виллетера с железным катодом и угольным анодом и диафрагмой для отдельного получения едкого натра и хлора, которые впоследствии использовались для получения белильных растворов [9].

С помощью простой одноступенчатой отбелки в роллах или башенных аппаратах Вольфа и Фойта удавалось получить беленую целлюлозу с содержанием α -целлюлозы не более 84...85 %, что крайне недостаточно для ее химической переработки на вискозу и нитроцеллюлозу. Для получения полуфабриката с большим содержанием α -целлюлозы требовалась многоступенчатая отбелка.

В 1911 г. в патенте А. Девена и М. Петерсона, принципиально не отличающимся от патента М. Уатта и Д. Бордджеса 1854 г., была предложена комбинированная отбелка тряпичной полумассы в роллах. Суть процесса заключается в обработке полумассы хлорной водой, полученной из жидкого хлора и вводимой в ролл рядом с пропеллером, и последующей обработкой слабым раствором гидроксида натрия и добавлением раствора хлорной извести.

Однако многоступенчатая отбелка в роллах и других периодически действующих многоступенчатых аппаратах была малоэффективной. Поэтому в 1920-е годы проводились многочисленные исследования по разработке как схем непрерывной многоступенчатой отбелки, так и аппаратного оформления стадии этого процесса. Результатом этих работ стала предложенная в 1926 г. отбельная установка Торне. Установка состояла из башни для непрерывной предварительной отбелки концентрированной 18%-й хлорной известью с ее последующей периодической добелкой в роллах (рис. 30) [6].

Башня Торне представляла собой железобетонный цилиндр высотой 13 м и диаметром 3 м, была снабжена чугунным валом с крыльями для перемешивания массы, подающейся через загрузочный люк сепаратора, смешивающего ее с порошкообразной хлорной известью. Проходя весь объем башни, масса отбеливалась и через нижний люк выгружалась в бассейн для разбавления водой и подачи в ролл или вторую башню Торне для добелки [3]. Комбинированная установка Торне получила широкое распространение во многих странах, но к концу 1930-х годов морально устарела в связи с введением отбельных установок с применением хлорирования на первой ступени. Еще одной непрерывно действующей была установка, смонтированная английской фирмой «Мезонс-Скот». Она состояла из восьми цилиндрических резервуаров-терм общей емкостью 50 м³, в которых масса концентрации 6...8 % непрерывно отбеливалась хлорной известью и перекачивалась насосами из одной термы в другую, подогреваясь при этом паром, подающимся непрерывно в массу. Однако эта установка не нашла широкого применения [3].

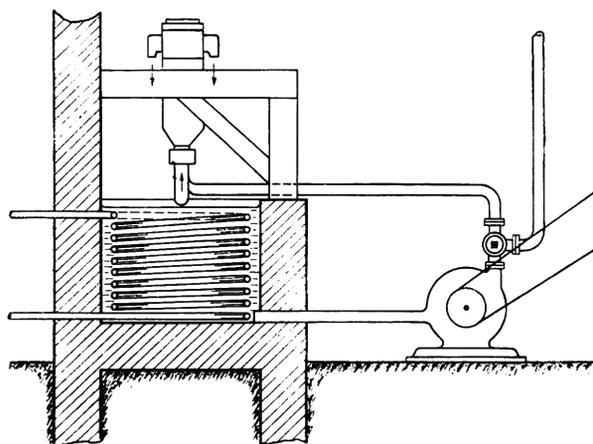


Рис. 29. Электролитический аппарат Кельнера
Fig. 29. The Kellner's electrolytic apparatus

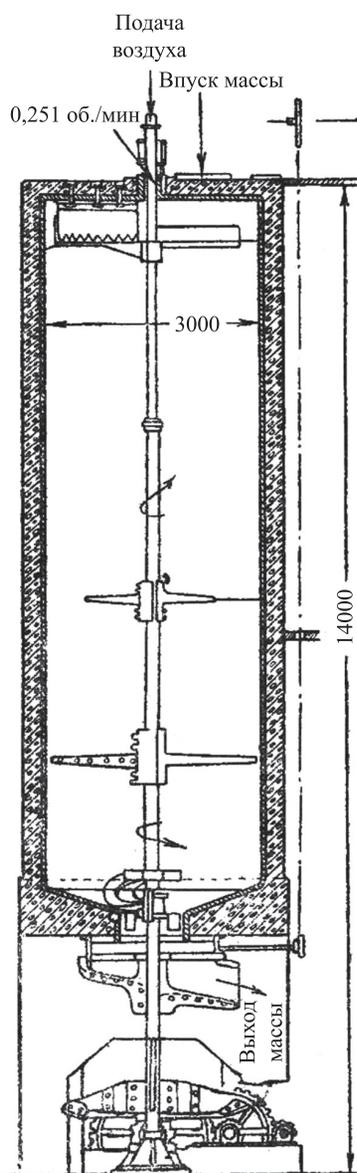


Рис. 30. Башня Торне
Fig. 30. The Torne tower

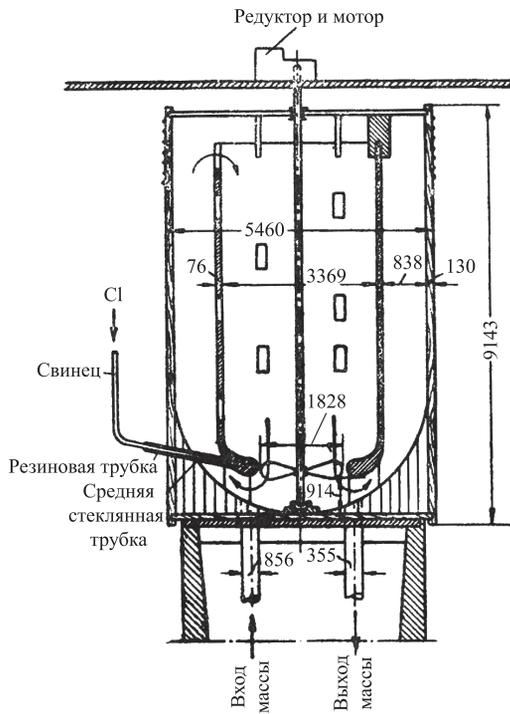


Рис. 31. Башня хлорирования «Бличинг Корпорэйшн»
Fig. 31. «Bleaching Corporation» chlorination tower

Использование газообразного хлора в качестве отбеливающего агента сдерживалось отсутствием коррозионноустойчивых материалов, и только в середине 1930-х годов началась разработка установок с его использованием. Одной из первых таких установок была установка американской фирмы «Бличинг Корпорэйшн» для отбеливания с хлорированием в первой ступени в специальной башне. Башня хлорирования представляла собой железобетонный резервуар, обмурованный керамическими плитками емкостью 180 м³ с внутренней деревянной трубой, занимающей 2/3 объема башни, и пропеллером в нижней ее части для перемещения массы из трубы во внешнее кольцевое пространство башни (рис. 31) [3].

Для хлорирования использовалась масса концентрацией 3,5 %, газообразный хлор подавался в нижнюю часть башни к пропеллеру, а на второй ступени отбеливания гипохлоритом использовались башни Вольфа с концентрацией массы в них 16 %.

В конце 1930-х годов в скандинавских странах получили широкое применение установки непрерывной многоступенчатой отбеливания типа «Камюр» [10]. В СССР они появились только в 1950-е годы и за счет их модернизации современные установки этого типа применяются на многих предприятиях и в настоящее время (рис. 32) [3].

В настоящее время основными отбеливающими агентами в целлюлозном производстве кроме хлора и гипохлорита натрия являются: кислород, диоксид хлора, пероксид водорода и некоторые

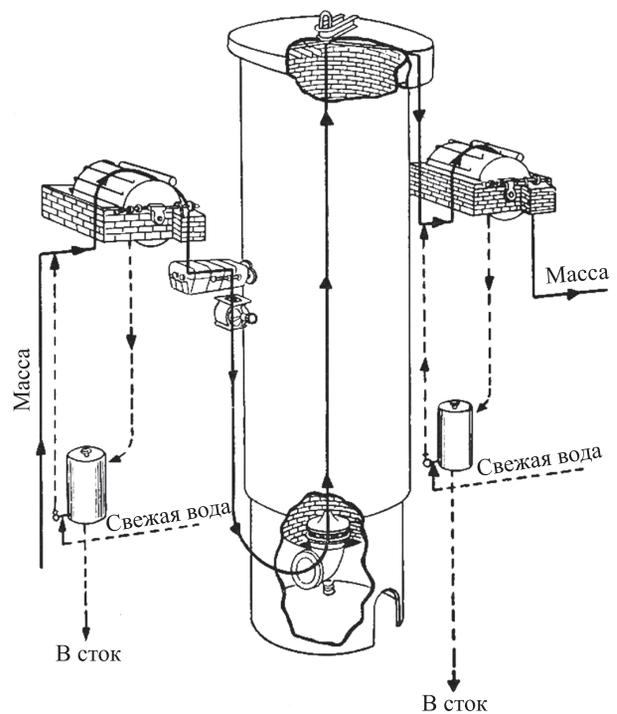


Рис. 32. Отбельная башня типа «Камюр»
Fig. 32. A «Camur»-type bleaching tower

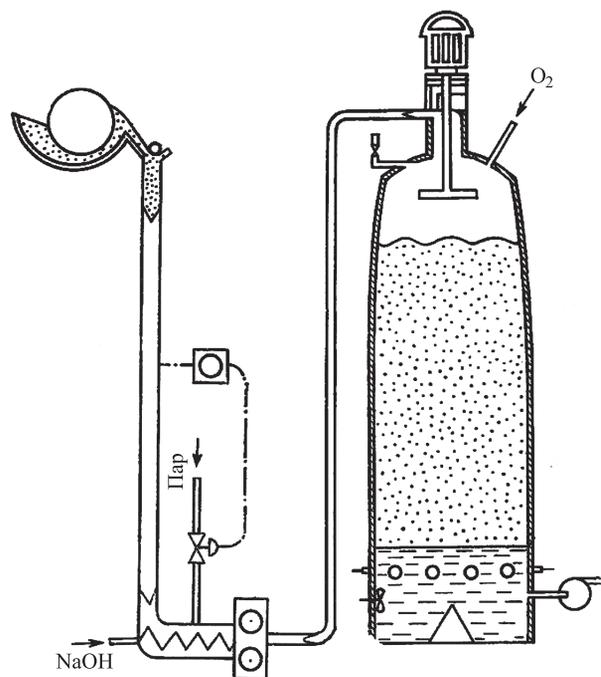


Рис. 33. Установка фирмы «Сунд»
Fig. 33. The device of the «Sund» company

другие редко используемые окислители, в частности озон, оксиды азота (II, III), оксид хлора (I), хлорат натрия, перуксусная кислота и др. [3].

Хлорная известь — смешанный хлорид-гипохлорит кальция, применявшаяся для отбеливания до середины XX в., в настоящее время для этих целей практически не используется.

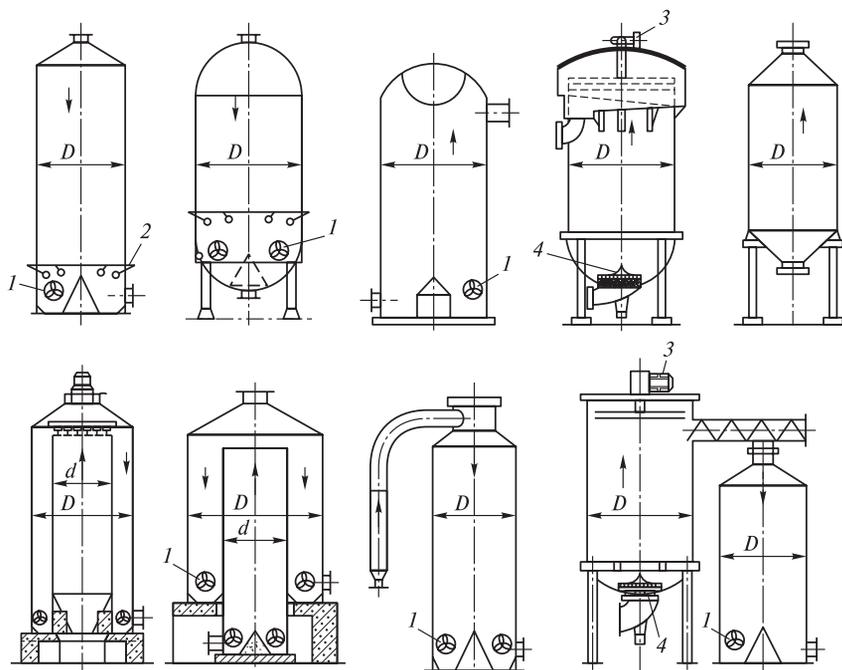


Рис. 34. Типы отбельных башен: 1 — перемешивающее устройство; 2 — разбавительный спрыск; 3 — гребки; 4 — радиальный смеситель

Fig. 34. Types of bleach towers: 1 — mixing device; 2 — dilution spray; 3 — strokes; 4 — radial mixer

Молекулярный кислород в качестве отбеливающего агента в кислородно-щелочном способе отбели (облагораживания) был впервые предложен В.М. Никитиным и Г.Л. Акимом в 1956 г., однако запатентован он был несколько лет спустя А. Робертом и передан для реализации и развития технологии шведским фирмам. Первая промышленная установка, работавшая по этому способу, была введена в эксплуатацию в 1970 г. на южноафриканском заводе «Экстра», а позже появились установки фирмы «Сунд» (рис. 33) [3]. Аналогичная установка отечественного производства была смонтирована на Амурском ЦБК [3].

Использование диоксида хлора в качестве частичного заменителя хлора на первой стадии отбелики получило развитие после завершения работ, проведенных в Университете Торонто в 1960 г. [8].

Получение диоксида хлора осуществлялось непосредственно перед использованием из товарного хлората натрия NaClO_3 по способу Метисона его восстановлением диоксидом серы или по способу Дея и Кестинга восстановлением соляной кислотой в герметичных реакторах из титана. Последний способ реализован в России на установке фирмы «Крепс» на Усть-Илимском ЛПК [11].

Другие агенты отбеливающих составов: жидкий хлор для непосредственного использования и приготовления гипохлорита натрия; гидроксид натрия; жидкий кислород; пероксид водорода

(«пергидроль») — предприятия ЦБК получают от соответствующих производителей.

Аппаратурное оформление отбелики на современных предприятиях чрезвычайно разнообразно. В настоящее время в схемах многоступенчатой комбинированной отбелики используется исключительно непрерывно действующие вертикальные отбельные башни различных типов. По направлению движения массы различают башни с движением массы сверху вниз и снизу вверх, по концентрации массы — работающие при низкой (3...5%), средней (10...12%) и высокой (14...20%) концентрациях, по материалу изготовления башни — из железобетона с облицовкой керамическими плитками, из кислотостойкой стали и из титана. Конструкции отбельных башен очень многообразны в зависимости от процессов, протекающих в них, используемых реагентов и технологических параметров (рис. 34) [11].

Непрерывные процессы отбелики подразумевают объединение реакторов в 6–9-ступенчатую схему с общим объемом до 1500...2000 м³ иногда с включением и ступени «облагораживания» (рис. 35) [12].

Для интенсификации многоступенчатой отбелики в 1970–1980-е гг. предлагались различные методы обработки целлюлоз. Так, в 1980 г. канадские специалисты В. Рапсон и С. Андерсон предложили использовать принцип «динамической отбелики», состоящий в вытеснении одного реагента другим в одной и той же башне

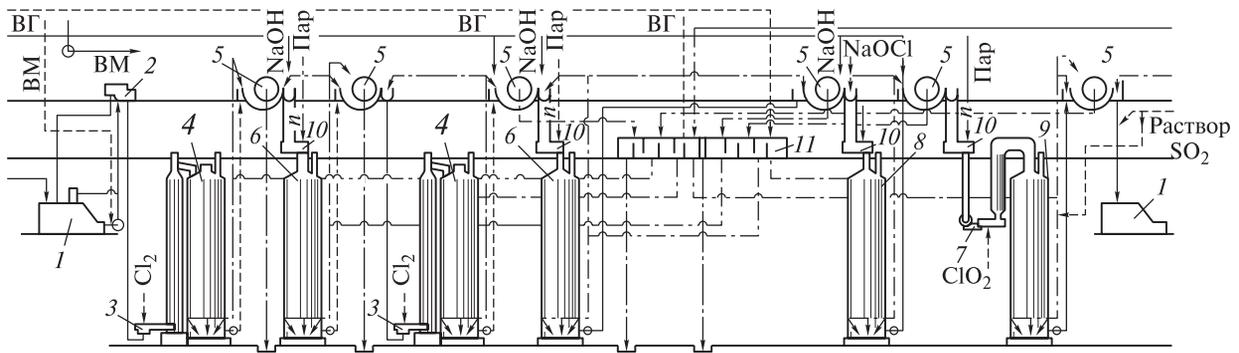


Рис. 35. Шестиступенчатая отбельная установка сульфитной целлюлозы с облагораживанием: 1 — массные бассейны; 2 — регулятор количества массы; 3 — смесители массы с хлором; 4 — башни хлорирования; 5 — вакуум фильтры; 6 — башни щелочения; 7 — смеситель массы с диоксидом хлора; 8 — башня гипохлоритной отбели; 9 — башня отбели диоксидом хлора; 10 — паровые смесители; 11 — бак оборотных вод; ВМ — свежая вода; ВГ — горячая вода

Fig. 35. Six-stage bleaching plant of sulfite cellulose with refinement: 1 — mass pools; 2 — mass quantity regulator; 3 — mass mixers with chlorine; 4 — chlorination towers; 5 — vacuum filters; 6 — alkali towers; 7 — mass mixer with chlorine dioxide; 8 — hypochlorite bleaching tower; 9 — chlorine dioxide bleaching tower; 10 — steam mixers; 11 — recycled water tank; ВМ—fresh water; ВГ—hot water

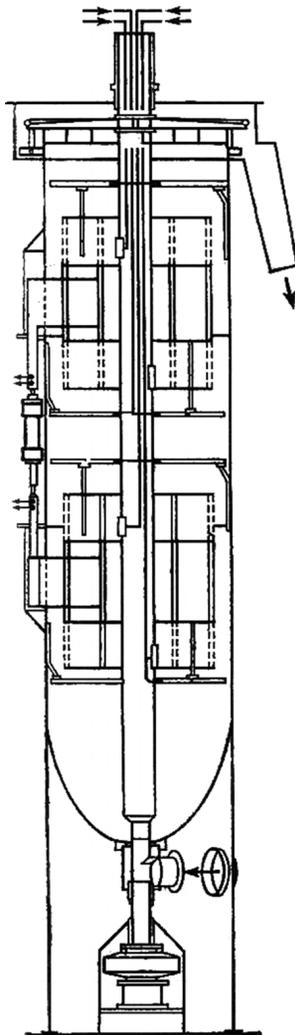


Рис. 36. Установка пятиступенчатой отбели методом вытеснения

Fig. 36. Installation of a five-stage bleaching by the displacement method

без промежуточных промывок массы. Фирма «Камюр» оформила этот проект аппаратурно и смонтировала установку производительностью 600 т в сутки на норвежском заводе «Тафтен» в 1980 году. Аналогичная установка производительностью 950 т в сутки была пущена на канадском заводе «Домбар» в 1987 г. (рис. 36) [12].

На одном из отечественных предприятий сооружена установка для отбели сульфатной целлюлозы из древесины лиственных пород, работающая, по этому же методу вытеснения, производительностью 380 т в сутки [13].

На другом принципе основана работа установки отбели в газовой фазе, подразумевающая использование только газообразных реагентов для отбели и щелочения: хлора, диоксида хлора и аммиака.

В 1975 г. такая установка производительностью 500 т в сутки была запущена на заводе «Вест-Кост» в США, а в 1976 г. аналогичная установка была смонтирована в Украинском научно-исследовательском институте целлюлозно-бумажной промышленности (УкрНИИБ) В.П. Заплатиным производительностью 160 т в сутки. На экспериментальной установке УкрНИИБ были отработаны режимы работы, а НИИЦмаш выполнил ее масштабное проектирование (рис. 37) [12].

В 2010–2020 гг. получила распространение отбели на первой ступени с помощью ферментов для удаления большей части (до 67 %) остаточного лигнина. Впервые промышленное использование ферментов при отбели было проведено в 1989 г. на предприятии «Энтони-Гудцайт». В конце XX и начале XXI вв. ферментативную обработку при отбели целлюлозы применяли шесть предприятий в Финляндии, три завода в Швеции и три в Канаде [2].

4. Облагораживание целлюлозы для химической переработки

Целью облагораживания целлюлозы является увеличение содержания в отбеленных технических целлюлозах α -фракции за счет удаления щелочерастворимых β - и γ -фракций, а также освобождение от остаточных гемицеллюлоз, содержащихся в целлюлозном волокне путем щелочной обработки. Это приближает состав облагороженной древесной целлюлозы к составу хлопкового линтера, традиционно используемого для химической переработки [8].

Исходным сырьем для облагораживания и получения «растворимых целлюлоз» для химической переработки являются сульфитная, сульфитно-щелочная, предгидролизная сульфатная и в некоторых случаях азотно-кислотная целлюлозы [2]. Первая из них должна быть подвергнута щелочному облагораживанию, вторая и третья — частично облагораживаются в зависимости от дальнейшего использования, четвертая — используется для нитрования без облагораживания [12].

Вопрос об облагораживании технических целлюлоз возник в России еще в 90-е годы XIX в. в связи с получением бездымного пороха. Первые промышленные опыты в этом направлении были проведены Ю.К. Орловским по получению облагороженной сульфитной целлюлозы на Усть-Ижорском, а пороха из нее — на Охтинском заводах. Опыты были завершены успешно и полученный порох испытан в полевых условиях. Мощный толчок это производство получило в годы Первой мировой войны, а впоследствии облагороженную целлюлозу стали использовать для получения вискозы и других эфиров целлюлозы [14].

В Советском Союзе научные работы по изучению свойств и методов получения различных облагороженных целлюлоз были начаты в 1928 г. в Ленинграде в рамках комиссии АН СССР под руководством А.Е. Порай-Кошица. В 1931 г. вышел в свет сборник «Облагораживание целлюлозы», в котором были опубликованы результаты, полученные Н.И. Никитиным в Лесотехнической академии (ЛТА) им. С.М. Кирова (ныне Санкт-Петербургский государственный лесотехнический университет им. С.М. Кирова) и С.А. Фотиевым в Ленинградском технологическом институте (ЛТИ) (ныне Санкт-Петербургский государственный технологический институт). В дальнейшем эти опыты были продолжены в Всесоюзном научно-исследовательском институте бумаги (ВНИИБ) (ныне Центральный научно-исследовательский институт бумаги) П.С. Лариным, Н.А. Розенбергом и другими учеными [12].

Беленую сульфитную целлюлозу облагораживали двумя способами: раствором щелочи низкой

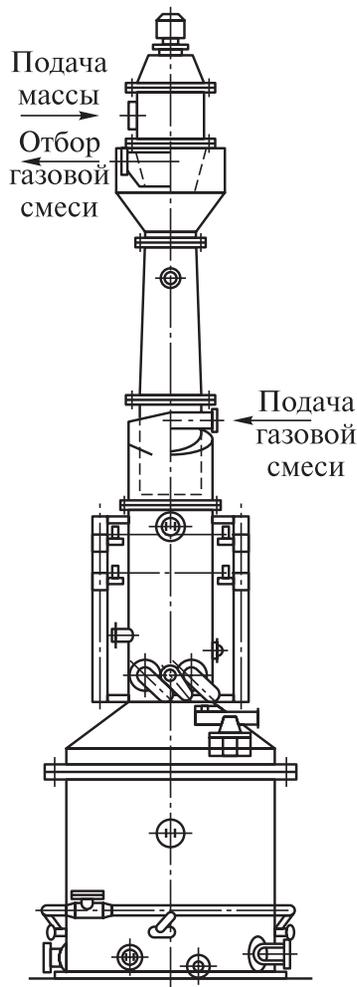


Рис. 37. Установка отбелки в газовой фазе
Fig. 37. Installation of bleaching in the gas phase

концентрации (0,5...1 %) при высокой температуре (более 100 °С) — «горячее облагораживание» и раствором щелочи высокой концентрации (9...12 %) при низкой температуре (около 20 °С) в течение 30...60 мин — «холодное облагораживание» [2].

Предельная степень облагораживания при горячем способе соответствует содержанию α -целлюлозы 96...96,5 %, что достаточно для вискозного производства [15].

Для достижения содержания α -целлюлозы 98 % и более необходимо применять холодное облагораживание в башнях с концентратом массы (рис. 38) [7].

Из сульфатных целлюлоз для химической переработки используется только беленая целлюлоза, полученная с предварительным кислотным или водным предгидролизом. Исследования в этом направлении были начаты Д. Джеймом и У. Морбертом, изучавшими предгидролиз соломы, разбавленной соляной кислотой, проведенные ими в 1938 г. Последующая варка по методу

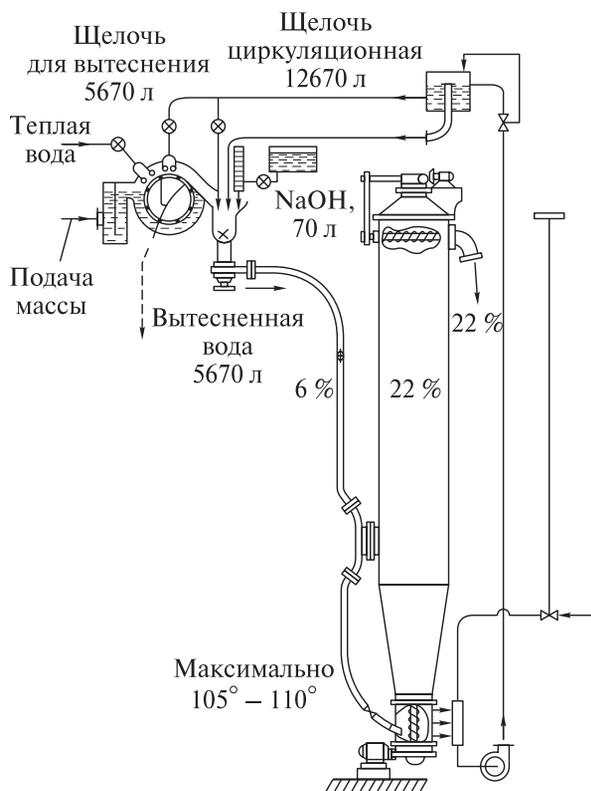


Рис. 38. Башня облагораживания с концентратом массы
Fig. 38. The refinement tower with a mass concentrator

Помимо путем хлорирования и обработки щелочью позволили получить полуфабрикат с содержанием 94...95 % α -целлюлозы и 3,3 % лигнина.

Д. Джейм и М. Шорнинг проводили гидролиз древесины бука 10...30%-й серной кислотой при температуре 90 °С в течение 15...30 мин с растворением до 25 % исходной древесины, а оставшаяся часть подвергалась сульфатной варке с получением полуфабриката с содержанием 88...92 % α -целлюлозы, 3 % пентозанов и 0,2 % лигнина.

Д. Калавер (Франция) в 1938 г. предложил предгидролиз дунайского камыша, содержащего более 2,7 % диоксида кремния, 1,5...2,5 % серной кислоты при температуре 125...140 °С для получения высокосортной сульфатной целлюлозы. По этому методу на заводе искусственной шерсти в г. Виттенберге с предгидролизом соломы 0,5%-й серной кислотой при температуре 130 °С в течение 2 ч была получена сульфатная целлюлоза для химической переработки и 15...20 % низкомолекулярных сахаров. Древесина сосны, осины и березы давали полуфабрикат с содержанием α -целлюлозы 95...97 % и образованием 18, 28, и 31 % низкомолекулярных сахаров соответственно [16].

Отбелку такой целлюлозы стали проводить только после появления в конце 1950-х годов на целлюлозных заводах надежных, выполненных

из титана, установок для производства и применения диоксида хлора [16].

Поскольку для сульфатной варки целлюлозы используется варочный щелок, содержащий 4...5 % гидроксида натрия при температуре 165...170 °С, то естественно, что после отбелки в ней уже содержится 91...95 % α -целлюлозы, и применение горячего щелочного облагораживания малоэффективно. Поэтому начиная с 1980-х годов, сульфатную целлюлозу для бумажного производства облагораживали горячим кислородно-щелочным способом, а сульфатную целлюлозу с предгидролизом, для химической переработки, облагораживали холодным щелочным методом. Технологически холодное облагораживание включают в систему комбинированной отбелки между ступенями гипохлоритной отбелки (рис. 39) [17].

Во всех случаях получения «растворимых целлюлоз» после облагораживания применяют глубокую кислотку диоксидом серы и соляной кислотой для снижения зольности [18].

Все перечисленные методы облагораживания относятся к техническим целлюлозам, полученным из древесины хвойных пород, и используемым для химической переработки. Получение целлюлозы из лиственных пород, предназначенных для химической переработки, в настоящее время в России не производится. Однако такие технологии активно развиваются в Японии, ФРГ и Канаде. Там вискозную целлюлозу получают из древесины каштана, бука, березы и других лиственных пород сульфатным методом с паровым предгидролизом и последующей отбелкой и облагораживанием до содержания α -целлюлозы 93...95 % [18].

В ЛТА им. С.М. Кирова в 1970–1980-е гг. под руководством Н.П. Старостенко были проведены работы по отбелке и облагораживанию сульфитной целлюлозы из березы и осины, используемой для химической переработки. На Красногорском ЦБЗ и Котласском ЦБК были получены опытные партии белой целлюлозы с содержанием α -целлюлозы 92...93 %. После горячего облагораживания содержание α -целлюлозы возросло до 95,5 %, а применение холодно-горячего облагораживания позволило получить целлюлозу с содержанием α -фракций 97,5...98 % с выходом 30 % относительно исходной древесины [19].

Актуальным вопросом настоящего времени является исключение из комплексных технологических схем, комбинированных отбелки и облагораживания, стадии процесса, связанные с использованием хлора и его соединений и переходом на бесхлорную технологию. Основной экологический вред, связанный с использованием молекулярного хлора, заключается в образовании

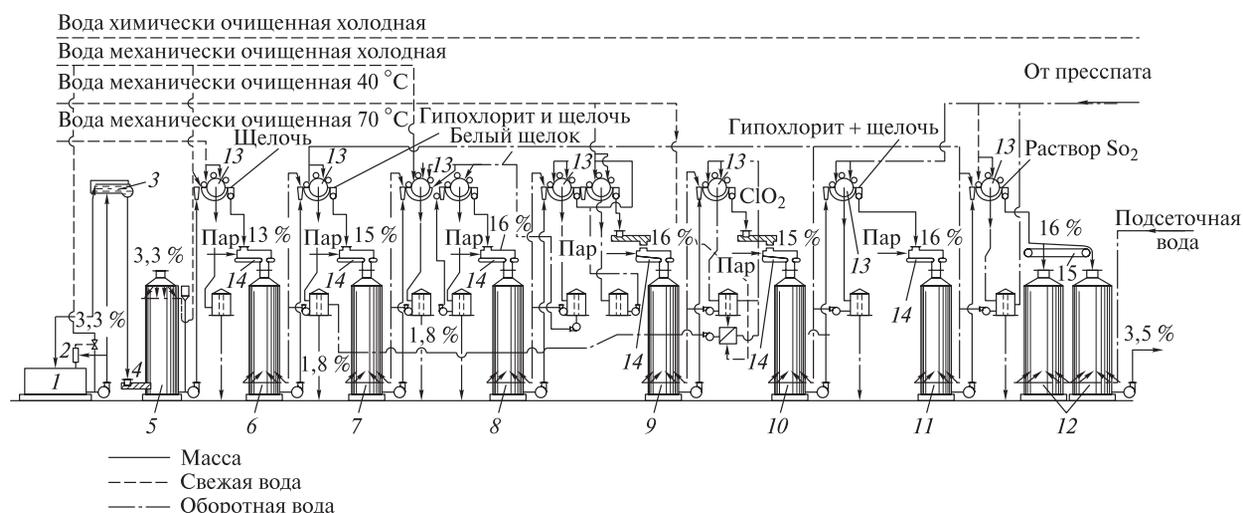


Рис. 39. Восьмиступенчатая установка отбелики и облагораживания предгидролизной сульфатной целлюлозы: 1 — бассейн небеленой целлюлозы; 2 — регулятор концентрации; 3 — регулятор расхода; 4 — смеситель массы с хлором; 5 — башня для хлорирования; 6 — башня для щелочной обработки; 7, 11 — башни для гипохлоритной отбелики; 8 — башня для холодного облагораживания; 9 — башня для горячего облагораживания; 10 — башня для отбелики диоксидом хлора; 12 — башни для кислотки; 13 — вакуум-фильтры; 14 — смесители; 15 — ленточный транспортер

Fig. 39. An eight-stage bleaching and refining unit for prehydrolysis sulfate cellulose: 1 — a pool of unbleached cellulose; 2 — a concentration regulator; 3 — a flow regulator; 4 — a mass mixer with chlorine; 5 — a tower for chlorination; 6 — a tower for alkaline treatment; 7, 11 — towers for hypochlorite bleaching; 8 — a tower for cold refining; 9 — a tower for hot refining; 10 — a tower for bleaching with chlorine dioxide; 12 — towers for acidification; 13 — vacuum filters; 14 — mixers; 15 — a belt conveyor

Т а б л и ц а 1

Производство целлюлозы и полуцеллюлозы ведущими странами мира, тыс. т. в год

Production of cellulose and semi-cellulose by the leading countries of the world, thousand tons per year

Страна	Год производства целлюлозы и полуцеллюлозы							
	1913	1928	1950	1960	1970	1980	1989	1995
США	1400	2350	10613	18887	33599	41714	50775	59680
Канада	166	1680	3007	4899	9383	12460	13195	23050
Япония	25	277	367	2578	7496	8018	8809	11120
СССР	285	121	1100	2282	5110	7500	7950	5070
Китай	—	—	—	—	—	—	6360	13840
Швеция	860	1126	2439	3849	6602	6739	7337	10190
Финляндия	149	281	1193	2512	4511	5885	5916	10090
Франция	277	—	207	710	1293	1410	1727	2490
Норвегия	304	389	481	743	938	576	893	2820
Германия	839	1149	741	1104	1270	1332	1377	1950

сильнейших токсинов — хлордиоксинов и хлорфуранов в составе адсорбированного волокном органического хлора, составляющего до 5 кг на 1000 кг воздушно-сухой целлюлозы. Использование гипохлорита натрия дает меньшее количество подобных соединений, а после применения диоксида хлора образуется мало-токсичные хлориды и хлорфенолы. Поэтому в технологиях в первую очередь пытаются избавиться от стадии хлорирования, заменяя хлор кислородом, озоном, пероксидом водорода. Так, в XXI в. в США более 67 % беленой целлюлозы производится по бесхлорной технологии, в Канаде на нее перешли 89 % предприятий

ЦБП, а скандинавские страны еще в 1994 г. прекратили производство беленой целлюлозы с использованием молекулярного хлора [10].

Подобные мероприятия проводятся и на современных предприятиях Российской Федерации, что позволяет снизить выброс вредных соединений до 0,1...0,2 кг на 1000 кг воздушно-сухой целлюлозы [20].

Заключение

В настоящее время лидерами производства целлюлозы в мире являются США, Канада и Китай. Динамика развития целлюлозной промышленности представлена в табл. 1 [20–22].

Т а б л и ц а 2

Производство целлюлозы и полуцеллюлозы в России, СССР и РФ, тыс. т. в год
Production of cellulose and semi-cellulose in Russia, the USSR and the Russian Federation, thousand tons per year

Вид целлюлозного полуфабриката	Год производства целлюлозы и полуцеллюлозы										
	1900	1913	1928	1940	1950	1960	1970	1974	1989	1995	2000
Целлюлоза, всего	30	285	185	529	1100	2282	5110	6399	7950	5070	4960
Сульфатная	26,4	120	–	150	286,1	535,6	2047	2692	4585	–	–
Сульфитная	3,6	165	–	379,5	770,9	1624	2443	2718	2088	–	–
Полуцеллюлоза	19	64	151	–	–	–	320,3	538	595	–	–

Производство основных целлюлозных полуфабрикатов в РФ в XX в. представлено в табл. 2 [2, 23–30].

Увеличение более чем в 5 раз производства технических целлюлоз в мире во второй половине XX в. требует коренного пересмотра использования сырьевой базы в сторону максимального привлечения вторичного сырья в виде макулатуры, сельскохозяйственных отходов, переработки однолетних растений и использования генно-инженерных методов в создании высокопродуктивных быстрорастущих сортов древесных растений с внедрением их плантационного выращивания.

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.

3. Современные темпы потребления технических целлюлоз и древесных волокнистых полуфабрикатов требуют пересмотра сырьевой политики в сторону максимального использования вторичного сырья и применения методов генной инженерии для увеличения объема естественных источников древесного сырья.

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] Мюллер Ф. Производство бумаги и его оборудование. В 3-х т. М.–Л.: Государственное научно-техническое издательство, 1931. Т. 1, ч. 1. 228 с.

[4] Кононов Г.Н. Дендрохимия. Химия, нанохимия и биогеохимия компонентов клеток тканей и органов древесных растений. В 2-х т. М.: МГУЛ, 2015. Т. 1. 480 с.

[5] Гесс К. Химия целлюлозы и ее спутников / под ред. П. Шорыгина. Л.: Госхимтехиздат, 1934. 620 с.

[6] Никитин В.М. Химия древесины и целлюлозы. М.; Л.: Гослесбумиздат, 1951. 496 с.

[7] Непенин Н.Н. Технология целлюлозы. В 2-х т. М.; Л.: Гослесбумиздат, 1956. Т. 1. 748 с.

[8] Непенин Ю.Н. Технология целлюлозы. В 2-х т. М.: Гослесбумиздат, 1963. Т. 2. 936 с.

[9] Фотиев С.А. Технология бумаги: в 4-х т. М.; Л.: Государственное лесное техническое издательство, 1933. Т. 1. 260 с.

[10] Фотиев С.А. Технология бумаги. В 4-х т. Л.: Гослестехиздат, 1938. Т. 3. 560 с.

[11] Непенин Н.Н. Производство целлюлозы. М.: Гослестехиздат, 1940. 992 с.

[12] Непенин Ю.Н. Технология целлюлозы. В 3-х т. М.: Экология, 1994. Т. 3. 590 с.

[13] Ласкаев П.Х. Производство древесной массы. М.: Лесная пром-сть, 1967. 581 с.

[14] Кононов Г.Н. Древесная масса // Большая Российская энциклопедия. В 35-ти т. М.: БРЭ, 2007. Т. 9. С. 329.

[15] Богоявленский И.И. Технология бумаги. В 2-х т. М.: Гослесбумиздат, 1946. Ч. 1. 258 с.

[16] Фотиев С.А. Краткий курс технологии бумаги. М.: Гослесбумиздат, 1944. 238 с.

[17] Иванов С.М. Технология бумаги. М.–Л.: Гослесбумиздат, 1960. 719 с.

[18] Фляте Д.М. Технология бумаги. М.: Лесная пром-сть, 1988. 440 с.

[19] Бумажная промышленность СССР 1917–1957 гг. / под ред. К.А. Вейнова. М.–Л.: Гослестехиздат, 1958. 148 с.

[20] Фотиев С.А. Технология бумаги. В 4-х т. Л.: Гослестехиздат, 1935. Т. 2. 339 с.

[21] Кононов Г.Н., Веревкин А.Н., Сердюкова Ю.В., Николенко Н.А. Микелиз древесины как метод ее делигнификации // Лесной вестник / Forestry Bulletin, 2018. Т. 22. № 6. С. 110–115.

[22] Никитин В.М. Теоретические основы делигнификации. М.: Лесная пром-сть, 1981. 295 с.

[23] Пен Р.З. Кинетика делигнификации древесины. Красноярск: СибГТУ, 1998. 200 с.

[24] Кононов Г.Н. Дендрохимия. Химия, нанохимия, биогеохимия компонентов клеток тканей и органов древесных растений. В 2-х т. М.: МГУЛ, 2015. Т. 2. С. 481–1112.

- [25] Мюллер Ф. Производство бумаги и его оборудование. В 3-х т. М.; Л.: Государственное научно-техническое изд-во, 1931. Т. 1, ч. 2. 258 с.
- [26] Непенин Н.Н. Технология целлюлозы. В 3-х т. М.: Лесная пром-сть, 1976. Т. 1. 624 с.
- [27] Антропова Е.Б. История целлюлозно-бумажной промышленности России. М.: БумПром, 2008. 231 с.
- [28] Непенин Ю.Н. Технология целлюлозы. В 3-х т. М.: Лесная пром-сть, 1990. Т. 2. 597 с.
- [29] Галаева Н.А. Производство полуцеллюлозы и целлюлозы высокого выхода. М.: Лесная пром-сть, 1970. 318 с.
- [30] Производство полуфабрикатов и бумаги. В 3-х т. / под ред. И.И. Ковалевского. М.: НТСбумпром, 1929. Т. 1, ч. 1–4. 325 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. хим. 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

Жукова Варвара Андреевна — студент МГТУ им. Н.Э. Баумана (Мытищинский филиал), zhukova_v.a@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 AS A WAY TO PRODUCE CELLULOSE. PART II

G.N. Kononov , A.N. Verevkin, Ju.V. Serdyukova, V.A. Zhukova

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

kononov@mgul.ac.ru

The article is devoted to the history of the wood delignification methods development in order to obtain cellulose. Their use in paper production since its inception is briefly described. The technologies of sodium, sulfate and sulfite delignification of wood are described in detail. The development of bleaching and ennobling methods 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 in the cycle “Wood as a chemical raw material. History and modernity”; the first, second and third parts are published in the journal «Forestry 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., Zhukova V.A. *Drevesina kak khimicheskoe syr'e. Istoriya i sovremennost'. IV. Delignifikatsiya drevesiny kak put' polucheniya tsellyulozy. Chast' II* [Wood as chemical raw material. History and modernity. IV. Wood delignification as a way to produce cellulose. Part II]. *Lesnoy vestnik / Forestry Bulletin*, 2022, vol. 26, no. 2, pp. 69–84. DOI: 10.18698/2542-1468-2022-2-69-84

References

- [1] Tollens-El'sner B. *Kratkiy spravochnik po khimii uglevodov: spravochnoe izdanie* [Carbohydrate Chemistry Brief: Reference]. Ed. P.P. Shorygin. Leningrad; Moscow: GONTI, Main Edition of Chemical Literature, 1938, 685 p.
- [2] Pen R.Z. *Tekhnologiya tsellyulozy* [Pulp Technology], in 2 v. Krasnoyarsk: SIBGTU, 2006, v. 1, 343 p; v. 2, 349 p.
- [3] Myuller F. *Proizvodstvo bumagi i ego oborudovanie* [Paper production and its equipment], in 3 v. Moscow; Leningrad: State Scientific and Technical Publishing House, 1931, v. 1, p. 1, 228 p.
- [4] Kononov G.N. *Dendrokimiya. Khimiya, nanokhimiya i biogeokhimiya 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. Moscow: MGUL, 2015, v. 1. 480 p.
- [5] Gess K. *Khimiya tsellyulozy i ee sputnikov* [Pulp chemistry and its satellites]. Ed. P. Shorygina. Leningrad: Goskhimtekhnizdat, 1934, 620 p.
- [6] Nikitin V.M. *Khimiya drevesiny i tsellyulozy* [Chemistry of wood and cellulose]. Moscow; Leningrad: Goslesbumizdat, 1951, 496 p.
- [7] Nepenin N.N. *Tekhnologiya tsellyulozy* [Pulp technology], in 2 v. Moscow; Leningrad: Goslesbumizdat, 1956, v. 1, 748 p.

- [8] Nepenin Yu.N. *Tekhnologiya tsellyulozy* [Pulp technology], in 2 v. Moscow: Goslesbumizdat, 1963, v. 2, 936 p.
- [9] Fotiev S.A. *Tekhnologiya bumagi* [Paper technology], in 4 v. Moscow; Leningrad: State Forest Technical Publishing House, 1933, v. 1, 260 p.
- [10] Fotiev S.A. *Tekhnologiya bumagi* [Paper technology], in 4 v. Leningrad: Goslestekhzdat, 1938, v. 3, 560 p.
- [11] Nepenin N.N. *Proizvodstvo tsellyulozy* [Pulp production]. Moscow: Goslestekhzdat, 1940, 992 p.
- [12] Nepenin Yu.N. *Tekhnologiya tsellyulozy* [Pulp technology], in 3 v. Moscow: Ecology, 1994, v. 3, 590 p.
- [13] Laskaev P.Kh. *Proizvodstvo drevesnoy massy* [Production of wood pulp]. Moscow: Lesnaya promyshlennost' [Forest industry], 1967, 581 p.
- [14] Kononov G.N. *Drevesnaya massa* [Wood Mass]. Big Russian Encyclopedia, in 35 v. Moscow: BRE, 2007, v. 9, pp. 329.
- [15] Bogoyavlenskiy I.I. *Tekhnologiya bumagi* [Paper technology], in 2 v. Moscow: Goslesbumizdat, 1946, p. 1, 258 p.
- [16] Fotiev S.A. *Kratkiy kurs tekhnologii bumagi* [Short course of paper technology]. Moscow: Goslesbumizdat, 1944, 238 p.
- [17] Ivanov S.M. *Tekhnologiya bumagi* [Paper technology]. Moscow; Leningrad: Goslesbumizdat, 1960, 719 p.
- [18] Flate D.M. *Tekhnologiya bumagi* [Paper technology]. Moscow: Lesnaya promyshlennost' [Forest industry], 1988, 440 p.
- [19] *Bumazhnaya promyshlennost' SSSR. 1917-1957 gg.* [Paper industry of the USSR. 1917–1957 years]. Ed. K.A. Veynova. Moscow; Leningrad: Goslembumizdat, 1958, 148 p.
- [20] Fotiev S.A. *Tekhnologiya bumagi* [Paper technology], in 4 v. Leningrad: Goslestekhzdat, 1935, v. 2, 339 p.
- [21] Kononov G.N., Verevkin A.N., Serdyukova Ju.V., Nikolenko N.A. *Mikoliz drevesiny kak metod ee delignifikatsii* [Mikoliz of wood as a method of its delignification]. Forestry Bulletin, 2018, v. 22, no. 6, pp. 110–115.
- [22] Nikitin V.M. *Teoreticheskie osnovy delignifikatsii* [Theoretical foundations of delignification]. Moscow: Lesnaya promyshlennost' [Forest industry], 1981, 295 p.
- [23] Pen R.Z. *Kinetika delignifikatsii drevesiny* [Kinetics of wood delignification]. Krasnoyarsk: Sib. state technol. university, 1998, 200 p.
- [24] Kononov G.N. *Dendrokimiya. Khimiya, nanokhimiya, biogeokhimiya 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. Moscow: MGUL, 2015, v. 2, pp. 481–1112.
- [25] Myuller F. *Proizvodstvo bumagi i ego oborudovanie* [Paper production and its equipment], in 3 v. Moscow; Leningrad: State Scientific and Technical Publishing House, 1931. v. 1, p. 2, 258 p.
- [26] Nepenin N.N. *Tekhnologiya tsellyulozy* [Pulp technology], in 3 v. Moscow: Lesnaya promyshlennost' [Forest industry], 1976, v. 1, 624 p.
- [27] Antropova E.B. *Istoriya tsellyulozno-bumazhnoy promyshlennosti Rossii.* [History of the pulp and paper industry of Russia]. Moscow: BumProm, 2008, 231 p.
- [28] Nepenin Yu.N. *Tekhnologiya tsellyulozy* [Pulp technology], in 3 v. Moscow: Lesnaya promyshlennost' [Forest industry], 1990, v. 2, 597 p.
- [29] 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.
- [30] *Proizvodstvo polufabrikatov i bumagi* [Production of semi-finished products and paper], in 3 v. Ed. I.I. Kovalevsky. Moscow: Ntsbumprom, 1929, v. 1, p. 1–4, 325 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 Julia Vladimirovna — Senior Lecturer of the BMSTU (Mytishchi branch), caf-htdip@mgul.ac.ru

Zhukova Varvara Andreevna — Student of the BMSTU (Mytishchi branch), zhukova_v.a@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

ИМПУЛЬСНАЯ СУШКА ПИЛОМАТЕРИАЛОВ ИЗ ДРЕВЕСИНЫ ГРЕЦКОГО И АМЕРИКАНСКОГО ЧЕРНОГО ОРЕХА В КОНВЕКТИВНЫХ СУШИЛЬНЫХ КАМЕРАХ

С.А. Моисеев¹, Д.И. Деянов¹, А.А. Косарин^{2✉}, Г.Н. Курышов

¹МГТУ им. Н.Э. Баумана (Мытищинский филиал), 141005, Московская обл., г. Мытищи, ул. 1-я Институтская, д. 1
²ООО «Форскад», 121359, г. Москва, ул. Партизанская, д. 40

Kosarin2008@yandex.ru

Представлен обзор литературных источников по физико-механическим свойствам грецкого ореха и области его применения. Проведена опытно-промышленная сушка пиломатериалов из древесины грецкого ореха толщиной 50...60 мм в модернизированных сушильных камерах УРАЛ–72 на ООО «ИНТАР» г. Москва с использованием импульсных режимов сушки. Приведен пример импульсного режима сушки для грецкого ореха толщиной 50...60 мм. Начальная влажность древесины определялась в соответствии с ГОСТ 16558–91. Изложены физико-механические свойства американского черного ореха. Режим сушки американского черного ореха толщиной 32...35 мм включал 9 ступеней. Температура агента сушки — от 49 °С до 83 °С. Степень насыщенности агента сушки — от 79 до 31 %. Импульсная сушка пиломатериалов из древесины американского черного ореха толщиной 32...35 мм проводилась в опытно-промышленной сушильной камере на кафедре «Древесиноведение и технология деревообработки» МГУЛ. Начальная влажность древесины американского черного ореха определялась в соответствии с ГОСТ 16588–91. Осуществлен контроль за текущей влажностью и внутренними напряжениями в древесине грецкого и американского черного ореха при сушке импульсными режимами с помощью метода контрольных образцов. Определение качества высушенных пиломатериалов проводилось в соответствии с «Руководящими техническими материалами по технологии камерной сушки пиломатериалов» и техническим условиям ГОСТ 2695–83. Использование импульсных режимов при сушке пиломатериалов из древесины грецкого и американского черного ореха позволяет экономить от 30 до 50 % электроэнергии.

Ключевые слова: пиломатериалы, древесина грецкого ореха, древесина американского черного ореха, импульсный режим, показатель качества, сушильная камера периодического действия

Ссылка для цитирования: Моисеев С.А., Деянов Д.И., Косарин А.А., Курышов Г.Н. Импульсная сушка пиломатериалов из древесины грецкого и американского черного ореха в конвективных сушильных камерах // Лесной вестник / Forestry Bulletin, 2022. Т. 26. № 2. С. 85–91. DOI: 10.18698/2542-1468-2022-2-85-91

Орех (*Juglans*) относится к роду листопадных деревьев семейства ореховых. Высота дерева составляет от 5 до 50 м при диаметре ствола 0,5...2,0 м. В лесу орех образует прямой стройный ствол с высоко поднятой небольшой округлой кроной. На открытых местах — крона мощная, шаровидная, низко опущенная, кора серая, бурая или почти черная. Корневая система — мощная с заглубляющимся до 3–4 м стержневым корнем и отходящими на 15...20 м в сторону боковыми корнями. Цветет орех в апреле — мае, одновременно с распусканием листьев. Плоды созревают в сентябре — октябре. Продолжительность жизни — до 200 лет (иногда и более). Известно около 20 видов ореха — в России 3 вида: орех грецкий (*J. regia*), орех маньчжурский (*J. mandshurica*) и орех айлантолистный (*J. ailanthifolia*). Произрастает орех в смешанных широколиственных лесах, образуя контактные насаждения [1, 2].

Цель работы

Цель работы — обобщение опыта использования импульсных режимов при сушке твердолиственных пород древесины для разработки режимов сушки пиломатериалов из древесины ореха в конвективных сушильных камерах.

Материалы и методы

Орех — ядровая рассеяно-сосудистая порода с крупными сосудами; заболонь широкая сероватого цвета, нередко ограничена от коричневатого серого ядра. Годовые слои заметны слабо, сердцевинные лучи узкие, слегка заметные. Граница годичного слоя состоит из 3–4 рядов сильно сжатых клеток. Сосуды в ранней части слоя крупные овальные, располагаются поодиночке или группами по 2, по 3 в радиальном направлении; к концу годичного слоя их размеры заметно уменьшаются. Плотность грецкого ореха составляет 594 кг/м³, предел прочности при статическом изгибе 108 МПа, при сжатии вдоль волокон — 55,4 МПа. Древесина ореха хорошо поддается

обработке, полировке, имеет красивый внешний вид — все это определяет область ее применения в столярно-мебельном и токарном производстве. Кроме того, древесина ореха используется при изготовлении лож охотничьих ружей. На стволах грецкого ореха часто образуются наплывы (капы), отличающиеся красивой текстурой. Стоимость пиломатериалов из древесины грецкого ореха составляет до 93 тыс. руб. за 1 м³ [3–7].

Орех американский черный (*J. nigral*) произрастает на обширной территории в пределах Северной Америки — от южной части канадской провинции Онтарио к югу до штата Техас, на востоке — от штата Мэн до Флориды. В благоприятных условиях произрастания черный орех в высоту достигает 30 м, а диаметр ствола — 1,5 м и более. Стволы нередко бывают высотой до 15...18 м. Заболонь черного ореха обычно узкая, бледно-коричневая. Цвет ядра варьируется от интенсивно шоколадно-коричневого до багрово-черного. Древесина отличается ровной, крупной текстурой. Плотность около 660 кг/м³ в сухом состоянии. Умеренно твердая, вязкая и прочная древесина легко поддается механической обработке с получением доброкачественной поверхности, поэтому используется в мебельном и краснодеревном производстве, для изготовления музыкальных инструментов и декоративного облицовочного шпона [8].

Импульсная сушка пиломатериалов из древесины грецкого ореха осуществлялась на ООО «Интар» г. Москва в сушильных камерах периодического действия УРАЛ–72, относящихся к типу бескалориферных электрических сушильных камер с аэродинамическим нагревом. Основным элементом этой камеры является роторный вентилятор. Воздух нагревается в самом вентиляторе, поскольку при вращении ротора механическая энергия эквивалентно превращается в тепловую. Этот же вентилятор осуществляет циркуляцию сушильного агента в камере [9, 10]. Несмотря на простоту конструкций этих камер, они не обеспечивают требуемое качество сушки вследствие нерациональной циркуляции агента сушки, неудовлетворительного регулирования температуры и степени насыщенности сушильного агента, имеют высокую себестоимость сушки в связи со значительным расходом электроэнергии [11].

Модернизация сушильной камеры включала в себя замену роторного вентилятора на два осевых, установку в торцевой части камеры блока трубчатых электронагревателей (ТЭНов), психрометрического узла, системы кондиционирования и автоматического регулирования и управления [12].

Необрезные пиломатериалы из древесины грецкого ореха, подлежащие сушке, имели следующие размеры:

Толщина, мм от 50 до 60
 Длина, м от 2,5 до 4,0
 Начальная влажность, % от 40 до 60

Процесс импульсной сушки грецкого ореха включал в себя технологические операции: прогрев от 6 до 8 ч, многоступенчатую сушку от 6 до 12 ступеней, кондиционирование от 6 до 10 ч. Температура сушильного агента на стадии «работа» в процессе сушки поддерживалась в диапазоне от 40 до 68 °С. Продолжительность стадий «работа» и «пауза» составляла от 2 до 3 ч. В процессе сушки по образцам, закладываемым в сушильный штабель, контролировали текущую влажность древесины. Возникающие напряжения в древесине оценивали по относительной деформации $f(\%)$ зубцов силовых секций, выпиливаемых в момент контроля из контрольных образцов. Всего было высушено около 30 м³ ореховых пиломатериалов по I и II категориям качества и в соответствии с техническими условиями ГОСТ 2695–83 до конечной влажности 6,5...7,3 %. Общая продолжительность сушки составила от 26 до 32 сут [13].

Импульсная сушка пиломатериалов из древесины американского черного ореха проводилась в опытно-экспериментальной сушильной камере кафедры «Древесиноведение и технология деревообработки». Камера имеет поперечно-горизонтальную циркуляцию, осуществляемую осевым вентилятором № 6, расположенным в торцевой части камеры. Там же находится блок ТЭНов, общей мощностью 6 кВт. Заслонки приточно-вытяжных каналов управляются исполнительным механизмом. Температура и степень насыщенности агента сушки контролируется «сухим» и «мокрым» термометрами, выполненными на базе термометров сопротивления ТСМ. Регулирование процесса сушки осуществляется двухканальным измерителем-регулятором температуры ТРМ 202 (компания «ОВЕН», Москва), имеющим интерфейс для связи с ПК. Используемая программа, разработанная компанией «ОВЕН», позволяет вести контроль параметров сушки в режиме on-line и архивировать полученные результаты [14].

Образцы пиломатериалов из древесины американского черного грецкого ореха имели размеры:

Толщина, мм от 32 до 35
 Длина, м от 2,5 до 3,0
 Начальная влажность, % от 25 до 30

Процесс импульсной сушки американского черного ореха включал в себя технологические операции: прогрев от 3 до 4 ч, многоступенчатую сушку от 3 до 5 ступеней и кондиционирование от 4 до 6 ч. Температура сушильного агента на стадии «работа» в процессе сушки поддерживалась в диапазоне от 58 до 74 °С. Продолжительность стадий «работа» и «пауза» составляла от 2 до 3 ч. В процессе сушки осуществлялся контроль за

текущей влажностью и сушильными напряжениями с помощью специальных образцов, закладываемых в штабель. Всего было высушено 7 м³ пиломатериалов до влажности 6–7 %, по I и II категории качества сушки и в соответствии с техническими условиями ГОСТ 2695–83 [13, 15].

Продолжительность сушки составляла от 5 до 7 сут [16]. Стоимость сухих пиломатериалов из древесины американского черного ореха составляет от 240 тыс. руб. за 1 м³ [17].

Следует отметить, что неперменной принадлежностью сушильного цеха или участка сушки является специальная лаборатория. В ней проводится определение начальной, текущей и конечной влажности материала, осуществляется контроль за величиной внутренних напряжений, как во время процесса сушки, так и при дальнейшей обработке древесины, и определяется качество высушиваемого материала. Лаборатория должна быть укомплектована сушильным шкафом, техническими весами с пределом взвешивания до 500 г с точностью до 0,01 г, торговыми весами с пределом взвешивания до 25 кг, влагомерами электрическими различного принципа действия, настольной ленточной пилой с электродвигателем, ртутными лабораторными термометрами, психрометрами, анемометрами (термоанемометрами), технической и нормативной литературой по сушке древесины [11]. Отсутствие на предприятии лаборатории делает не возможным проведение контроля за древесиной в процессе сушки, а также определение качественных показателей высушиваемого материала по отечественным и зарубежным нормативным документам.

Результаты и обсуждение

Результаты исследования физико-механических свойств пиломатериалов из древесины грецкого и американского черного ореха приведены в работах [4–6, 18, 19].

Режим сушки пиломатериалов из древесины американского черного ореха, толщиной 32...35 мм приведены в табл. 1 [19].

В «Руководящих технических материалах по технологии камерной сушки пиломатериалов» приводится трехступенчатый режим сушки ореха, граба, толщиной 50...60 мм (табл. 2) [20].

В ГОСТ 19773–84 приводится пятиступенчатый режим сушки пиломатериалов из древесины дуба, граба и ореха толщиной 50...60 мм (табл. 3) [21].

Семиступенчатое изменение параметров агента сушки для вишни, красного дерева, дуба и ореха толщиной 50...60 мм предусмотрено режимом (табл. 4) [22].

Восьмиступенчатое изменение параметров агента сушки для древесины грецкого ореха приведены в (табл. 5) [23].

Т а б л и ц а 1

Режим сушки пиломатериалов из древесины американского черного ореха толщиной 32...35 мм
Drying mode for American walnut wood with a thickness of 32...35 mm

Средняя влажность, %	Температура агента сушки, °C	Психрометрическая разность, °C	Степень насыщенности, %
>40	49	4	79
40	49	5	75
35	49	8	62
30	53	12	49
25	60	19	32
20	66	22	29
15	72	25	24
Стабилизация	77	24	31
Кондиционирование	83	8	71

Т а б л и ц а 2

Трехступенчатый режим сушки пиломатериалов из древесины ореха, граба, толщиной 50...60 мм
Three-stage mode for drying walnut, hornbeam timber 50...60 mm thick

Средняя влажность древесины, %	Температура агента сушки, °C	Психрометрическая разность, °C, Δt	Степень насыщенности, %
>30	52	4	80
30–20	55	7	68
<20	70	22	31

Т а б л и ц а 3

Пятиступенчатый режим сушки пиломатериалов из древесины дуба, граба и ореха толщиной 50...60 мм
Five-stage mode for drying oak, hornbeam and walnut wood with a thickness of 50...60 mm

Средняя влажность древесины, %	Температура агента сушки, °C	Психрометрическая разность, °C, Δt	Степень насыщенности, %
>35	43	2	89
35–25	45	3	83
25–20	49	4	79
20–15	53	8	64
<15	61	17	38

Приведенные режимы сушки пиломатериалов из древесины грецкого ореха отличаются друг от друга начальной и конечной температурой, степенью насыщенности агента сушки, количеством ступеней и сочетанием пород древесины (табл. 6).

Т а б л и ц а 4

Семиступенчатый режим сушки пиломатериалов из древесины вишни, красного дерева, дуба и ореха толщиной 50...60 мм

Seven-stage drying mode for cherry, mahogany, oak and walnut wood with a thickness of 50...60mm

Средняя влажность древесины, %	Температура агента сушки, °С	Психрометрическая разность, °С, Δt	Степень насыщенности, %
30 и более	40	2	84
25	43	5	73
20	47	8	62
15	54	13	46
12	57	14	43
8	57	15	40
Окончание	57	15	40

Т а б л и ц а 5

Восьмиступенчатый режим сушки пиломатериалов из древесины грецкого ореха толщиной 50...60 мм

Eight-stage mode for drying walnut wood with a thickness of 50...60 mm

Средняя влажность древесины, %	Температура агента сушки, °С	Психрометрическая разность, °С, Δt	Степень насыщенности, %
>50	43,5	3,5	84
50–40	43,5	4,0	78
40–35	43,5	6,5	68
35–30	43,5	11,5	48
30–25	49	17,0	32
25–20	54,5	22,5	22
20–15	60	28,0	15
<15	71	27,5	21

Т а б л и ц а 6

Сводная таблица различий в режимах сушки пиломатериалов из древесины грецкого ореха толщиной от 50 до 60 мм [20–23]

Summary table of differences in the modes of walnut wood with a thickness of 50 to 60 mm [20–23]

Источник	Температура агента сушки, °С		Степень насыщенности		Количество ступеней	Сочетание пород
	начальная	конечная	начальная	конечная		
РТМ [20]	52	70	80	31	3	Граб, ясень
ГОСТ 19773–84 [21]	43	61	89	38	5	Дуб, граб
Кротов Е.Г. [22]	40	57	84	40	7	Красное дерево, дуб, вишня
Dry Kiln Schedules for Commercial Woods [23]	43,5	71	84	21	8	–

Т а б л и ц а 7

Режим импульсной сушки пиломатериалов из древесины американского черного ореха толщиной 32...35 мм

Impulse drying mode for drying American walnut wood with a thickness of 32...35 mm

Продолжительность сушки, сут	Температура агента сушки, °С	Режим сушки, ч		Текущая влажность, %
		«рабо-та»	«пау-за»	
1	58	2	3	30,0
2	62	2	3	26,8
3	64	2	2,5	22,7
4	67	2,5	2,5	17,1
5	70	2,5	2	12,8
6	72	3,0	2	9,4
7	72	3,0	2	6,2

Т а б л и ц а 8

Режим импульсной сушки пиломатериалов из древесины грецкого ореха толщиной 50...60 мм

Mode of impulse drying of walnut wood with a thickness of 50...60 mm

Продолжительность сушки, сут	Температура агента сушки, °С	Режим сушки, ч		Текущая влажность, %
		«рабо-та»	«пау-за»	
1	44	2	3	40,0
8	48	2	3	32,4
11	52	2	3	27,6
14	56	2	2,5	22,1
18	60	2	2,5	16,7
22	63	2	2	10,8
28	63	2	2	7,3

Все режимы сушки, представленные в табл. 1–5, были предназначены для применения в паровых сушильных камерах, которые в настоящее время имеют очень ограниченное применение вследствие высокой стоимости технологического водяного пара или же его отсутствия [24].

Решением задачи качественной сушки пиломатериалов из древесины американского черного ореха толщиной 32...35 мм и пиломатериалов из древесины грецкого ореха толщиной 50...60 мм является использование импульсных режимов сушки, хорошо зарекомендовавших себя при сушке твердолиственных пород древесины [25, 26].

Режим импульсной сушки пиломатериалов из древесины американского черного ореха толщиной 32...35 мм приведен в табл. 7.

Режим импульсной сушки пиломатериалов из древесины грецкого ореха толщиной 50...60 мм приведен в табл. 8.

Выводы

Проведенные опытно-промышленные сушки в сушильных камерах периодического действия пиломатериалов из древесины грецкого ореха толщиной от 50 до 60 мм и американского черного ореха толщиной 32–35 мм импульсными режимами подтвердили возможность использования этих режимов в условиях производства.

Список литературы

- [1] Лесная энциклопедия: в 2-х т. / под ред. Г.И. Воробьева. М.: Сов. энциклопедия, 1985. 563 с.
- [2] Сукачев В.Н. Дендрология с основами геоботаники. М. Гослестехиздат, 1934. 616 с.
- [3] Джонс В.С. Древесные породы мира, их строение и отличительные признаки. М.: Гослестехиздат, 1932. 171 с.
- [4] Перельгин Л.М. Древесиноведение М.: Лесная промышленность, 1964. 284 с.
- [5] Ванин С.И. Древесиноведение. Ленинград: Гослестехиздат, 1940. 460 с.
- [6] Боровиков А.М., Уголев Б.Н. Справочник по древесине. М.: Лесная промышленность, 1989. 296 с.
- [7] Tiu – Торговая площадка России. URL: <https://moskva.tiu.ru/p409773134-oreh-doska-neobreznaya.html> (дата обращения 05.05.2021).
- [8] Древесные породы мира, в 3-х т. Т. 2. М.: Лесная промышленность, 1982. 352 с.

Сведения об авторах

Деянов Дмитрий Игоревич — магистрант МГТУ им. Н.Э. Баумана (Мытищинский филиал), d.dejanov@yandex.ru

Моисеев Сергей Андреевич — магистрант МГТУ им. Н.Э. Баумана (Мытищинский филиал), rf-baf2@mail.ru

Косарин Анатолий Александрович — канд. техн. наук, доцент, заместитель директора ООО «Форсклад», Kosarin2008@yandex.ru

Курышов Григорий Николаевич — канд. техн. наук, доцент

- [9] Сергеев В.В., Меллер В.Л., Серговский П.С. Безкалориферные и конденсационные сушильные камеры. М.: Изд-во ВНИПИЭИлеспром, 1980. 56 с.
- [10] Соколов П.В., Харитонов Г.Н., Добрынин С.В. Лесосушильные камеры. М.: Лесная промышленность, 1980. 216 с.
- [11] Расев А.И. Тепловая обработка и сушка древесины. М.: МГУЛ, 2009. 360 с.
- [12] Расев А.И., Курышов Г.Н. Технология сушки пиломатериалов в аэродинамических камерах // Деревообработка в России, 1998. № 1. С. 3–4.
- [13] ГОСТ 2695–83 Пиломатериалы лиственных пород. Технические условия. М.: Издательство стандартов, 1990. 446 с.
- [14] Косарин А.А., Курышов Г.Н. Определение эффективности импульсной сушки березовых пиломатериалов в опытно-экспериментальной установке. Вестник МГУЛ – Лесной вестник, 2014. № 2. С. 100–104.
- [15] ГОСТ 16588–91 Пилопродукция и деревянные детали. Методы определения влажности. М.: Издательство стандартов, 1990. 446 с.
- [16] Косарин А.А., Курышов Г.Н., Красухина Л.П., Петяйкина Е.Г. Сушка американского ореха импульсными режимами. Научные труды МГУЛ. Вып. 377. М.: МГУЛ, 2015. С.91 – 93.
- [17] WOODSTOCK. Эксперт по дереву [Электронный ресурс] // 2007 – 2021 WOODSTOCK – Материалы ценных пород. URL: <https://www.woodstock.su/prod/pilomaterialy/orekh/catalog.html> (дата обращения 05.05.2021).
- [18] Уголев Б.Н. Древесиноведение с основами лесного товароведения. М.: МГУЛ, 2002. 340 с.
- [19] Denig J., Wengert E.M., Simpson W.T. Dryinghardwood lumber. General technical report FPL; GTR-118. Madison, WI: U.S. Department of Agriculture, Forest Service, Forest Products Laboratory, 2000, 138 p.
- [20] Руководящие технические материалы по технологии камерной сушки пиломатериалов. Архангельск: Изд-во ОАО «Научдревпром — ЦНИИМОД», 2000. 125 с.
- [21] ГОСТ 19773–84 Пиломатериалы хвойных и лиственных пород. Режимы сушки в камерах периодического действия. Пиломатериалы, заготовки, деревянные детали. М.: Издательство стандартов, 1990. 464 с.
- [22] Кротов Е.Г. Технология дерева. М.; Л.: Гослестехиздат, 1934. 450 с.
- [23] Boone R.S., Kozlik C.J., Bois P.J., Wengert E.M. Dry kiln schedules for commercial woods-temperate and tropical. General technical report FPL; GTR-57. Madison, WI: U.S. Department of Agriculture, Forest Service, Forest Products Laboratory, 1988, 158 p.
- [24] Расев А.И. Сушка древесины. СПб.: Лань, 2010. 416 с.
- [25] Косарин А.А. Технология импульсной сушки пиломатериалов: автореф. дис. ... канд. тех. наук, 2012. 22 с.
- [26] Курышов Г.Н., Косарин А.А., Расева Е.А. Способ импульсной сушки пиломатериалов. Пат. №2615854 Российская Федерация. Оpubл. 11.04.2017. Бюл. № 11.

Поступила в редакцию 02.11.2021.

Одобрено после рецензирования 29.11.2021.

Принята к публикации 02.12.2021.

WALNUT AND AMERICAN WALNUT WOOD IMPULSE DRYING IN CONVECTIVE DRYING TUNNELS

S.A. Moiseev¹, D.I. Deyanov¹, A.A. Kosarin^{2✉}, G.N. Kuryshov

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

²ООО «Форклад», 40, Partizanskaya st., 121359, Moscow, Russia

Kosarin2008@yandex.ru

A review of the literature on the physical and mechanical properties of the walnut and the scope of its application is presented. Pilot drying of walnut wood with a thickness of 50...60 mm was carried out in modernized drying chambers using impulse drying modes URAL-72 at INTAR LLC, Moscow. An example of an impulse drying mode for a walnut with a thickness of 50...60 mm is given. The initial moisture content of wood was determined in accordance with GOST 16558–91. The physical and mechanical properties of American walnut are outlined. The drying mode of American walnut 32...35 mm thick included 9 steps. The temperature of the drying agent is from 49 °C to 83 °C. The degree of saturation of the drying agent is from 79 to 31 %. Impulse drying of American walnut wood with a thickness of 32...35 mm was carried out in a pilot drying tunnel at the Department of Wood Science and Woodworking Technology of Moscow State Forest University. The initial moisture content of American walnut wood was determined in accordance with GOST 16588–91. The control over the current moisture content and internal stresses in the wood of walnut and American black walnut during drying in impulse modes was carried out using the method of control samples. Determination of the quality of dried timber was carried out in accordance with the «Guiding technical materials on the technology of tunnel drying of sawn timber» and the technical conditions of GOST 2695–83. The use of impulse modes when drying walnut and American walnut wood allows saving from 30 to 50 % of electricity.

Keywords: timber, walnut wood, American walnut wood, impulse mode, quality indicator, charge dry kiln

Suggested citation: Moiseev S.A., Deyanov D.I., Kosarin A.A., Kuryshov G.N. *Impul'snaya sushka pilomaterialov iz drevesiny gretskogo i amerikanskogo chernogo orekha v konvektivnykh sushil'nykh kamerakh* [Walnut and American walnut wood impulse drying in convective drying tunnels]. *Lesnoy vestnik / Forestry Bulletin*, 2022, vol. 26, no. 2, pp. 85–91. DOI: 10.18698/2542-1468-2022-2-85-91

References

- [1] *Lesnaya entsiklopediya* [Forest encyclopedia], in 2 vol. Ed. G.I. Vorobyov. Moscow: Sovetskaya entsiklopediya [Soviet encyclopedia], 1985, 563 p.
- [2] Sukachev V.N. *Dendrologiya s osnovami lesnoy geobotaniki* [Dendrology with the basics of forest geobotany]. Leningrad: Gosleshtekhizdat [State Forest Technical Publishing], 1934, 616 p.
- [3] Jons V.S. *Drevesnye porody, ikh stroenie i otlichitel'nye priznaki* [Tree species their structure and distinctive features]. Moscow: Gosleshtekhizdat [State Forest Technical Publishing], 1932, 171 p.
- [4] Pereygin L.M. *Drevesinovedenie* [Wood science]. Moscow: Lesnaya promyshlennost' [Timber industry], 1964, 284 p.
- [5] Vanin S.I. *Drevesinovedenie* [Wood science]. Leningrad: Gosleshtekhizdat [State Forest Technical Publishing], 1940, 460 p.
- [6] Borovikov A.M., Ugolev B.N. *Spravochnik po drevesine* [Handbook of wood]. Moscow: Lesnaya promyshlennost' [Timber industry], 1989, 296 p.
- [7] Tiu. Available at: <https://moskva.tiu.ru/p409773134-oreh-doska-neobreznaya.html> (accessed 05.05.2021).
- [8] *Drevesnye porody mira* [Timber species of the world], in 3 v. V. 2. Moscow: Lesnaya promyshlennost' [Timber industry], 1982, 352 p.
- [9] Sergeev V.V., Meller V.L., Sergovskiy P.S. *Bezkalorifernye i kondensatsionnye sushil'nye kamery* [Non-calorifier and condensation drying chambers]. Moscow: VNIPIEI Lesprom, 1980, 56 p.
- [10] Sokolov P.V., Kharitonov G.N., Dobrynin S.V. *Lesosushil'nye kamery* [Timber drying chambers]. Moscow: Lesnaya promyshlennost' [Timber industry], 1980, 216 p.
- [11] Rasev A.I. *Teplovaya obrabotka i sushka drevesiny* [Heat treatment and drying of wood]. Moscow: MSFU, 2009, 360 p.
- [12] Rasev A.I., Kuryshov G.N. *Tekhnologiya sushki pilomaterialov v aerodinamicheskikh kamerakh* [Technology of drying sawn timber in aerodynamic chambers]. *Woodworking in Russia*, 1998, no. 1, pp. 3–4.
- [13] GOST 2695–83 *Pilomaterialy listvennykh porod. Tekhnicheskie usloviya* [Hardwood sawn timber. Technical conditions]. Moscow: Izdatel'stvo standartov [Standards Publishing House], 1990, 446 p.
- [14] Kosarin A.A., Kuryshov G.N. *Opreделение эффективности импульсной сushki березовых пиломатериалов в опытно-экспериментальной установке* [Determination of the efficiency of impulse drying of birch lumber in a pilot plant]. *Moscow state forest university bulletin – Lesnoy vestnik*, 2014, no. 2, pp. 100–104.
- [15] GOST 16588–91 *Piloproduktsiya i derevyannye detali. Metody opredeleniya vlazhnosti* [Sawn products and wooden parts. Moisture determination methods]. Moscow: Izdatel'stvo standartov [Publishing house of standards], 1990, 446 p.
- [16] Kosarin A.A., Kuryshov G.N., Krasukhina L.P., Petyaykina E.G. *Sushka amerikanskogo orekha impul'snymi rezhimami* [Drying of American walnuts by impulse modes]. *Nauchnye trudy MGUL* [Scientific works of MSFU], 2015, iss. 377, pp. 91–93.
- [17] WOODSTOCK *Ekspert po derevu* [Wood expert]. Materials of valuable breeds 2007–2021. Available at: <https://www.woodstock.su/prod/pilomaterialy/orekh/catalog.html> (accessed 05.05.2021).
- [18] Ugolev B.N. *Drevesinovedenie s osnovami lesnogo tovarovedeniya* [Wood science with the basics of forest commodity science]. Moscow: MSFU, 2002, 340 p.

- [19] Denig J., Wengert E.M., Simpson W.T. Dryinghardwood lumber. General technical report FPL; GTR-118. Madison, WI: U.S. Department of Agriculture, Forest Service, Forest Products Laboratory, 2000, 138 p.
- [20] *Rukovodyashchie tekhnicheskie materialy po tekhnologii kamernoy sushki pilomaterialov* [Guiding technical materials on the technology of chamber drying of sawn timber]. Arkhangelsk: Nauchdrevprom-TsNIIMOD, 2000, 125 p.
- [21] GOST 19773–84 *Pilomaterialy khvoynykh i listvennykh porod. Rezhimy sushki v kamerakh periodicheskogo deystviya. Pilomaterialy, zagotovki, derevyannye detali* [Coniferous and deciduous sawn timber. Drying modes in batch chambers. Lumber, blanks, wooden parts]. Moscow: Izdatel'stvo standartov [Publishing house of standards], 1990, 464 p.
- [22] Krotov E.G. *Tekhnologiya dereva* [Wood technology]. Moscow – Leningrad: Gosudarstvennoe lesnoe tekhnicheskoe izdatel'stvo [State forestry technical publishing house], 1934, 450 p.
- [23] Boone R.S., Kozlik C.J., Bois P.J., Wengert E.M. Dry kiln schedules for commercial woods-temperate and tropical. General technical report FPL; GTR-57. Madison, WI: U.S. Department of Agriculture, Forest Service, Forest Products Laboratory, 1988, 158 p.
- [24] Rasev A.I. *Sushka drevesiny* [Drying wood]. Saint Petersburg: Lan', 2010, 416 p.
- [25] Kosarin A.A. *Tekhnologiya impul'snoy sushki pilomaterialov: avtoref. dis. ... kand. tekhn. nauk* [Technology of pulsed drying of lumber: author. Dis. ... Cand. Sci. (Tech.)], 2012, 22 p.
- [26] Kuryshov G.N., Kosarin A.A., Raseva E.A. *Sposob impul'snoy sushki pilomaterialov* [Method of impulse drying of sawn timber]. Pat. no. 2615854. Russian Federation. Publ. 11.04.2017. Bul. no. 11.

Authors' information

Moiseev Sergey Andreevich — Master graduand of the BMSTU (Mytishchi branch), rf-baf2@mail.ru

Deyanov Dmitriy Igorevich — Master graduand of the BMSTU (Mytishchi branch),
d.dejanov@yandex.ru

Kosarin Anatoliy Aleksandrovich✉ — Cand. Sci. (Tech.), Deputy Director of the LTD «Foreklad»,
kosarin2008@yandex.ru

Kuryshov Grigoriy Nikolaevich — Cand. Sci. (Tech.), kuryshov@mgul.ac.ru

Received 02.11.2021.

Approved after review 29.11.2021.

Accepted for publication 02.12.2021.

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

ГИГРОСКОПИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА ДРЕВЕСИНЫ ЛИСТВЕННЫХ ПОРОД

С.Р. Лоскутов^{1✉}, О.А. Шапченкова¹, А.А. Анискина¹, З. Пастори²

¹Институт леса им. В.Н. Сукачева СО РАН — обособленное подразделение ФИЦ КНЦ СО РАН, 660036, г. Красноярск, ул. Академгородок, д. 50/28

²Университет Шопрона, 9400, Венгрия, г. Шопрон, ул. Байчи-Жилински, д. 4

lsg@ksc.krasn.ru

Представлены гигроскопические свойства древесины девяти лиственных пород — дуба, бука, граба, робинии, липы, ясеня, клена, ольхи и осины, произрастающих на территории Венгрии, изученных с помощью изотерм сорбции влаги методами термогравиметрии (ТГ) и дифференциальной сканирующей калориметрии (ДСК). Определены параметры сорбционной системы древесина — вода, рассчитанные по уравнениям Брунауэра — Эмметта — Теллера (БЭТ), Гуггенгейма — Андерсона — де Бура (ГАБ), Френкеля — Холси — Хилла (ФХХ), Цимма — Лундберга (ЦЛ) и уравнением по теории объемного заполнения микропор (ТОЗМ). В рамках этих моделей рассчитаны емкость монослоя, кажущаяся внутренняя удельная поверхность, параметры кластеризации воды в древесине, характеристическая энергия сорбции и др. На основе данных термогравиметрии и четвертой производной контура скорости потери массы при сушке установлен «фракционный состав» гигроскопической влаги. По изоконверсионному методу Озавы — Флинна — Уолла (ОФУ) рассчитана зависимость энергии активации термодесорбции влаги от степени сушки. Энтальпия испарения гигроскопической влаги $\Delta H_{исп}$ определена методом ДСК. На основании комплекса измеренных и рассчитанных параметров системы «древесина — вода» исследованные породы дифференцированы по гигроскопическим свойствам древесины. По величине кажущейся внутренней удельной поверхности древесины (БЭТ, ГАБ) выявлено расположение древесных пород в ряду: липа < робиния < бук < дуб < граб < ясень < ольха < клен < осина, а по величине характеристической энергии сорбции E_c (ТОЗМ) — в ряду: липа < бук < граб < ясень < робиния < дуб < клен < ольха < осина. В этом же ряду определено изменение внутренних напряжений в древесине, поскольку увеличение E_c свидетельствует о возрастании внутренних механических напряжений. Проведен анализ энтальпии испарения ($\Delta H_{исп}$) гигроскопической влаги при неизотермической сушке древесины исследованных пород, который указал на существование трех поддиапазонов влагосодержания: 0 — ~0,04; 0,04 — ~0,08 и >0,08 граммов воды на грамм сухого вещества. С одной стороны, это объединяет породы, с другой — дифференцирует их по энергии связи воды в древесине.

Ключевые слова: древесина, изотермы сорбции, термический анализ

Ссылка для цитирования: Лоскутов С.Р., Шапченкова О.А., Анискина А.А., Пастори З. Гигроскопические свойства древесины лиственных пород // Лесной вестник / Forestry Bulletin, 2022. Т. 26. № 2. С. 92–102. DOI: 10.18698/2542-1468-2022-2-92-102

Гигроскопичность древесины имеет перво-степенное значение, так как влага влияет на многие ее свойства [1]. Сухая древесина будет поглощать водяной пар из окружающей среды до установления динамического равновесия между водосодержанием древесины и относительной влажностью окружающей среды.

Традиционно различают макро-, микро- и суб-микроскопическое строение древесины. Главные макроскопические признаки древесины — заболонь и ядро, годичные слои, сердцевинные лучи, сердцевинные повторения, сосуды и смоляные ходы. Микроструктура — это элементы строения древесины размерами 0,15...0,20 мкм, 2...3 нм и 0,1...0,2 нм [1]. Процесс сорбции (десорбции) влаги происходит на уровне строения клеточной стенки — ее химического состава, молекулярной архитектуры и капиллярной системы.

Вещество клеточных стенок древесины всех видов на 90...99 % состоит из полимерных компонентов: целлюлозы, полиоз и лигнина.

В настоящее время *древесинное вещество* рассматривают как полимерную систему, состоящую из целлюлозной арматуры, «погруженной» в аморфную матрицу, которая образована нецеллюлозными углеводами (полиозами) и лигнином [2–5]. Такой подход согласуется с теорией полимерных композитов и с успехом применяется при анализе свойств древесины.

Существует несколько моделей строения вторичной оболочки клеточных стенок древесины, подробно рассмотренных в монографии [6]. Наиболее полной (адекватной) является следующая модель строения древесинного вещества [7]: полимерная композиция, состоящая из фибриллярной целлюлозной арматуры и аморфной лигнино-углеводной матрицы (ЛУМ). Матрица представляет собой полимерную композицию, сходную по строению с взаимопроникающими полимерными сетками (ВПС) [8], но с тем отличием, что углеводы образуют сетку за счет водородных связей и сил физического взаимодействия, а полиозы с лигнином соединены валентными связями. Сетчатое строение ЛУМ

доказывается аналогией поведения древесины при деструкции валентных связей в матрице и сетчатых полимерах при уменьшении плотности сетки, а также нерастворимость ЛУМ в жидкостях, которые служат растворителями для обоих компонентов сетки.

Наличие микрогетерогенности в строении клеточной стенки, различной фильности (фобности) ее компонентов к молекулам воды, варьирования химического состава и капиллярности разных пород древесины в совокупности оказывают влияние на гигроскопические свойства древесины [9].

Традиционным и широко используемым методом исследования гигроскопичности древесины является метод изотерм сорбции. Модели сорбции влаги древесиной и другими сходными по физико-химическим свойствам материалами можно условно подразделить на две группы: адсорбционные и абсорбционные. В первой группе принимается поверхностная адсорбция сорбтива (воды в данном случае), во второй — поглощение влаги всем объемом древесины. Используемые для исследования сорбции влаги кластерная модель ЦЛ [10–13] и теория объемного заполнения микропор [14–16], строго говоря, нельзя отнести ни к первой, ни ко второй группам.

На основе нашего опыта исследования сорбции влаги древесиной был отобран ряд моделей сорбции и соответствующие им уравнения [17], выбор которых обусловлен тем, что в их основе лежат четкие физические представления о взаимодействии сорбата и сорбента [18].

Отметим, что по некоторым моделям сорбции, применяемым для анализа гигроскопичности древесины, в литературе имеется справедливая, по нашему мнению, критика, связанная с использованием многопараметрических уравнений, эквивалентных математически и дающих разные константы одной и той же сорбционной системы. В частности, это касается так называемых параболических моделей сорбции Гуггенгейма — Андерсона — де Бура, Хейлвуда — Хорробина и Дента [19, 20].

Более детальное обоснование непригодности параболических моделей сорбции приведено в работе [21], в которой дан анализ предсказательных свойств 12 параболических моделей на основе независимо измеренных емкости моно слоя, дифференциальной энтальпии сорбции и других параметров. Значения этих свойств во всех случаях предсказания моделей были далеки от измеренных величин. Анализ часто используемых моделей сорбции этого типа для оценки гигроскопических свойств целлюлозы, древесины, пищевых продуктов, различных полимерных материалов свидетельствует об их неприменимости для оценки предсказываемых физических величин,

характеризующих перечисленные сорбционные системы.

Экспериментальных данных об использовании современных методов термогравиметрии и дифференциальной термогравиметрии (ТГ/ДТГ) и дифференциальной сканирующей калориметрии (ДСК) для анализа сорбционной системы древесины — вода крайне мало [22]. Сопряженного анализа таких данных совместно с результатами использования метода изотерм сорбции влаги древесиной в литературе обнаружить не удалось.

Цель работы

Цель работы — оценка гигроскопичности древесины девяти лиственных пород, произрастающих на территории Венгрии, по результатам использования методов ТГ, ДСК и изотерм сорбции.

Материалы и методы

Исследовали древесину дуба (*Quercus petraea* (Matt.) Liebl.), бука (*Fagus sylvatica* L.), граба (*Carpinus betulus* L.), робинии (*Robinia pseudoacacia* L.), липы (*Tilia platyphyllos* Scop.), ясеня (*Fraxinus ornus* L.), клена (*Acer campestre* L.), ольхи (*Alnus glutinosa* (L.) Gaertn.) и тополя (*Populus tremula* L.), заготовленную в виде дисков в Венгрии (рис. 1)



Рис. 1. Район отбора образцов древесины
Fig. 1. Wood sampling area

Изотермы сорбции паров воды древесиной были получены путем увлажнения воздушно-сухих образцов до равновесного водосодержания u (в граммах воды на грамм сухого вещества) в гигростатах при относительном давлении водяного пара h ($h = P/P_0$, где P — парциальное давление водяного пара, P_0 — давление насыщенных паров воды): 0,10; 0,30; 0,55; 0,65; 0,80; 0,95 и температуре $20,0 \pm 1,5$ °C. Навески образцов (опилки — фракция 0,1...0,3 мм, масса 100÷150 мг) помещали в алюминиевые тарелочки равномерным слоем толщиной 0,5...1,0 мм и устанавливали в гигростатах; повторность опытов — трехкратная.

Т а б л и ц а 1

Модели сорбции, использованные для анализа
List of sorption models (equations) used to analyze water vapor sorption by wood

Название модели	Уравнение
Брунауэра — Эммета — Теллера (БЭТ)	$\frac{h}{u(1-h)} = \frac{1}{u_m C_1} + \frac{h(C_1 - 1)}{u_m C_1}$
Гуггенгейма — Андерсона — де Бура (ГАБ)*	$u = \frac{u_m C K h}{(1 - K h)(1 - K h + C K h)}$
Френкеля — Холси — Хилла (ФХХ)	$\ln\left(\frac{1}{h}\right) = b \left(\frac{u_m}{u}\right)^s$
Цимма — Лундберга (ЦЛ)	$c_1 \cdot G_{II} = (1 - \varphi_1) \left(\frac{\partial \ln \varphi_1}{\partial \ln h}\right)$
Теория объемного заполнения микропор (ТОЗМ)	$u = u_{\max} \cdot \exp\left[-\left(\frac{-\Delta G}{E_c}\right)^n\right]$
<p><i>Примечание.</i> u — равновесное водосодержание древесины; u_m — емкость монослоя [24]; C_1, C и K — константы, с помощью которых можно оценить среднюю теплоту адсорбции в первом адсорбционном слое [18]; s — характеризует (в первом приближении) энергию адсорбции; b — константа [24]; $\varphi_1 \equiv u; [1 + (c_1 \cdot G_{II})]$ — среднее число молекул сорбата в кластере [12, 25]; u_{\max} — водосодержание древесины при $h = 0,95$; ΔG — изменение свободной энергии Гиббса; E_c — характеристическая энергия сорбции; n — ранг уравнения ТОЗМ [16]. * — использование нами уравнений БЭТ и ГАБ, несмотря на справедливую критику их применения, продиктовано широким использованием представленных моделей, с одной стороны, и возможностью сравнения наших данных с результатами исследования сорбции паров воды древесиной иных пород — с другой.</p>	

Т а б л и ц а 2

Параметры сорбции воды древесиной
Moisture sorption parameters of wood

Параметр	Дуб	Бук	Граб	Робиния	Липа	Ясень	Клен	Ольха	Осина
u_m (БЭТ), г/г	0,032	0,027	0,030	0,026	0,023	0,031	0,033	0,034	0,036
C (БЭТ)	26,71	34,63	30,29	36,42	41,58	29,44	26,21	23,33	20,92
$S_{уд}$ (БЭТ), м ² /г	117,3	97,9	107,5	94,2	83,1	113,1	120,5	121,9	128,8
R^2 (БЭТ)	0,999	0,968	0,979	0,997	0,982	0,997	0,989	0,988	0,984
u_m (ГАБ), г/г	0,029	0,031	0,032	0,029	0,026	0,034	0,033	0,032	0,032
C (ГАБ)	8,78	8,19	7,56	9,59	10,44	8,24	7,06	5,45	10,29
$S_{уд}$ (ГАБ), м ² /г	103,7	113,3	114,6	106,5	95,5	121,3	120,3	114,2	116,2
R^2 (ГАБ)	0,906	0,845	0,858	0,921	0,909	0,910	0,851	0,720	0,668
Работа образования монослоя $A = RT \ln(P_0/P)$, кДж/моль	3,30	3,68	3,24	4,16	2,46	3,7	3,43	2,82	2,64
Образование водного кластера при h	0,40	0,29	0,29	0,40	0,31	0,38	0,43	0,37	0,35
Образование водного кластера при $u_{кл}$, граммов воды на грамм сухого вещества	0,045	0,035	0,033	0,038	0,029	0,044	0,049	0,039	0,038
Фрактальная размерность сорбционной «поверхности»	2,12	2,20	2,17	2,17	2,27	2,23	2,22	2,12	2,14
E_c , Дж/моль (ТОЗМ)	884,0	669,6	677,1	816,9	595,4	791,6	940,8	973,4	1074,7
<p><i>Примечание.</i> u_m — емкость монослоя; C — константа, с помощью которой можно оценить среднюю теплоту адсорбции в первом адсорбционном слое; h — относительное давление водяного пара; $u_{кл}$ — водосодержание древесины, при котором начинается образование водного кластера; $S_{уд}$ — кажущаяся удельная внутренняя поверхность; A — работа образования монослоя; E_c — характеристическая энергия сорбции.</p>									

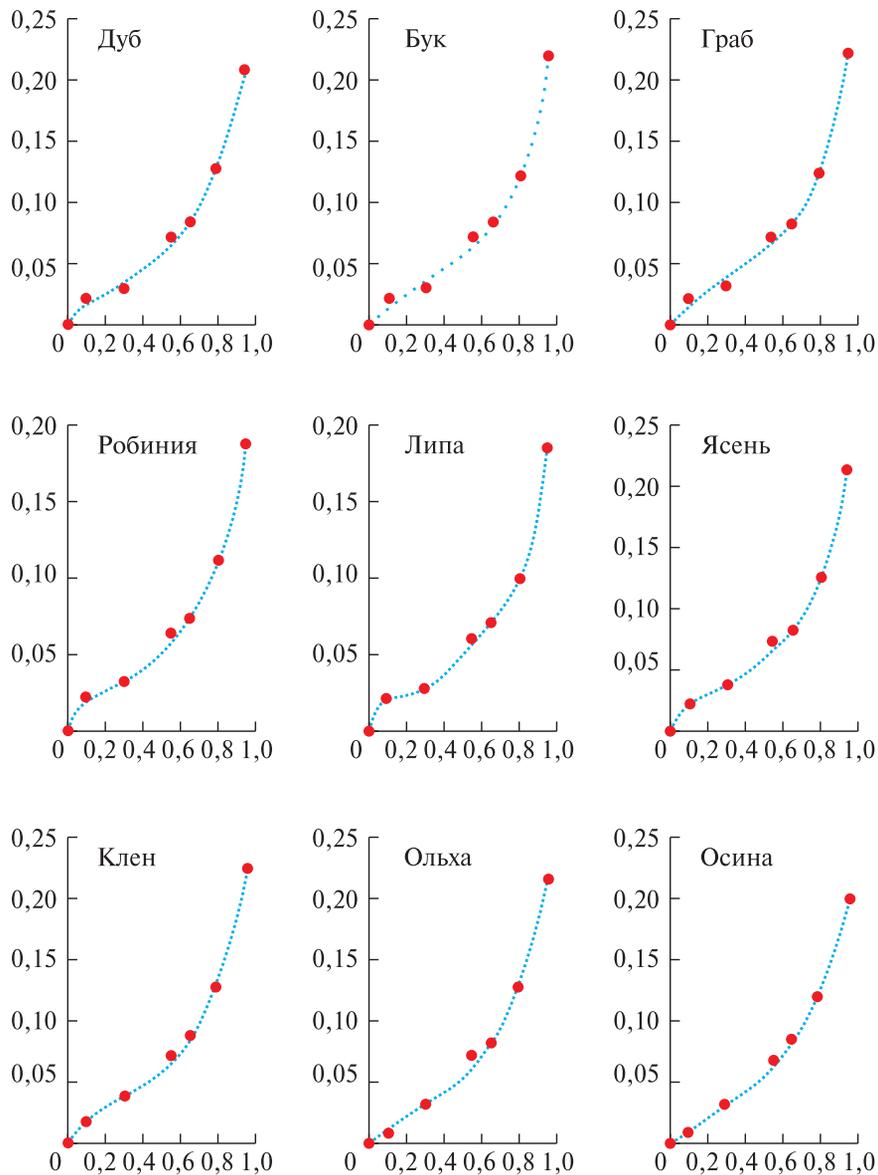


Рис. 2. Изотермы сорбции паров воды древесиной
Fig. 2. Moisture sorption isotherms of wood

Равновесную влажность образцов древесины определяли по ГОСТ 16483.7–71 [23]. Экспериментальные изотермы сорбции аппроксимировались гладкими функциями с помощью TableCurve 2Dv. 5.01, которые использовались в дальнейшем для анализа сорбционных свойств исследованных образцов.

Для расчета параметров сорбционной системы по изотермам сорбции использовали уравнения БЭТ, ГАБ, ФХХ, ЦЛ и ТОЗМ (табл. 1) [17].

Термический анализ (ТГ и ДСК) осуществлен с помощью приборов TG 209 F1 и DSC 204 F1 («NETZSCH», Германия). Образцы древесины, кондиционированные до постоянной влажности при температуре $20,0 \pm 1,5$ °С и относительной влажности воздуха 50...55 %, проанализированы в атмосфере воздуха при

следующих условиях. ТГ: нагрев от 25 до 150 °С при скорости 10 °С/мин; изотермический режим при температуре 150 °С в течение 5 мин; скорость потока защитного и продувочного газов 20 мл/мин; масса образца 4,12...7,29 мг; тигель Al_2O_3 цилиндрической формы. ДСК: нагрев от 25 до 150 °С при скорости 10 °С/мин; изотермический режим при 150 °С в течение 5 мин; скорость потока защитного и продувочного газов 40 мл/мин; масса образца 1,67...2,47 мг; тигель алюминиевый с перфорированной крышкой; эталон — пустой алюминиевый тигель. Взвешивание образцов для анализа проводили на лабораторных весах XFR-125E. Обработку данных термического анализа осуществляли с помощью пакета программ «NETZSCH. Proteus Thermal Analysis. 4.8.4».

Анализ кинетики сушки древесины осуществлен с помощью уравнения ОФУ [28–30]

$$\ln(\beta) \cong \ln\left(\frac{AE_a}{RF(\alpha)}\right) - 5,3305 - 1,052 \frac{E_a}{RT},$$

где α — степень превращения, $\alpha = \frac{m_0 - m}{m_0 - m_f}$;

m_0 — начальная масса образца в термогравиметрическом опыте;

m — текущее значение массы при температуре T ;

m_f — масса образца после завершения процесса сушки;

R — универсальная газовая постоянная;

β — скорость нагрева;

A — константа;

функция $F(\alpha)$ — математическое представление кинетической модели.

Результаты и обсуждение

На рис. 2 представлены изотермы сорбции влаги древесиной лиственных пород. Для всех исследованных пород функции $u = f(h)$ относятся к типу II, по классификации С. Брунауэра, Л. Деминга, У. Деминга и Э. Теллера [24]. Стандартное отклонение при определении водосодержания по всем значениям h и всем древесным породам составило $0,40 \cdot 10^{-3} - 2,55 \cdot 10^{-3}$ граммов воды на один грамм сухого вещества.

В табл. 2 приведены рассчитанные показатели сорбции влаги древесиной разных пород. Содержание влаги в монослое указывает на количество молекул воды, которые прочно адсорбируются сорбционными центрами древесинного вещества [27]. По величине u_m (ГАБ) можно констатировать, что древесина ясеня и клена характеризуется наибольшей доступностью сорбционных центров для

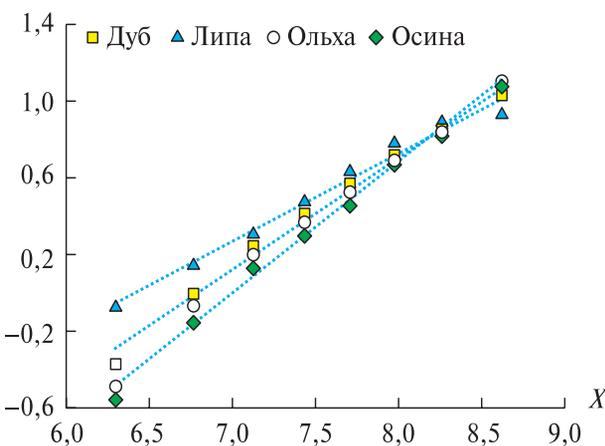


Рис. 3. Изотермы сорбции паров воды древесиной в координатах уравнения ТОЗМ: $X \cong \ln[R \cdot T \cdot \ln(1/h)]$;

$$Y \cong \ln[-\ln(m/m_{h=0,95})] \quad (R = 8,31 \text{ Дж}/(\text{К} \cdot \text{моль}), T = 293 \text{ К})$$

Fig. 3. Isotherms of water vapor sorption by wood in the coordinates of the TVFM equation: $X \cong \ln[R \cdot T \cdot \ln(1/h)]$;

$$Y \cong \ln[-\ln(m/m_{h=0,95})] \quad (R = 8,31 \text{ J}/(\text{K} \cdot \text{mol}), T = 293 \text{ K})$$

влаги, липы — наименьшей. Однако величины емкости монослоя, рассчитанные по БЭТ и ГАБ, слабо коррелируют ($y = 0,4172x + 0,0183$ $R^2 = 0,497$), что указывает на некоторую условность применения этих моделей к системам типа древесина — вода и пригодность каждой лишь для дифференциации (дискриминации) исследуемых сорбционных систем сходной природы. В данном случае «различительная» способность БЭТ лучше, чем ГАБ, так как коэффициент вариации в первом случае больше (13,8 %), чем во втором (8,0 %). Последнее обстоятельство согласуется с тем, что вариация коэффициента дискриминации для уравнения регрессии по ГАБ выше (10,7 %), чем для уравнения БЭТ (1,0 %). То же самое относится, очевидно, и к рассчитываемой по емкости монослоя u_m кажущейся удельной внутренней поверхности $S_{уд}$.

Кластеризация молекул воды в древесине является результатом взаимодействия молекул между собой и с доступными гидроксильными группами в пределах клеточной стенки [12]. Среди изученных пород древесина липы отличалась наиболее низким равновесным водосодержанием (0,029 граммов воды на грамм сухого вещества), при котором начинается образование водного кластера, тогда как для древесины дуба, ясеня и клена зафиксированы сравнительно более высокие значения $u_{кл}$. В целом параметры, характеризующие образование кластеров по модели ЦЛ (см. табл. 1 и 2) являются в данном случае более характеристическими, чем u_m , поскольку коэффициенты вариации h и $u_{кл}$, отвечающие началу образования кластера, составляют 14,3 и 16,1 % соответственно.

Ближние значения фрактальной размерности свидетельствуют об очень сходной геометрии сорбционной «поверхности» разных видов древесин. Это ожидаемый результат, так как все исследованные образцы относятся к лиственным породам.

В качестве примера рассмотрим результаты анализа изотерм сорбции влаги четырьмя породами по модели ТОЗМ (рис. 3). Для сорбционной системы «древесина — вода» этот метод впервые был продемонстрирован в работе С.Р. Лоскутова [16], где проанализированы изотермы сорбции 12 различных пород, полученных разными авторами, а также рассмотрены сорбционные системы с девятью образцами древесины березы после различной химической модификации. Для исследованного набора образцов был установлен так называемый сорбционно-десорбционный инвариант, позволяющий четко отличать натуральную древесину от модифицированной.

Сравнение сорбционных свойств древесины по характеристической энергии сорбции E_c указывает на существенное различие внутренних механических напряжений [17]: наименьшее — у древесины липы, наибольшее — у осины (см. табл. 2).

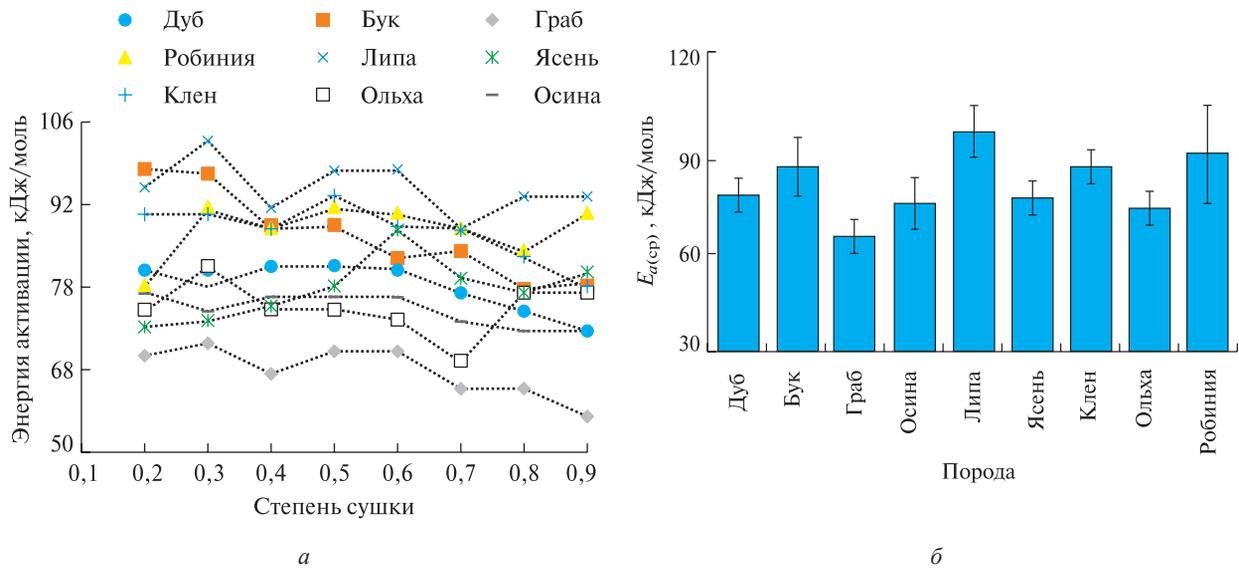


Рис. 4. Зависимость энергии активации дегидратации древесины (испарения гигроскопической влаги) от степени дегидратации (а), средние значения энергии активации десорбции влаги и стандартное отклонение (б); $E_{a(ср)}$ — среднее значение энергии активации десорбции влаги (кДж/моль), рассчитанное по уравнению ОФУ из результатов термогравиметрических экспериментов (рис. 5, а), как это было сделано для древесины лиственницы Гмелина [26]

Fig. 4. Dependence of the activation energy of wood dehydration (evaporation of hygroscopic moisture) on the degree of dehydration (а), average values of the activation energy of moisture desorption and standard deviation (б); $E_{a(ср)}$ is the average value of the activation energy of moisture desorption (kJ/mol) calculated by the OFW equation from the results of thermogravimetric experiments (Fig. 5, а), as it was done for *Larix gmelinii* wood [26]

Неодинаковый химический состав, различия в строении древесины на микроскопическом уровне неизбежно должны отразиться на кинетике неизо-термического удаления гигроскопической влаги. Одним из эффективных путей исследования подобных процессов является термогравиметрия. В основе использования метода ОФУ лежит предположение о том, что скорость реакции при постоянном значении α зависит только от температуры. Энергия активации термического разложения исследуемого образца E_a определяется значением угла наклона прямой, построенной в координатах $\ln \beta - 1/T$. При этом не требуется знание механизма (порядка) реакции.

Расчет изменения энергии активации десорбции влаги в неизо-термических условиях в зависимости от степени потери влаги представлен на рис. 4. Сорбированная вода неоднородна по энергии связи с древесинным веществом, на что также указывают значения параметров C , A , E_c , $E_{a(ср)}$ (см. табл. 2, рис. 4). Другими словами, гигроскопическая влага представлена рядом фракций с различной энергией связи с компонентами древесинного вещества или «различными популяциями сорбированной воды» [17, 21].

Одним из эффективных способов выявления «фракционированности» гигроскопической влаги, по мнению авторов, является анализ контуров ДТГ с неразрешенной структурой при неизо-термической сушке древесины с помощью деконволюции или вторых (четвертых) производных

по аналогии с анализом спектральных данных [31, 32].

На рис. 5 представлены термогравиметрические данные и четвертая производная ДТГ термодесорбции гигроскопической влаги древесины на примере нескольких пород. Используя зависимости $TG = f(t)$ и $\partial^4(DTG)/\partial t^4 = v(t)$ (рис. 5, а и б соответственно), были рассчитаны массовые доли индивидуальных «фракций» связанной воды для древесины каждой породы (рис. 6). Стандартное отклонение при определении потери массы по ТГ-кривым в температурном диапазоне 29...120 °С не превышало 0,59 %. На рис. 7 показан усредненный по всем исследованным породам древесины «фракционный состав» гигроскопической влаги, десорбирующейся в разных температурных интервалах.

Проведенные нами ранее детальные исследования фракционного состава связанной воды на примере древесины лиственницы сибирской с помощью различных физических и физико-химических методов [33, 17] согласуются с представленными результатами в настоящей статье и теоретическими выводами [21].

Важной характеристикой связанной воды в древесине является энтальпия десорбции. В данном случае мы рассматриваем энтальпию испарения влаги $\Delta H_{исп}$ при нагреве древесины с постоянной скоростью в эксперименте по ДСК. На рис. 8 показаны типичные выходные данные по ДСК.

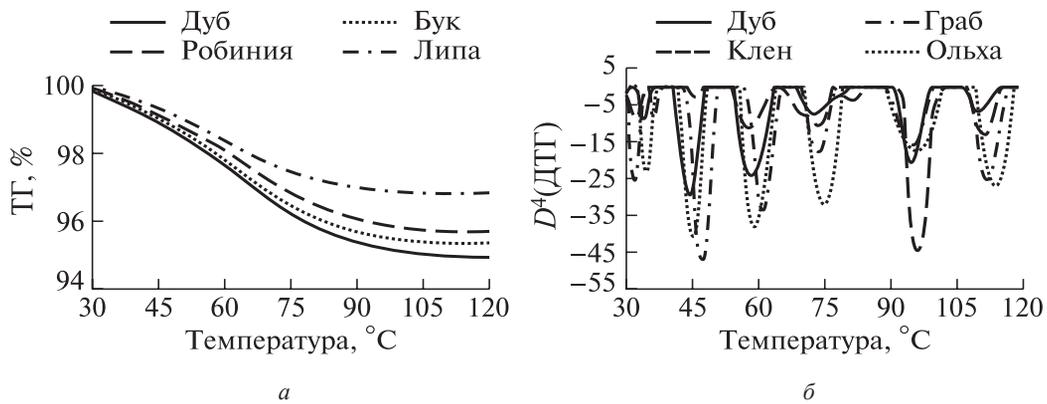


Рис. 5. Термограмма (а) неізотермічної сушки деревини ($TG = f(t)$) при нагріванні со швидкістю $10\text{ }^\circ\text{C}/\text{мин}$ в атмосфері повітря і четверта похідна (б) швидкості втрати маси по температурі ($\partial^4(DTG)/\partial t^4 = v(t)$)

Fig. 5. Thermogram of non-isothermal drying of wood ($TG = f(t)$) at a heating rate of $10\text{ }^\circ\text{C}/\text{min}$ in an air atmosphere (a) and the fourth derivative of the mass loss rate over temperature ($\partial^4(DTG)/\partial t^4 = v(t)$) (b)

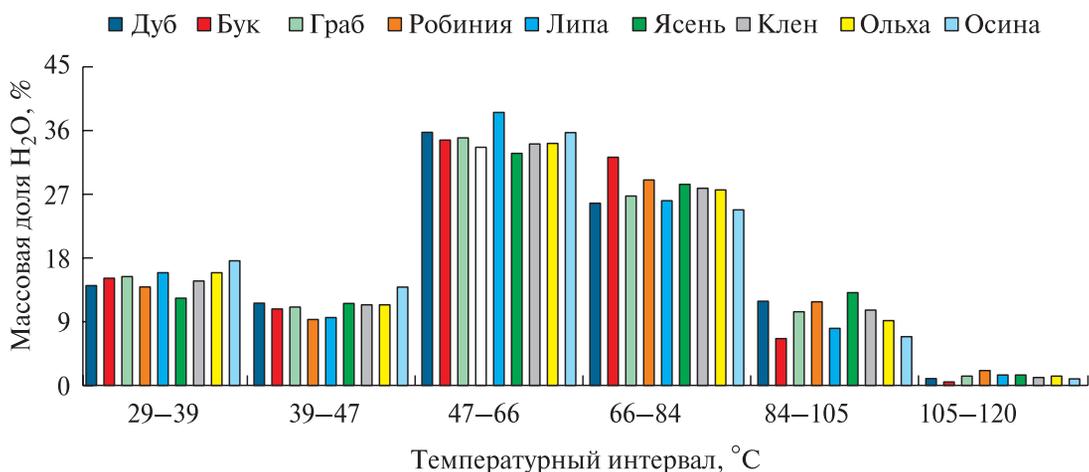


Рис. 6. Массовая доля индивидуальных «фракций» связанной воды, испаряющейся в разных температурных интервалах

Fig. 6. Relative proportion of individual «fractions» of bound water evaporating at different temperature intervals

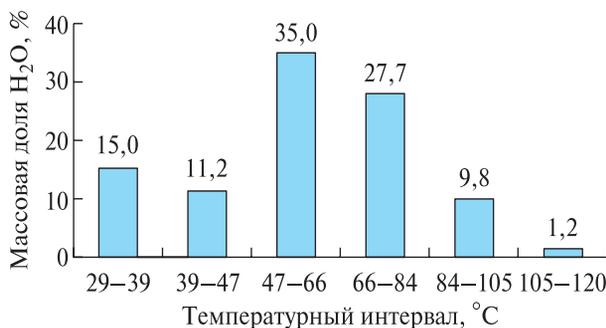


Рис. 7. Усредненная по всем исследованным породам древесины массовая доля «фракций» связанной воды, испаряющейся в разных температурных интервалах при нагревании древесины

Fig. 7. Relative proportion of «fractions» of bound water evaporating at different temperature intervals during wood heating averaged over all studied wood species

Энтальпию испарения воды в условиях программируемого нагрева рассчитывали по площади под кривой теплового потока с помощью пакета программ, прилагаемого к калориметру (рис. 9).

Из рис. 9 видно, что для каждой древесной породы характерен свой ход кривой, свидетель-

ствующий о различии гигроскопических свойств. Вместе с тем, можно выделить три поддиапазона водосодержания, объединяющих древесину разных пород по типу взаимодействия с водой и одновременно дифференцирующих по энергии связи (см. рис. 9, а, б, рис. 10).

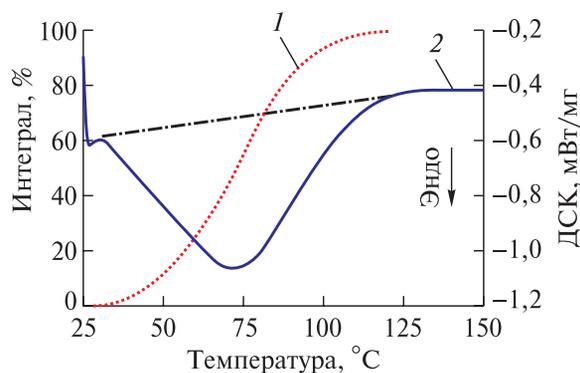


Рис. 8. Термограмма сушки на примере древесины граба: 1 — степень завершения теплопоглощения, 2 — тепловой поток; скорость нагрева — 10 °С/мин до 200 °С в атмосфере воздуха, влажность образца 6,61 %
Fig. 8. Thermogram of drying by the example of hornbeam wood: 1 — degree of heat absorption completion, 2 — heat flow; a heating rate 10 °C/min to 200 °C in an air atmosphere; sample humidity 6,61 %

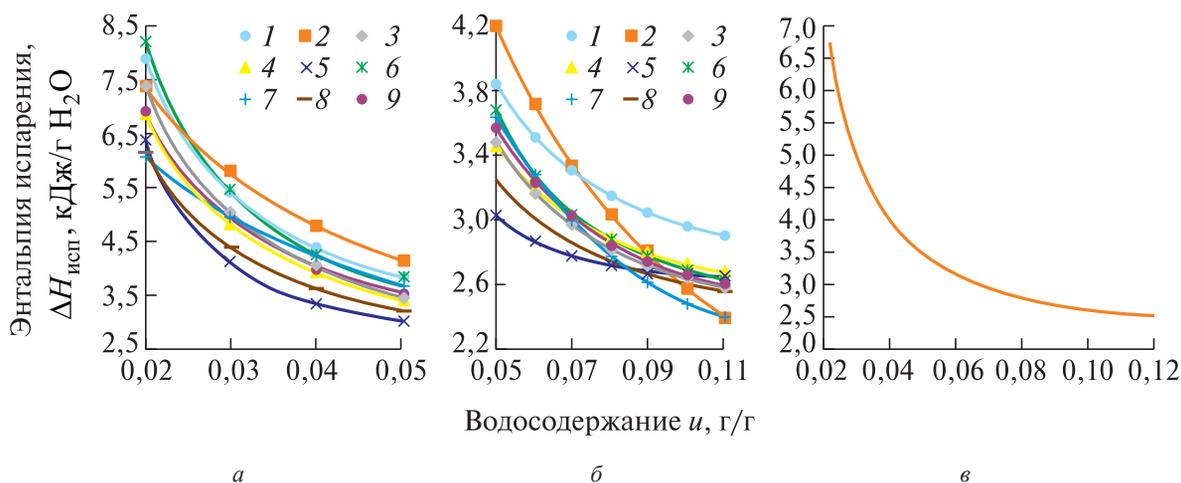


Рис. 9. Зависимость энтальпии испарения связанной воды $\Delta H_{исп}$ от водосодержания u , найденная по результатам ДСК при нагревании древесины от 25 до 150 °С со скоростью 10 °С/мин в атмосфере воздуха (а, б) и усредненная по всем породам зависимость энтальпии испарения связанной воды $\Delta H_{исп}$ от водосодержания u (в): 1 — дуб, 2 — бук, 3 — граб, 4 — робиния, 5 — липа, 6 — ясень, 7 — клен, 8 — ольха, 9 — осина
Fig. 9. Dependence of the enthalpy of evaporation of bound water $\Delta H_{исп}$ on water content u , found by DSC at heating rate of 10 °C/min from 25 to 150 °C in an air atmosphere (а, б) and dependence of the enthalpy of evaporation of bound water $\Delta H_{исп}$ on water content u (в) averaged for all species: 1 — oak; 2 — beech; 3 — hornbeam; 4 — black locust; 5 — lime; 6 — ash; 7 — maple; 8 — alder; 9 — aspen

Выводы

1. Сопряженный анализ гигроскопических свойств древесины девяти лиственных пород с помощью методов изотерм сорбции и термического анализа показал свою эффективность при сравнительном исследовании древесины разных пород.
2. Рассчитанные по уравнениям БЭТ, ГАБ, ФХХ, ЦЛ и ТОЗМ параметры системы древесина — вода позволяют дифференцировать древесные породы по их гигроскопичности.
3. Совместный анализ ТГ-кривых десорбции гигроскопической влаги и четвертых производных контура ДТГ позволил количественно определить «фракционный состав» связанной воды для каждой древесной породы.
4. Использование изоконверсионного метода ОФУ применительно к ТГ-кривым позволило дифференцировать гигроскопичность разных древесных пород с помощью зависимости энергии активации термодесорбции от степени сушки.

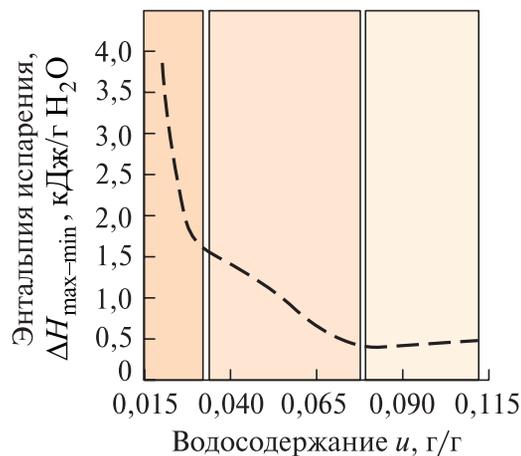


Рис. 10. Зависимость размаха вариации энтальпии испарения $\Delta H_{max-min}$ по всем образцам древесины от водосодержания u
Fig. 10. Dependence of the variation range of the enthalpy of evaporation $\Delta H_{max-min}$ for all wood samples on water content u

5. Количественная характеристика гигроскопических свойств древесины ряда лиственных пород может быть востребована древесиноведами, работающими в различных научных направлениях по изучению древесины, а также инженерами-технологами, занимающимися разработкой новых процессов сушки.

Исследование проведено в рамках Соглашения: «Cooperation agreement on academic and research between Sukachev Institute of Forest SB RAS, Federal Research Centre «Krasnoyarsk Science Centre SB RAS and University of Sopron»

В исследовании были использованы аналитические приборы и оборудование Красноярского регионального центра коллективного пользования ФИЦ КНЦ СО РАН.

Список литературы

- [1] Уголев Б.Н. Древесиноведение с основами лесного товароведения. М.: МГУЛ, 2001. 340 с.
- [2] Björkman A. Studies on solid wood. I. Comprehension of the natural composite wood // *Cellul. Chem. Technol.*, 1968, v. 22, no.2, pp. 245–254.
- [3] Frey-Wyssling A. The ultrastructure of wood // *Wood Sci. Technol.*, 1968, v. 2, no. 2, pp. 73–83.
- [4] Erins P., Cinite V., Gravitis J. Wood as a multicomponent, crosslinked polymersystem // *Appl. Polym. Symp.*, 1976, no. 26, pp. 1117–1138.
- [5] Эриньш П.П. Строение и свойства древесины как многокомпонентной полимерной системы // *Химия древесины*, 1977. № 1. С. 8–25.
- [6] Фенгел Д., Вегенер Г. Древесина (химия, ультраструктура, реакции). М.: Лесн. пром-сть, 1988. 512 с.
- [7] Эриньш П.П. Исследование строения и деструкции лигноуглеводной матрицы древесины: автореф. дис. ... д-ра хим. наук: 05.81.03. Рига, 1978. 48 с.
- [8] Сперлинг Л. Взаимопроникающие полимерные сетки и аналогичные материалы. М.: Мир, 1984. 327 с.
- [9] Врублевская В.И., Матусевич В.О., Кузнецова В.В. Обоснование механизма взаимодействия компонентов древесины с влагой // *ИВУЗ Лесной журнал*, 2017. № 3. С. 152–163.
- [10] Hartley I.D., Kamke F.A., Peemoeller H. Cluster theory for water sorption in wood // *Wood Sci. Technol.*, 1992, v. 26, no. 2, pp. 83–99.
- [11] Hartley I.D., Avramidis S. Analysis of the wood sorption isotherm using clustering theory // *Holzforschung*, 1993, v. 47, no. 2, pp. 163–167.
- [12] Rawat S.P.S., Khali D.P. Clustering of water molecules during adsorption of water in wood // *J. Polym. Sci. Part B: Polymer Physics*, 1998, v. 36, iss. 4, pp. 665–671.
- [13] Лоскутов С.Р., Анискина А.А., Шапченкова О.А., Тютюкова Е.А. Связанная вода в древесине лесообразующих пород Сибири: термический анализ и сорбция // *Сибирский лесной журнал*, 2019. № 3. С. 26–32.
- [14] Гребенников С.Ф., Серпинский В.В. О некоторых свойствах уравнения теории объемного заполнения микропор при низких значениях характеристической энергии адсорбции // *Сорбция и хроматография*. М.: Наука, 1979. С. 5–8.
- [15] Гребенников С.Ф., Гребенникова О.Д., Серпинский В.В. О применении уравнения теории объемного заполнения микропор к сорбции паров на набухающих полимерных сорбентах // *Известия АН СССР. Сер. Химия*, 1980. № 2. С. 453–456.
- [16] Loskutov S.R. Analysis of the wood sorption isotherm using the theory of micropore volume filling // *Holzforschung*, 2000, v. 54, iss. 3, pp. 301–304.
- [17] Лоскутов С.Р. Взаимодействие древесины с физически активными низкомолекулярными веществами. Новосибирск: Издательство СО РАН, 2004. 171 с.
- [18] Адамсон А. Физическая химия поверхностей. М.: Мир, 1979. 568 с.
- [19] Dent R.W. A multilayer theory for gas sorption. I. Sorption of a single gas // *Textile Res. J.*, 1977, v. 47, no. 1, pp. 145–152.
- [20] Bratasz Ł., Kozłowska A., Kozłowski R. Analysis of water adsorption by wood using the Guggenheim-Anderson-de Boer equation // *Eur. J. Wood Prod.*, 2012, v. 70, pp. 445–451. DOI 10.1007/s00107-011-0571-x
- [21] Thybring E.E., Boardman C.R., Zelinka S.L., Glass S.V. Common sorption isotherm models are not physically valid for water in wood // *Colloids and Surfaces A: Physicochemical and Engineering Aspects*, 2021, v. 627.
- [22] Лоскутов С.Р., Миронов П.В., Левин Э.Д. Водоудерживающие свойства вегетативных органов и тканей лиственницы сибирской // *ИВУЗ Лесной журнал*, 1984. № 1. С. 98–102.
- [23] ГОСТ 16483.7–71. Древесина. Методы определения влажности. М.: Стандартиформ, 2006. 3 с.
- [24] Грег С., Синг К. Адсорбция, удельная поверхность, пористость. М.: Мир, 1984. 310 с.
- [25] Davis E.M., Elabd Y.A. Water clustering in glassy polymers // *J. Phys. Chem. B.*, 2013, v. 117, no. 36, pp. 10629–10640.
- [26] Tyutkova E.A., Loskutov S.R., Shashkin A.V., Benkova V.E. Thermal analysis of earlywood and latewood of larch (*Larix gmelinii* (Rupr.) Rupr.) found along the Polar tree line: Correlation of wood destruction values with climatic factors // *J. of Thermal Analysis and Calorimetry*, 2017, v. 130, no. 3, pp. 1391–1397.
- [27] Oliveira G.H.H., Corrêa P.C., Santos E.S., Treto P.C., Diniz M.D.M.S. Evaluation of thermodynamics properties using GAB model to describe the desorption process cocoa beans // *International J. of Food Science & Technology*, 2011, v. 46, pp. 2077–2084.
- [28] Ozawa T. A new method of analyzing thermogravimetric data // *Chem. Soc. Jpn.*, 1965, vol. 38, no. 11, pp. 1881–1886.
- [29] Mamleev V., Bourbigot S., Le Bras M., Lefebvre J. Three model-free methods for calculation of activation energy in TG // *J. Therm. Anal. Calorim.*, 2004, v. 78, pp. 1009–1027.
- [30] Petrunina E.A., Shapchenkova O.A., Loskutov S.R. Physico-chemical parameters of Siberian larch (*Larix sibirica*) bark extracted with water-amino-alcoholic extractants // *Khimija Rastitel'nogo Syr'ja*, 2021, no. 2, pp. 103–107. DOI: 10.14258/jcprm.2021028340.
- [31] Baldassarre M., Li C., Eremina N., Goormaghtigh E., Barth A. Simultaneous fitting of absorption spectra and their second derivatives for an improved analysis of protein infrared spectra // *Molecules*, 2015, v. 20, pp. 12599–12622. DOI:10.3390/molecules200712599
- [32] Усольцев Д.А., Ситникова В.Е., Носенко Т.Н., Олехнович Р.О., Успенская М.В. Сравнение методик расчета вторичной структуры белков на основе деконволюции инфракрасных спектров // *Научно-технический вестник информационных технологий механики и оптики*, 2019. Т. 19. № 4. С. 586–503.
- [33] Колосовская Е.А., Лоскутов С.Р., Чудинов Б.С. Физические основы взаимодействия древесины с водой. Новосибирск: Наука, 1989. 216 с.

Сведения об авторах

Лоскутов Сергей Реджинальдович [✉] — д-р хим. наук, академик IAWS, зав. лабораторией физ.-хим. биологии древесных растений, Институт леса им. В.Н. Сукачева СО РАН — обособленное подразделение ФИЦ КНЦ СО РАН, lsr@ksc.krasn.ru

Шапченкова Ольга Александровна — канд. биол. наук, ст. науч. сотр., Институт леса им. В.Н. Сукачева СО РАН — обособленное подразделение ФИЦ КНЦ СО РАН, shapchenkova@mail.ru

Анискина Антонина Александровна — науч. сотр., Институт леса им. В.Н. Сукачева СО РАН — обособленное подразделение ФИЦ КНЦ СО РАН, aniskina_a@ksc.krasn.ru

Золтан Пастори — д-р наук в области науки и технологии древесины, директор Инновационного центра, Университет Шопрона, pasztory.zoltan@uni-sopron.hu

Поступила в редакцию 08.11.2021.

Одобрено после рецензирования 19.11.2021.

Принята к публикации 12.12.2021.

HYGROSCOPIC PROPERTIES OF HARDWOODS

S.R. Loskutov^{1✉}, O.A. Shapchenkova¹, A.A. Aniskina¹, Z. Pásztor²

¹Sukachev Institute of Forest SB RAS, Federal Research Center «Krasnoyarsk Science Center» SB RAS, 50/28, Akademgorodok, 660036, Krasnoyarsk, Russia

²University of Sopron, 4, Bajcsy-Zsilinszky st., 9400, Sopron, Hungary

lsr@ksc.krasn.ru

Hygroscopic properties of nine hardwoods from Hungary were studied by moisture sorption isotherms, methods of thermogravimetry (TG) and differential scanning calorimetry (DSC). The studied wood species included oak, beech, hornbeam, black locust, lime, ash, maple, alder, and aspen. The parameters of the wood — water sorption system were calculated using the equations of Brunauer — Emmett — Teller (BET), Guggenheim — Anderson — de Boer (GAB), Frenkel — Halsey — Hill (FHH), Zimm — Lundberg (ZL), and the theory of the volume filling of micropores (TVFM). Within the frameworks of these models, the monolayer capacity, the apparent specific surface area, the parameters of clustering of water in wood, the characteristic energy of adsorption, and other parameters were calculated. Based on the data of TG and the fourth derivative of the mass loss rate contour during drying, the «fractional composition» of hygroscopic moisture was established. According to the Ozawa — Flynn — Wall isoconversion method, the dependence of the activation energy of moisture thermal desorption on the degree of drying was calculated. The enthalpy of vaporization of hygroscopic moisture ΔH_{vap} was measured using DSC. The complex of measured and calculated parameters of the wood — water system made it possible to differentiate the studied hardwoods regarding the hygroscopic properties of wood. According to the value of the apparent specific surface area (BET, GAB) the wood species found to be in the following order: lime < black locust < beech < oak < hornbeam < ash < alder < maple < aspen. Hardwoods were ranked as follows by the value of the characteristic energy of adsorption E_c (TVFM): lime < beech < hornbeam < ash < black locust < oak < maple < alder < aspen. The intrinsic stresses in wood change in the same row as E_c . An increase in E_c indicates an increase in intrinsic mechanical stresses. Analysis of the enthalpy of vaporization of hygroscopic moisture during non-isothermal drying of wood revealed three sub-ranges of moisture content (0 — ~0,04; 0,04 — ~0,08 and > 0,08 g H₂O/g dry weight). This, on the one hand, «unites» the wood species, on the other, differentiates them by the bonding energy of water in wood.

Keywords: wood, sorption isotherms, thermal analysis

Suggested citation: Loskutov S.R., Shapchenkova O.A., Aniskina A.A., Pásztor Z. *Gigroskopicheskie svoystva drevesiny listvennykh porod* [Hygroscopic properties of hardwoods]. *Lesnoy vestnik / Forestry Bulletin*, 2022, vol. 26, no. 2, pp. 92–102. DOI: 10.18698/2542-1468-2022-2-92-102

References

- [1] Ugolev B.N. *Drevesinovedenie s osnovami lesnogo tovarovedeniya* [Wood science with the basics of forest commodity science]. Moscow: MSFU, 2001, 340 p.
- [2] Björkman A. Studies on solid wood. I. Comprehension of the natural composite wood. *Cellul. Chem. Technol.*, 1968, v. 22, no. 2, pp. 245–254.
- [3] Frey-Wyssling A. The ultrastructure of wood. *Wood Sci. Technol.*, 1968, v. 2, no. 2, pp. 73–83.
- [4] Erins P., Cinite V., Gravitis J. Wood as a multicomponent, crosslinked polymersystem. *Appl. Polym. Symp.*, 1976, no. 26, pp. 1117–1138.
- [5] Erin'sh P.P. *Stroenie i svoystva drevesiny kak mnogokomponentnoy polimernoy sistemy* [Structure and properties of wood as a multicomponent polymer system]. *Khimiya drevesiny (Wood chemistry)*, 1977, no. 1, pp. 8–25.
- [6] Fengel D., Vegener G. *Drevesina (khimiya, ul'trastruktura, reaktsii)* [Wood (chemistry, ultrastructure, reactions)]. Moscow: Lesn. prom-st' [Forestry], 1988, 512 p.
- [7] Erin'sh P.P. *Issledovanie stroeniya i destruktсии lignouglevodnoy matritsy drevesiny* Avtoref. diss. ... dokt. khim. nauk [Study of the structure and degradation of the lignocarbhydrate matrix of wood]. Dis. Cand. Sci. [Chemical] Riga, 1978, 48 p.
- [8] Sperling L. *Vzaimopronikayushchie polimernye setki i analogichnye materialy* [Interpenetrating polymer nets and similar materials]. Moscow: Mir, 1984, 327 p.
- [9] Vrublevskaya V.I., Matusevich V.O., Kuznetsova V.V. *Obosnovanie mekhanizma vzaimodeystviya komponentov drevesiny s vlagoy*. [Rationale for the mechanism of interaction between wood components and moisture]. *Lesnoy Zhurnal (Russian Forestry Journal)*, 2017, no. 3, pp. 152–163.

- [10] Hartley I.D., Kamke F.A., Peemoeller H. Cluster theory for water sorption in wood. *Wood Sci. Technol.*, 1992, v. 26, no. 2, pp. 83–99.
- [11] Hartley I.D., Avramidis S. Analysis of the wood sorption isotherm using clustering theory. *Holzforschung*, 1993, v. 47, no. 2, pp. 163–167.
- [12] Rawat S.P.S., Khali D.P. Clustering of water molecules during adsorption of water in wood. *J. Polym. Sci. Part B: Polymer Physics*, 1998, v. 36, iss. 4, pp. 665–671.
- [13] Loskutov S.R., Aniskina A.A., Shapchenkova O.A., Tyut'kova E.A. *Svyazannaya voda v drevesine lesoobrazuyushchikh porod Sibiri: termicheskiy analiz i sorbtsiya* [Bound water in wood of the main tree species of Siberia: thermal analysis and sorption]. *Sibirskiy lesnoy zhurnal* (Siberian journal of forest science), 2019, no. 3, pp. 26–32.
- [14] Grebennikov S.F., Serpinskiy V.V. *O nekotorykh svoystvakh uravneniya teorii ob'emnogo zapolneniya mikropor pri nizkikh znacheniyyakh kharakteristicheskoy energii adsorbtsii* [On some properties of the equation of the theory of volumetric filling of micropores at low values of the characteristic energy of adsorption]. *Sorbtsiya i khromatografiya* [Sorption and chromatography]. Moscow: Nauka, 1979, pp. 5–8.
- [15] Grebennikov S.F., Grebennikova O.D., Serpinskiy V.V. *O primeneni uravneniya teorii ob'emnogo zapolneniya mikropor k sorbtsii parov na nabukhayushchikh polimernykh sorbentakh* [On the application of the equation of the theory of volumetric filling of micropores to vapor sorption on swelling polymeric sorbents]. *Izv. AN SSSR. Ser. Khim.* [News of the Academy of Sciences of the USSR. Ser. Chemistry], 1980, no. 2, pp. 453–456.
- [16] Loskutov S.R. Analysis of the wood sorption isotherm using the theory of micropore volume filling. *Holzforschung*, 2000, v. 54, iss. 3, pp. 301–304.
- [17] Loskutov S.R. *Vzaimodeystvie drevesiny s fizicheskimi aktivnymi nizkomolekulyarnymi veshchestvami* [Interaction of wood with physically active low molecular weight substances]. Novosibirsk: Izdatel'stvo SO RAN, 2004, 171 p.
- [18] Adamson A. *Fizicheskaya khimiya poverkhnostey*. [Physical chemistry of surfaces]. Moscow: Mir, 1979, 568 p.
- [19] Dent R.W. A multilayer theory for gas sorption. I. Sorption of a single gas. *Textile Res. J.*, 1977, v. 47, no. 1, pp. 145–152.
- [20] Bratasz Ł., Kozłowska A., Kozłowski R. Analysis of water adsorption by wood using the Guggenheim-Anderson-de Boer equation. *Eur. J. Wood Prod.*, 2012, v. 70, pp. 445–451. DOI 10.1007/s00107-011-0571-x
- [21] Thybring E.E., Boardman C.R., Zelinka S.L., Glass S.V. Common sorption isotherm models are not physically valid for water in wood. *Colloids and Surfaces A: Physicochemical and Engineering Aspects*, 2021, v. 627.
- [22] Loskutov S.R., Mironov P.V., Levin E.D. *Vodouderzhivayushchie svoystva vegetativnykh organov i tkaney listvennitsy sibirskoy*. [Water retention properties of vegetative organs and tissues of Siberian larch]. *Lesnoy Zhurnal* (Russian Forestry Journal), 1984, no. 1, pp. 98–102.
- [23] GOST 16483.7–71. *Drevesina. Metody opredeleniya vlazhnosti*. [State Standard 16483.7–71. Wood. Methods for determining humidity]. Moscow, Standartinform, 2006, 3 p.
- [24] Greg S., Sing K. *Adsorbtsiya, udel'naya poverkhnost', poristost'*. [Adsorption, specific surface area, porosity]. Moscow: Mir, 1984, 310 p.
- [25] Davis E.M., Elabd Y.A. Water clustering in glassy polymers. *J. Phys. Chem. B.*, 2013, v. 117, no. 36, pp. 10629–10640.
- [26] Tyutkova E.A., Loskutov S.R., Shashkin A.V., Benkova V.E. Thermal analysis of earlywood and latewood of larch (*Larix gmelinii* (Rupr.) Rupr.) found along the Polar tree line: Correlation of wood destruction values with climatic factors. *J. of Thermal Analysis and Calorimetry*, 2017, v. 130, no. 3, pp. 1391–1397.
- [27] Oliveira G.H.H., Corrêa P.C., Santos E.S., Treto P.C., Diniz M.D.M.S. Evaluation of thermodynamics properties using GAB model to describe the desorption process cocoa beans. *International J. of Food Science & Technology*, 2011, v. 46, pp. 2077–2084.
- [28] Ozawa T. A new method of analyzing thermogravimetric data. *Chem. Soc. Jpn.*, 1965, vol. 38, no. 11, pp. 1881–1886.
- [29] Mamleev V., Bourbigot S., Le Bras M., Lefebvre J. Three model-free methods for calculation of activation energy in TG. *J. Therm. Anal. Calorim.*, 2004, v. 78, pp. 1009–1027.
- [30] Petrunina E.A., Shapchenkova O.A., Loskutov S.R. Physico-chemical parameters of Siberian larch (*Larix sibirica*) bark extracted with water-amino-alcoholic extractants. *Khimija Rastitel'nogo Syr'ya*, 2021, no. 2, pp. 103–107. DOI: 10.14258/jcprm.2021028340.
- [31] Baldassarre M., Li C., Eremina N., Goormaghtigh E., Barth A. Simultaneous fitting of absorption spectra and their second derivatives for an improved analysis of protein infrared spectra. *Molecules*, 2015, v. 20, pp. 12599–12622. DOI: 10.3390/molecules200712599
- [32] Usol'tsev D.A., Sitnikova V.E., Nosenko T.N., Olekhovich R.O., Uspenskaya M.V. *Sravnienie metodik rascheta vtorichnoy struktury belkov na osnove dekonvolutsii infrakrasnykh spektrov* [Comparison of methods for calculating the secondary structure of proteins based on deconvolution of infrared spectra]. *Nauchno-tehnicheskiiy vestnik informatsionnykh tekhnologii mekhaniki i optiki* [Scientific and Technical Journal of Information Technologies, Mechanics and Optics], 2019, v. 19, no. 4, pp. 586–503.
- [33] Kolosovskaya E.A., Loskutov S.R., Chudinov B.S. *Fizicheskie osnovy vzaimodeystviya drevesiny s vodoy* [The physical basis of the interaction of wood with water]. Novosibirsk: Nauka, 1989, 216 p.

Authors' information

Loskutov Sergey Redzhinaldovich  — Dr. Sci. (Chemistry), Fellow of the IAWS, Head of the Laboratory of Physicochemical Biology of Woody Plants, Sukachev Institute of Forest SB RAS, Federal Research Center «Krasnoyarsk Science Center SB RAS», lsr@ksc.krasn.ru

Shapchenkova Ol'ga Aleksandrovna — Cand. Sci. (Biology), Senior Researcher, Sukachev Institute of Forest SB RAS, Federal Research Center «Krasnoyarsk Science Center SB RAS», shapchenkova@mail.ru

Aniskina Antonina Aleksandrovna — Research Assistant, Sukachev Institute of Forest SB RAS, Federal Research Center «Krasnoyarsk Science Center SB RAS», aniskina_a@ksc.krasn.ru

Zoltán Pászty — Dr. Sci. (Wood science and technology), Director of Innovation Center, University of Sopron, paszty.zoltan@uni-sopron.hu

Received 08.11.2021.

Approved after review 19.11.2021.

Accepted for publication 12.12.2021.

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

ПРОЧНОСТЬ ДРЕВЕСНО-ЦЕМЕНТНОГО КОМПОЗИТА ПРИ ВОЗДЕЙСТВИИ ХИМИЧЕСКИХ ДОБАВОК НА ЗАПОЛНИТЕЛЬ

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

Работа посвящена изучению зависимости прочности древесно-цементного композита от вида химических добавок, используемых для нейтрализации отрицательного влияния на процессы гидратации и твердения цемента водорастворимых веществ (сахара, крахмала, дубильных веществ, камеди, фенола, органических кислот), содержащихся в составе древесного заполнителя. Были использованы химические добавки, образующие с сахарами труднорастворимые соединения, ускоряющие твердение цемента, образующие минеральные пленки на поверхности древесных частиц. Экспериментально установлено увеличение прочности древесно-цементного композита при введении комплексной добавки, состоящей из 1 % CaCl_2 и 1 % SrCl_2 . Определено, что соли мышьяковой и хромовой кислот также оказывают положительное влияние на повышение прочностных характеристик древесно-цементного композита. Применение соли кремнефтористоводородной кислоты для производства древесно-цементного композита может существенно повысить биологическую стойкость древесно-цементного композита. Установлены ускоряющие твердение древесно-цементного композита комбинированные химические добавки из хлористого алюминия, сернокислого натрия, азотно-кислого аммония и металломината натрия. Определены виды и расходы наиболее эффективных химических добавок, сочетающих хлористый кальций, жидкое стекло, сернокислый алюминий, известь и этаноламины для различных пород древесины. Проведенные эксперименты подтвердили ранее полученные данные, что на прочность древесно-цементного композита влияет не только сочетание различных химических добавок, но и порядок их введения в древесно-цементный композит.

Ключевые слова: древесно-цементный композит, прочность и деформации, гидратация и твердение цемента, древесный заполнитель

Ссылка для цитирования: Запруднов В.И. Прочность древесно-цементного композита при воздействии химических добавок на заполнитель // Лесной вестник / Forestry Bulletin, 2022. Т. 26. № 2. С. 103–109.
DOI: 10.18698/2542-1468-2022-2-103-109

Прочность древесно-цементного композита в первую очередь зависит от основных технологических факторов — вида и марки применяемого минерального вяжущего, вида и способа уплотнения древесно-цементной смеси, метода формования, степени гидратации цементного камня, условий твердения [1–8].

Кроме того, на прочность древесно-цементного композита существенное влияние оказывает древесный или иной органический заполнитель, содержащий в своем составе водорастворимые вещества, отрицательно воздействующие на процессы гидратации и твердения цемента. К таким веществам, прежде всего, относятся сахара, крахмал, дубильные вещества, камеди, фенолы, органические кислоты и пр. [9–14]. При смешивании древесного заполнителя с цементным вяжущим, имеющим щелочную среду (рН 11...12), концентрация многих водорастворимых веществ, попавших в раствор, определяет прочность и деформации древесно-цементного композита.

В настоящее время достаточно хорошо исследовано влияние способов подготовки древесного заполнителя на повышение прочности

и деформации древесно-цементного композита [3, 5, 11, 15, 16]. При изготовлении композиционных материалов на основе древесного заполнителя широко применяют следующие эффективные способы физического и химического воздействия на заполнитель: предварительную выдержку древесины; искусственную биологическую обработку древесины; введение химических добавок и пленкообразующих веществ; двойную обработку древесного заполнителя минеральным вяжущим; термическую и гидротермическую обработку древесного заполнителя; добавление в древесно-цементную смесь легких пористых песков минерального происхождения [17–23].

Для нейтрализации вредного воздействия водорастворимых веществ древесины на процессы гидратации и твердения цемента в экспериментах в древесно-цементный композит вводили химические добавки, рекомендуемые некоторыми исследователями [24–27], в частности следующие добавки:

- образующие с сахарами труднорастворимые соединения;
- ускоряющие твердение цемента в бетоне на минеральных заполнителях;
- образующие минеральные пленки на поверхности древесных частиц.

Цель работы

Цель работы — изучение влияния на прочность древесно-цементного композита водорастворимых веществ древесного заполнителя, негативно влияющих на процессы гидратации и твердения цемента, а также химических добавок, повышающих прочностные характеристики древесно-цементного композита, образующих с сахарами труднорастворимые соединения, ускоряющих твердение цемента, образующих минеральные пленки на поверхности древесных частиц.

Материалы и методы

По влиянию на прочность древесно-цементного композита химические добавки подразделяются на три группы. В *группу I* входят добавки, снижающие отравляющее воздействие водорастворимых веществ древесины в результате образования с последними труднорастворимых соединений, в *группу II* — добавки-ускорители твердения цемента, в *группу III* — добавки, являющиеся пленкообразующими веществами на поверхности древесных частиц.

Известно, что высоковалентные катионы могут адсорбировать волокна древесины, улучшая ее адгезионные свойства по отношению к цементу. В то же время обменно-адсорбционная способность целлюлозных материалов прямо зависит от значения pH раствора. Интервал значений pH, в котором сохраняется определенный характер этого прямолинейного соотношения, может изменяться в зависимости от кислотности применяемых водных растворов для обработки древесины, природы адсорбированных катионов и их концентрации. Способность целлюлозных материалов обмениваться катионами сильно возрастает с увеличением карбоксильных групп в растворе. Следовательно, это свойство обработанной древесины можно использовать при ее взаимодействии с цементом в древесно-цементном композите, что существенно отразится на его прочности, особенно в ранние периоды твердения. Кроме того, гидролиз и гидратация цемента могут происходить в среде, имеющей pH 11...12. Снижение значения pH влечет за собой уменьшение скорости гидратации цемента, т. е. замедление его схватывания и твердения.

Для выяснения влияния химических добавок на химическую активность водного раствора в древесно-цементном композите при соприкосновении с дробленой древесиной, были проведены эксперименты. В частности, древесную дробленку из различных пород древесины заливали водой или раствором щелочи, затем делали из нее вытяжку и проверяли ее pH через 30 мин, 24 ч и 3 сут. Одновременно к этой вытяжке добавляли

химическую добавку в количестве, обеспечивающем концентрацию раствора в древесно-цементной смеси, и контролировали pH этого раствора в те же сроки.

Из полученных результатов следует, что водная вытяжка древесной дробленки из четырех видов древесных пород (ели, сосны, осины и березы) имеет показатель $\text{pH} < 7$, варьирующийся в пределах 5,1...5,9 в зависимости от древесной породы. Вытяжка древесной дробленки из четырех видов древесных пород, полученная из раствора щелочи с pH 11,36, имеет $\text{pH} > 7$ с варьированием в пределах 10,4...11,21 в зависимости от древесной породы и времени определения pH. С течением времени также не наблюдалось значительное изменение pH как в водных, так и в щелочных вытяжках во всех видах древесной дробленки.

Химические добавки, введенные в указанные выше вытяжки, действуют не одинаково на pH и зависят от вида добавки и породы древесины. Предпочтение отдавалось добавкам, не снижающим значение pH. Кроме определения влияния химических добавок на химическую активность вытяжек из древесины также изучали их влияние на процессы гидратации и твердения цемента в древесно-цементном композите. Оно оценивалось по прочности при сжатии образцов-кубов, изготовленных с применением различных добавок (таблица), испытанных через 3, 7, 14 и 28 сут.

Эталонами служили контрольные образцы-кубы из древесно-цементной смеси с добавкой хлористого кальция в количестве 2 % массы цемента в пересчете на сухое вещество и без нее.

Химические добавки, влияющие на процессы гидратации и твердения цемента в древесно-цементном композите

Chemical additives affecting the processes of hydration and hardening of cement in a wood-cement composite

Вид химической добавки		
I группа	II группа	III группа
CaCl ₂	CaCl ₂	CaCl ₂
SrCl ₂	FeSO ₄ + CaCl ₂ + + Ca(OH) ₂	ПВА (эмульсия)
SrCl ₂ + CaCl ₂	Ca(OH) ₂ + FeSO ₄	Асбест
I соль Болидена	AlCl ₃	Эстрих-гипс
II соль Болидена	FeCl ₃	Латекс СКС-50
NH ₄ F	Na ₂ S ₂ O ₃	Наирид Л-4
(NH ₄) ₂ SiF ₆	Na ₂ SO ₃	Латекс ДММА
(NH ₄) ₂ SiF ₆ + + ZnSO ₄ · 7H ₂ O	NaAlO ₂	Гель из CaCl ₂ + + жидкое стекло
MgSiF ₆	NH ₄ NO ₃	Гель из Al ₂ (SO ₄) ₃ + + жидкое стекло

Средняя плотность и расход составляющих компонентов были приняты для легкого бетона из древесно-цементного композита класса В2 (М 25).

В качестве химических добавок группы I были использованы хлористый стронций, соли Болидена и флюаты — кремнефтористоводородные соединения, поскольку труднорастворимые сахараты стронция образуются значительно легче и интенсивнее по сравнению с сахаратами кальция, а соли Болидена вследствие их широкого использования на практике в качестве антисептиков древесины. Все добавки взаимодействовали с водорастворимыми сахарами, находящимися в древесине, и связывали последние в труднорастворимые соединения. Были составлены композиции соли Болидена двух составов: I соль Болидена — Na_3AsO_4 (44 %), H_2CrO_4 (36 %), C_4O (20 %); II соль Болидена — Na_3AsO_4 (40 %), CrO_3 (17 %), $\text{ZnSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$ (43 %). Соли применялись в количестве 0,5...2 % массы цемента в пересчете на сухое вещество.

В исследованиях использовали такие соединения, как кремнефтористый аммоний, кремнефтористый аммоний в смеси с сернокислым цинком и кремнефтористый магний.

Результаты и обсуждение

Результаты исследований влияния химических добавок группы I на прочность древесно-цементного композита представлены на рис 1.

Анализируя результаты исследований, можно сделать следующие выводы:

– введение в древесно-цементную смесь 0,5%-го SrCl_2 дает тот же эффект, что и введение 2%-го CaCl_2 ;

– увеличение прочности древесно-цементного композита как в 3-, так и 28-суточном возрасте происходит при введении комплексной добавки, состоящей из 1 % CaCl_2 и 1 % SrCl_2 ; при этом по сравнению с контрольными образцами прочность в 3-суточном возрасте увеличилась в 2 раза;

– соли мышьяковой и хромовой кислот также оказали положительное влияние на повышение прочностных характеристик древесно-цементного композита как в ранние, так и в поздние сроки твердения; при этом наибольший эффект показала добавка соли Болидена первого состава в количестве 2 %;

– соли кремнефтористоводородной кислоты также можно рекомендовать к успешному применению при производстве древесно-цементного композита, что существенно повысит его биологическую стойкость.

В качестве добавок группы II (ускорителей твердения цемента) были исследованы металюминат натрия (NaAlO_2), AlCl_3 , Na_2SO_3 , $\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3$ и комплексные добавки: $\text{FeSO}_4 + \text{CaCl}_2 + \text{Ca(OH)}_2$; $\text{Ca(OH)}_2 + \text{FeSO}_4$; NH_4NO_3 (рис. 2).

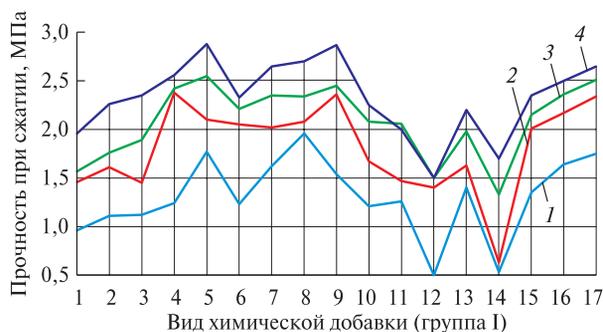


Рис. 1. Зависимость прочности древесно-цементного композита в различном возрасте (здесь и далее: 1 — 3, 2 — 7, 3 — 14, 4 — 28 сут) от вида химической добавки группы I (снижающей отравляющее воздействие водорастворимых веществ древесины): 1 — без добавок; 2 — CaCl_2 ; 3 — SrCl_2 (0,5); 4 — SrCl_2 (1); 5 — SrCl_2 (1) + CaCl_2 (1); 6 — I соль Болидена (0,5); 7 — I соль Болидена (1); 8 — I соль Болидена (2); 9 — II соль Болидена (0,5); 10 — II соль Болидена (1); 11 — II соль Болидена (2); 12 — NH_4F (1,5); 13 — $(\text{NH}_4)_2\text{SiF}_6$ (1,5); 14 — $(\text{NH}_4)_2\text{SiF}_6 + \text{ZnSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$; 15 — MgSiF_6 (0,5); 16 — MgSiF_6 (1); 17 — MgSiF_6 (2)

Fig. 1. The dependence of the strength of wood-cement composite at the age of 3, 7, 14 and 28 days from the type of chemical additive of the first group (reducing the toxic effect of water-soluble substances of wood): 1 — without additives; 2 — CaCl_2 ; 3 — SrCl_2 (0,5); 4 — SrCl_2 (1); 5 — SrCl_2 (1) + CaCl_2 (1); 6 — I Boliden salt (0,5); 7 — I Boliden salt (1); 8 — I Boliden salt (2); 9 — II Boliden salt (0,5); 10 — II Boliden salt (1); 11 — II Boliden salt (2); 12 — NH_4F (1,5); 13 — $(\text{NH}_4)_2\text{SiF}_6$ (1,5); 14 — $(\text{NH}_4)_2\text{SiF}_6 + \text{ZnSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$; 15 — MgSiF_6 (0,5); 16 — MgSiF_6 (1); 17 — MgSiF_6 (2)

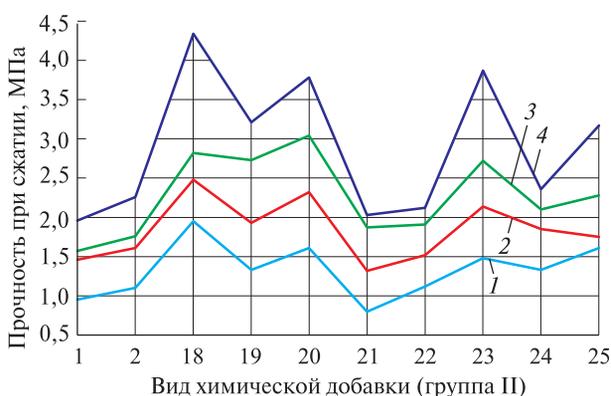


Рис. 2. Зависимость прочности древесно-цементного композита в том же возрасте (см. рис. 1) от вида химической добавки группы II (ускорители твердения цемента): 1 — без добавок; 2 — CaCl_2 ; 18 — $\text{FeSO}_4 + \text{CaCl}_2 + \text{Ca(OH)}_2$; 19 — $\text{Ca(OH)}_2 + \text{FeSO}_4$; 20 — AlCl_3 ; 21 — FeCl_3 ; 22 — $\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3$; 23 — Na_2SO_3 ; 24 — NaAlO_2 ; 25 — NH_4NO_3

Fig. 2. The dependence of the strength of wood-cement composite at the age of 3, 7, 14 and 28 days. Depending on the type of chemical additive of the second group (cement hardening accelerators): 1 — without additives; 2 — CaCl_2 ; 18 — $\text{FeSO}_4 + \text{CaCl}_2 + \text{Ca(OH)}_2$; 19 — $\text{Ca(OH)}_2 + \text{FeSO}_4$; 20 — AlCl_3 ; 21 — FeCl_3 ; 22 — $\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3$; 23 — Na_2SO_3 ; 24 — NaAlO_2 ; 25 — NH_4NO_3

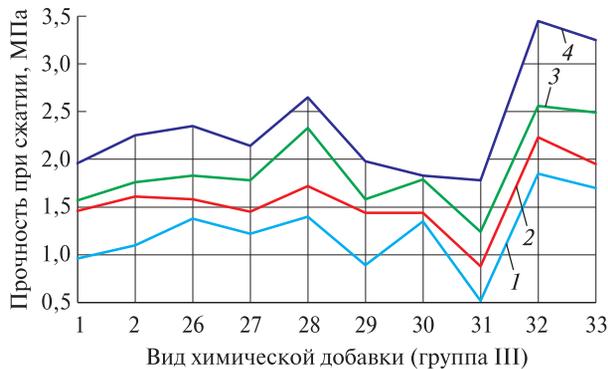


Рис. 3. Зависимость прочности древесно-цементного композита в том же возрасте (см. рис. 1, 2) от вида химической добавки группы III (пленкообразующие вещества на поверхности древесных частиц): 1 — без добавок; 2 — CaCl_2 ; 26 — ПВА (эмульсия); 27 — асбест; 28 — эстрих-гипс; 29 — латекс СКС-50; 30 — наирит Л-4; 31 — латекс ДММА; гель из CaCl_2 + жидкое стекло; 33 — гель из $\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3$ + жидкое стекло

Fig. 3. The dependence of the strength of wood-cement composite at the age of 3, 7, 14 and 28 days. Depending on the type of chemical additive of the third group (which are film-forming substances on the surface of wood particles): 1 — without additives; 2 — CaCl_2 ; 26 — PVA (emulsion); 27 — asbestos; 28 — estrich gypsum; 29 — latex SKS-50; 30 — Nairit L-4; 31 — DMMA latex; CaCl_2 gel + liquid glass; 33 — gel from $\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3$ + liquid glass

Исходя из полученных результатов (см. рис. 2), можно отметить, что соли, которые при проверке их действия на щелочную вытяжку древесины не изменили рН этой вытяжки, дали лучшие результаты по повышению прочности по сравнению с контрольными образцами; к солям, повышающим прочность древесно-цементного композита как в раннем, так и в 28-суточном возрасте и ускоряющим твердение древесно-цементного композита, относятся комбинированные добавки, а также добавка хлористого алюминия, серноокислого натрия, азотноокислого аммония и металюмината натрия.

В качестве добавок группы III (пленкообразующие вещества), были взяты эмульсия ПВА, асбест, эстрих-гипс, латекс СКС-50, наирит Л-4, латекс ДММА, гель, состоящий из жидкого стекла и хлористого кальция, гель из жидкого стекла и серноокислого алюминия (рис. 3).

Выводы

Большинство пленкообразующих добавок дали положительные результаты по сравнению с контрольными образцами. Для более эффективного действия на ускорение твердения цемента в древесно-цементном композите следует вводить большее количество добавки, чем рекомендуется для обычных бетонов. При этом важно учитывать, что в древесно-цементном композите они взаимодействуют с цементом и водорастворимыми веществами, выделяющимися в раствор из древесины.

Прочность древесно-цементного композита больше зависит от химических добавок, чем от вида заполнителя из четырех видов древесных пород (ели, сосны, осины и березы).

С помощью добавок можно достичь удовлетворительных прочностных показателей даже на свежесрубленной древесине, рисовой соломе и древесине лиственницы (свежесрубленной). Наилучшие показатели прочности получают, как правило, в результате применения комплексных химических добавок, состоящих из нескольких химических веществ. Наиболее эффективны добавки, сочетающие хлористый кальций, жидкое стекло, серноокислый алюминий, известь и этаноламины. При этом каждый вид заполнителя и порода древесины требуют определенного вида и конкретного расхода химической добавки. Например, древесно-цементный композит на рисовой соломе можно получить лишь при сочетании хлористого кальция с жидким стеклом при введении их в древесно-цементную смесь в виде геля. Добавка серноокислого алюминия и извести на этот вид заполнителя влияния не оказывает.

Характерно, что оптимальный расход и соотношение расходов составляющих комплексных добавок зависят и от степени предварительной выдержки древесины.

Интересные результаты получены при антисептировании заполнителя древесно-цементного композита пентахлорфенолятом натрия. При применении этого антисептика без ускорителей твердения прочность древесно-цементного композита снижается почти до нуля. Если после обработки заполнителя раствором пентахлорфенолята натрия его последующую обработку проводить хлористым кальцием, то антисептик уже не оказывает влияния на прочность древесно-цементного композита. Однако если обработку проводить сначала раствором серноокислого алюминия, а затем хлористого кальция, то прочность возрастает более чем на 30 % по сравнению с применением этих добавок без пентахлорфенолята натрия. Следовательно, на прочность древесно-цементного композита влияет не только сочетание различных химических добавок, но и порядок их введения в древесно-цементный композит, что подтверждают проведенные эксперименты.

Список литературы

- [1] Баженов Ю.М. Технология бетона. М.: Высшая школа, 1987. 415 с.
- [2] Запруднов В.И. Исследование процесса влияния технологических факторов на свойства древесно-цементного утеплителя // Научные труды МГУЛ, 1996. Вып. 285. С. 12–17.
- [3] 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.

- [4] Щербаков А.С., Хорошун Л.П., Подчуфаров В.С. Арболит. Повышение качества и долговечности. М.: Лесная пром-сть, 1979. 160 с.
- [5] 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.
- [6] 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.
- [7] 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.
- [8] Frybort S., Mauritz R., Teischinger A., Muller U., 2008. Cement bonded composites – a mechanical review // *BioResources*, v. 3(2), pp. 602–626.
- [9] Kamal I.B. Kenaf for biocomposite: an overview // *J. of Science and Technology*, 2014, v. 6, no. (2), pp. 41–66.
- [10] 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.
- [11] 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. URL: <https://doi.org/10.1007/s00107-015-0982-1>
- [12] 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.
- [13] 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.
- [14] Schmitz G. Eletrische mechanische und termische untersuchunden uber das system holz-zement. Dusseldorf, 1968, p. 106.
- [15] Sandermann W., Kohler P. Uber eine kurze Eignungsprüfung von Holzern für Zement gobundene Werkstoffe // *Holzforeshung*, 1964, bd. 18, pp. 53–59.
- [16] Sales A., Souza F.R., Almeida F.C.R. Mechanical properties of concrete produced with a composite of water treatment sludge and sawdust // *Construction and Building Materials*, 2011, v. 25, iss. 6, pp. 2793–2798.
- [17] Запруднов В.И., Стриженко В.В. Основы строительного дела. М.: МГУЛ, 2008. 460 с.
- [18] Запруднов В.И. Создание качественных древесно-цементных материалов // *Лесной вестник / Forestry Bulletin*, 2017. Т. 21. № 6. С. 54–60.
- [19] Подчуфаров В.С., Чемлева Т.А., Щербаков А.С. Об оптимальном составе арболита повышенного качества // *Научные труды МГУЛ*, 1976. Вып. 93. С. 68–88.
- [20] Рыбьев И.А. Две важнейшие закономерности в свойствах материалов с конгломератным типом структуры // *Строительные материалы*, 1965. № 1. С. 17–20.
- [21] Уголев Б.Н. Древесиноведение с основами лесного товароведения. М.: Лесная пром-сть, 2007. 266 с.
- [22] 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.
- [23] 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.
- [24] 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.
- [25] Semple K. E., Evans P.D. Wood and Fiber Science // *Wood and Fiber Science*, 2007, v. 39(1), p. 120.
- [26] Yeh R.H.T. Variational bounds of unidirectional fiberreiforaes composites // *J. Appl. Phys.*, 1973, v. 44, no. 2, 662 p.
- [27] 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.

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 17.05.2021.

Одобрено после рецензирования 15.11.2021.

Принята к публикации 07.02.2022.

STRENGTH OF WOOD-CEMENT COMPOSITE WHEN EXPOSED TO CHEMICAL ADDITIVES ON AGGREGATE

V.I. Zaprudnov

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

zaprudnov@mgul.ac.ru

The work is devoted to the study of the dependence of the strength of a wood-cement composite on the type of chemical additives used to neutralize the water-soluble substances contained in the wood filler (sugar, starch, tannins, gum, phenol, organic acids) that negatively affect the processes of hydration and hardening of cement. Chemical additives were used in the work – forming hardly soluble compounds with sugars, accelerating the hardening of cement, forming mineral films on the surface of wood particles. An increase in the strength of a wood-cement composite was experimentally established with the introduction of a complex additive consisting of 1 % CaCl₂ and 1 % ScSl₂. It is determined that salts of arsenic and chromic acids also have a positive effect on increasing the strength characteristics of wood-cement composite. The use of hydrofluoric acid salt for the production of wood-cement composite can significantly increase the biological resistance of wood-cement composite. Combined chemical additives accelerating the hardening of wood-cement composite — aluminum chloride, sodium sulfate, ammonium nitrate and sodium metalluminat — have been established. The types and costs of the most effective chemical additives combining calcium chloride, liquid glass, aluminum sulfate, lime and ethanolamines for various types of wood are determined. The experiments carried out confirmed the previously obtained data that the strength of the wood-cement composite is influenced not only by the combination of various chemical additives, but also by the order of their introduction into the wood-cement composite.

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

Suggested citation: Zaprudnov V.I. *Prochnost' drevesno-tsementnogo kompozita pri vozdeystvii khimicheskikh dobavok na zapolnitel'* [Strength of wood-cement composite when exposed to chemical additives on aggregate]. *Lesnoy vestnik / Forestry Bulletin*, 2022, vol. 26, no. 2, pp. 103–109. DOI: 10.18698/2542-1468-2022-2-103-109

References

- [1] Bazhenov Yu.M. *Tekhnologiya betona* [Concrete technology]. Moscow: Vysshaya shkola [Higher school], 1987, 415 p.
- [2] 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.
- [3] 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.
- [4] 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.
- [5] 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.
- [6] 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.
- [7] 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.
- [8] Frybort S., Mauritz R., Teischinger A., Muller U., 2008. Cement bonded composites – a mechanical review. *BioResources*, v. 3(2), pp. 602–626.
- [9] Kamal I.B. Kenaf for biocomposite: an overview. *J. of Science and Technology*, 2014, v. 6, no. (2), pp. 41–66.
- [10] 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.
- [11] 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. URL: <https://doi.org/10.1007/s00107-015-0982-1>
- [12] 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.
- [13] 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.
- [14] Schmitz G. *Elektrische mechanische und termische untersuchungen uber das system holz-zement*. Dusseldorf, 1968, p. 106.
- [15] Sandermann W., Kohler P. *Uber eine kurze Eignungsprüfung von Holzern für Zement gebundene Werkstoffe*. *Holzforeshung*, 1964, bd. 18, pp. 53–59.
- [16] Sales A., Souza F.R., Almeida F.C.R. Mechanical properties of concrete produced with a composite of water treatment sludge and sawdust. *Construction and Building Materials*, 2011, v. 25, iss. 6, pp. 2793–2798.
- [17] Zaprudnov V.I., Strizhenko V.V. *Osnovy stroitel'nogo dela* [Construction Basics]. Moscow: MSFU, 2008, 460 p.

- [18] 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.
- [19] 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.
- [20] 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.
- [21] Ugolev B.N. *Drevesinovedenie s osnovami lesnogo tovarovedeniya* [Wood science with the basics of forest commodity science]. Moscow: Lesnaya promyshlennost', 2007, 266 p.
- [22] 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.
- [23] 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.
- [24] 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.
- [25] Semple K. E., Evans P.D. *Wood and Fiber Science*. *Wood and Fiber Science* Vol. 39(1) (2007), p. 120.
- [26] Yeh R.H.T. Variational bounds of unidirectional fiber-reinforced composites. *J. Appl. Phys.*, 1973, v. 44, no. 2, 662 p.
- [27] 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.

Author's information

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

Received 17.05.2021.

Approved after review 15.11.2021.

Accepted for publication 07.02.2022.

МАТЕМАТИЧЕСКОЕ ОБОСНОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ ВИДА РУБКИ ГЛАВНОГО ПОЛЬЗОВАНИЯ НА УДЕЛЬНЫЕ ЗАТРАТЫ

В.В. Никитин¹, А.В. Скрыпников², В.Г. Козлов³✉,
Е.В. Михайленко⁴, Ю.Н. Пильник⁴, Д.Г. Козлов³, Р.С. Сапелкин²

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

²ФГБОУ ВО «Воронежский государственный университет инженерных технологий», 394036, Россия, г. Воронеж, пр-т Революции, д. 19

³ФГБОУ ВО «Воронежский государственный аграрный университет имени Императора Петра I», 394087, г. Воронеж, ул. Мичурина, д. 1

⁴ФГБОУ ВО «Ухтинский государственный технический университет», 169300, г. Ухта, ул. Первомайская, д. 13

vya-kozlov@yandex.ru

Представлен широкий анализ влияния видов вырубок при определении оптимальных расстояний транспортировки леса с учетом способов ведения лесного хозяйства и видов рубок представлены и обоснованы удельные затраты на первичную транспортировку леса, а также проведен подбор схем рубок главного пользования. Определена целевая функция, являющаяся основной частью математической модели и включающая в себя все элементы и связи системы технико-экономического обоснования элементов плана лесовозных автомобильных дорог. Сделан вывод о том, что поиск оптимального расстояния до места назначения сводится к выполнению машины не только транспортных, но и технологических операций, которые, в свою очередь, не влияют на значение переменной части удельных затрат и первичную транспортировку леса в том случае, если это не вызывает увеличения стоимости тракторосмены или снижения полезной нагрузки. Расчеты показали, что высокомеханизированные методы являются более эффективными, так как удельные денежные затраты на весь комплекс лесосечных работ по схемам не превышают 20 %. Целесообразность применения какой-либо из технологических схем лесозаготовок зависит от конкретных условий лесозаготовки.

Ключевые слова: лесозаготовка, трелевка, лесовозные автомобильные дороги, лесосека, транспортировка

Ссылка для цитирования: Никитин В.В., Скрыпников А.В., Козлов В.Г., Михайленко Е.В., Пильник Ю.Н., Козлов Д.Г., Сапелкин Р.С. Математическое обоснование влияния вида рубки главного пользования на удельные затраты // Лесной вестник / Forestry Bulletin, 2022. Т. 26. № 2. С. 110–119.
DOI: 10.18698/2542-1468-2022-2-110-119

Разработанные в настоящее время методы оценки технико-эксплуатационного состояния лесовозных автомобильных дорог и существующие критерии оценки состояния, требуют больших затрат времени на их определение, хотя и позволяют с достаточной точностью определить состояние отдельных элементов дороги, наметить путь устранения выявленных неисправностей и определить объемы работ по их устранению. Отличительной особенностью лесозаготовительного транспорта является одновременная эксплуатация разветвленной сети дорог различных категорий, эксплуатационные характеристики которых меняются в зависимости от погодных условий, передислокации мест рубок, интенсивности движения и других факторов. Поэтому существующие способы оказываются малопригодными для оперативной оценки технико-эксплуатационного состояния при планировании работ.

Цель работы

Цель работы — разработка математического обоснования влияния способов ведения лесного хозяйства и видов рубок главного пользования на удельные затраты на транспортировку леса.

Методика исследования

При исследовании вопроса оптимизации расстояний между путями лесотранспорта в специфических условиях лесозаготовок, встречающихся в России необходимо принимать во внимание следующие основные положения.

1. При разработке методики расчета особое внимание необходимо уделить учету природных факторов и требованиям лесоустройства с позиции влияния способов ведения лесного хозяйства и применяемых видов рубок главного пользования на оптимальные расстояния между путями первичной и вторичной транспортировки леса [1].

2. При концентрации лесозаготовительных работ в пределах той или иной территории важно предусмотреть длительный срок службы путей. Даже трелевочные волоки в этих условиях можно использовать от одного года до нескольких лет, а лесовозные автомобильные дороги — в течение длительных сроков, порядка нескольких десятилетий.

3. При активной лесозаготовке в течение всего периода лесотранспортная дорожная сеть должна обеспечивать не только транспортировку леса, но и выполнение соответствующих лесохозяйственных и промышленных мероприятий.

При определении оптимальных расстояний для лесотранспорта следует исходить из принципа нахождения минимума переменной части затрат, отнесенных к 1 м³ лесопродукции. При этом удельные затраты в связи с длительным сроком службы путей транспортировки относят к годовому размеру лесопользования, определяемому средним годовым приростом [2]

$$Q = \sum_1^n \frac{\sum M_i}{A_i}, \quad (1)$$

где Q — средний прирост всех древостоев, м³;
 $\sum M_i$ — сумма запасов каждого класса возраста, м³;
 A_i — возраст, соответствующий середине классов возраста, лет.

С учетом формулы (1) продуктивность лесов, рассчитанная на ближайший хозяйственный период (обычно 10 лет), можно выразить формулой

$$P = \frac{Q}{EP}, \quad (2)$$

где Q — средний прирост всех древостоев, м³;
 EP — общая площадь лесного массива, га.

С учетом распределения запасов по классам возраста в условиях республики Коми, составлена наглядная диаграмма, характеризующая продуктивность лесонасаждений (рис. 1).

Оптимизация транспортной сети путей, рассчитанных на длительный срок действия, требует особого внимания к учету затрат, связанных с их содержанием в исправности и ремонтом.

При этом не каждый километр пути может находиться в ежегодной эксплуатации. Кроме того, пути, как правило, используются повторно. К тому же имеют место перерывы в вывозке леса, поэтому важно обеспечить нормальные условия работы при выполнении иных лесохозяйственных работ и других мероприятий в это время [3–6].

С учетом указанного выше для дальнейшего анализа принимается схема путей транспорта леса, состоящая из тракторных пасечных и магистральных волоков, непосредственно примыкающих к веткам, которые, в свою очередь, примыкают к магистральным лесовозным автомобильным дорогам. Временные пути транспорта леса (усов) в этой системе не предусмотрены.

Способ ведения лесного хозяйства определяет вид применяемых рубок главного пользования. В настоящее время это в основном сплошные рубки, а также, особенно в горных районах, постепенные и выборочные рубки [7].

Рубки главного пользования проводятся в размере не выше среднего годичного прироста. По классификации, используемой в России, сплошные рубки относятся к узколесосечным. При максимальной длине лесосеки, отводимой к вырубке,

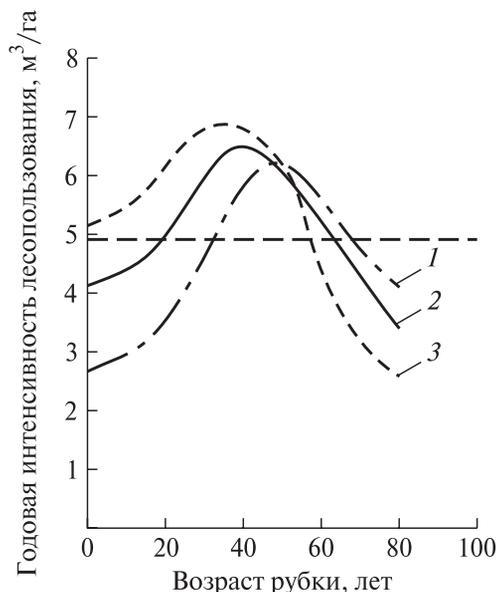


Рис. 1. Интенсивность лесопользования, позволяющая определить среднюю продуктивность древостоев на протяжении полного оборота рубки: 1 — 100-летнего; 2 — 110-летнего; 3 — 120-летнего

Fig. 1. Intensity of forest management, which makes it possible to determine the average productivity of forest stands over the course of a full cycle of felling: 1 — 100-year; 2 — 110 years old; 3 — 120 years old

500...600 м ее другие параметры принимают по правилам ведения лесного хозяйства. При отводе лесосек под сплошную узколесосечную рубку в каждом конкретном случае устанавливают размер и форму лесосеки, направление рубки, срок примыкания и способ лесовосстановления на вырубке. Если выдел спелого леса небольшой, его вырубает полностью, какой бы формы он не был.

Правилами принято обозначать сплошные рубки цифрой 1, постепенные — 2, а выборочные — 3. Буквы стоящие при цифрах относятся к различным типам рубок данной группы, которые выбирают с учетом условий лесовозобновления на вырубке (табл. 1, табл. 2).

За основу расположения лесосек принимается квартальная сеть, направление сторон которой предусматривает наиболее целесообразное направление лесосек, т. е. направление их длинной стороны относительно сторон света. Направление лесосеки зависит от климатических факторов данного района и в первую очередь от количества света и тепла. В северных и северо-западных районах европейской части России целесообразно располагать лесосеку ее длинной стороной с севера на юг, исходя из того, что в полуденные часы вся площадь вырубке будет полностью освещаться солнечными лучами и почва будет прогреваться на большую глубину, что улучшает процессы разложения лесного опада и рост всходов древесных пород.

Т а б л и ц а 1

Параметры для сплошных рубок

Parameters for clear cuttings

Тип рубки	Ширина лесосеки $l_{ш}$, м	Максимальная площадь лесосеки, га
1а	60...80	До 6,0
1в	40...60	До 4,0
1с	15...30	До 2,0

Т а б л и ц а 2

Параметры для постепенных рубок

Parameters for gradual felling

Тип рубки	Ширина манипуляционной площади, м	Максимальная манипуляционная площадь, га
2а	До 90	До 6,0
2в	До 150	До 10,0
2с	До 150	До 10,0

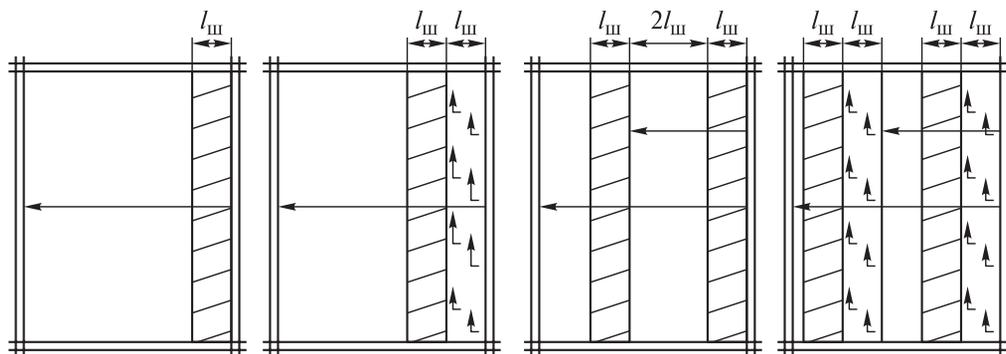


Рис. 2. Схемы сплошных рубок (стрелками указано направление рубки): а — с непосредственным примыканием лесосек через 3–5 лет; б — с кулисным примыканием, т. е. через полосу, равную двойной ширине лесосеки

Fig. 2. Schemes of clear cuttings (arrows indicate the direction of felling): а — with direct adjoining cutting areas in 3–5 years; б — with a strip connection, i.e. through a strip equal to the double width of the cutting area

Направление вырубki зависит в основном от господствующих ветров, а поскольку это западные ветры, то рубки должны быть направлены с востока на запад, т. е. против господствующих западных ветров [8]. В этом случае разлет семян от стены леса будет происходить преимущественно на вырубку, а сама стена леса не будет подвержена воздействию ветра, следовательно, не будет происходить ветровал деревьев на границе леса и вырубki. В горных условиях применяются постепенные и выборочные рубки. В этих условиях рубки леса узкими сплошными лесосеками допустимы лишь на пологих склонах с глубокими и хорошо дренированными почвами. В горах лесосеки для сплошных рубок отводят, как правило, длинными сторонами вдоль горизонталей, а направление рубки — с учетом местных ветров преимущественно снизу вверх по склону. На склонах, подвергающихся эрозии, принимается направление рубки сверху вниз по склону. При направлении лесосек вдоль горизонталей могут возникнуть трудности при валке и трелевке леса и поэтому иногда лесосеки располагают вдоль склона, применяя канатные установки или подтаскивание деревьев с помощью тросовых лебедок к дорогам или трелевочным волокам.

Кроме ширины лесосек, их расположения относительно меридиана и направления рубки уста-

навливают способ примыкания и срок примыкания лесосек. При непосредственном примыкании новая лесосека отводится рядом с предыдущей, через полосу леса такой же ширины, а при кулисном примыкании новая лесосека отводится через полосу леса, равную двойной ширине лесосеки. В полосе леса или кулисе проводится вырубка леса сплошными лесосеками определенных размеров с 10-летним сроком примыкания друг к другу. Наиболее распространенным способом является непосредственное примыкание, так как в этом способе не нарушается целостность оставшегося леса и он в меньшей степени подвергается воздействию неблагоприятных факторов (ветровалу) и т. п. [9]

Следующим важным фактором являются сроки примыкания лесосек, зависящие от целевого назначения леса, вида древесных пород, условий лесовосстановления. Многолетним опытом ведения сплошнолесосечных рубок для сосновых, лиственничных, еловых, пихтовых, дубовых и лесов других твердолиственных пород установлен 3–5-летний срок примыкания лесосек, а в лесах мягколиственных пород — 1–2-летний (рис. 2).

Ведение лесного хозяйства с применением постепенных и выборочных рубок имеет своей целью быстрое и успешное получение естественного возобновления леса наиболее соответству-

ющими для данного типа леса породами. При постепенных рубках древостой вырубает не сплошь, а в несколько приемов — через определенные промежутки времени. При постепенных рубках древостой может вырубаться с равномерной по площади выборкой деревьев и с неравномерной выборкой (группами): по схеме рубок типа 2а, т. е. при ширине манипулярной площади (лесосеки) до 90 м, разрабатываемой в три приема, с разбивкой на три 30-метровые полосы, и по схеме рубок типа 2в, т. е. при ширине манипулярной площади 150 м [10–13].

Кроме равномерно-постепенных рубок имеются групповые или котловинные рубки, характеризующиеся неравномерной выборкой деревьев. К этим относятся группово-постепенные и группово-выборочные рубки.

Сущность этих рубок состоит в том, что древостой вырубается в несколько приемов, постепенными группами в течение двух классов возраста (за 30...40 лет).

Следует отметить, что примыкание лесосек во всех случаях для постепенных рубок непосредственное.

При разработке схемы узколесосечных рубок особое значение имеет определение расстояния между соседними лесосеками. Для этой цели при установленных в процессе лесоустройства ширине лесосеки ($l_{лс}$) и сроку примыкания лесосек (u) расстояние для данного возраста рубки (k) может быть определено по формуле [14]

$$Z = \frac{l_{лс} \cdot k}{u} \quad (3)$$

В формуле (3) отношение $\frac{l_{лс}}{u}$ равно ширине годовой лесосеки и оно выражает скорость, с которой проводятся рубки в древостое на протяжении полного оборота.

На схемах рубок (рис. 3) штриховкой отмечены лесосеки одного года рубки и стрелками указано направление рубки, а также расстояние между соседними лесосеками. Если для этих обоих вариантов разработать схемы путей для первичной транспортировки, то можно убедиться, что при одинаковом расстоянии между путями ($l_{пб}$), чем меньше ширина лесосеки, тем больше протяженность путей, находящихся в одновременной эксплуатации [14–16].

Следовательно, при постепенных и выборочных рубках потребуется более густая сеть путей, находящихся в одновременной эксплуатации, хотя с увеличением протяженности этих путей их грузооборот будет уменьшаться. Из этого следует, что при определении оптимальных расстояний между путями первичной транспортировки необходимо учитывать параметры лесосеки и виды

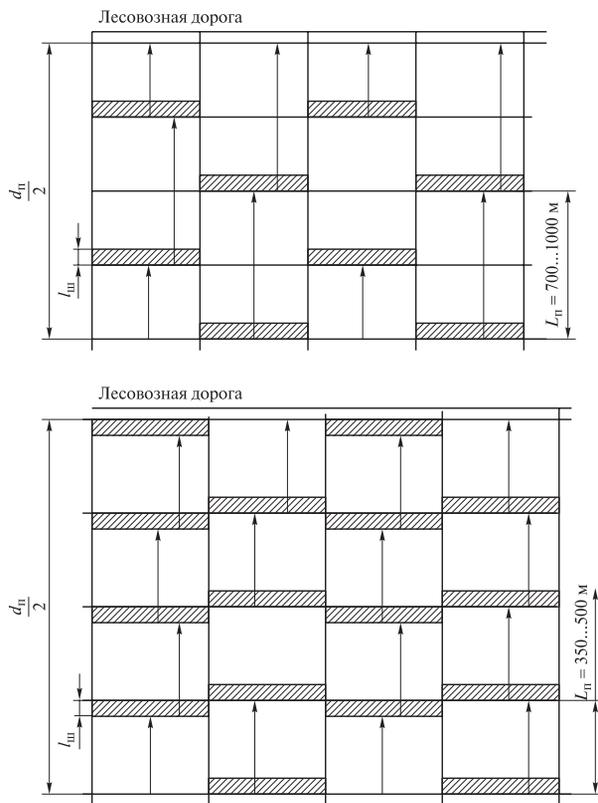


Рис. 3. Основные схемы рубок главного пользования (стрелками указано направление рубки)

Fig. 3. Main final felling schemes (arrows indicate felling direction)

рубок, которые влияют на протяженность путей, находящихся в одновременной эксплуатации, а значит, на затраты на их строительство и содержание. На затраты также оказывает влияние срок примыкания лесосек. Кроме того, можно сделать вывод о том, что при выводе формулы для определения оптимальных расстояний между путями первичной транспортировки леса важен срок службы этих путей. При назначении сети путей постоянного типа сроки примыкания лесосек и их размеры не окажут такого большого влияния. Однако при определении оптимального расстояния между ветками постоянного типа следует учитывать затраты на содержание и исправность путей первичной транспортировки, которые влияют на установление искомого параметра.

Разнообразие размеров лесосек, их видов и распределения по лесному массиву, а также разнообразие рельефа местности требует применения соответственных схем размещения трелевочных волоков. Схемы сплошных рубок, при различных способах расположения лесосеки по отношению к лесовозной автомобильной дороге могут быть рекомендованы и для постепенных рубок (рис. 4). В частности, на рис. 4, в представлена известная диагональная схема волоков при ее использовании для котловинных рубок. Отметим, что как

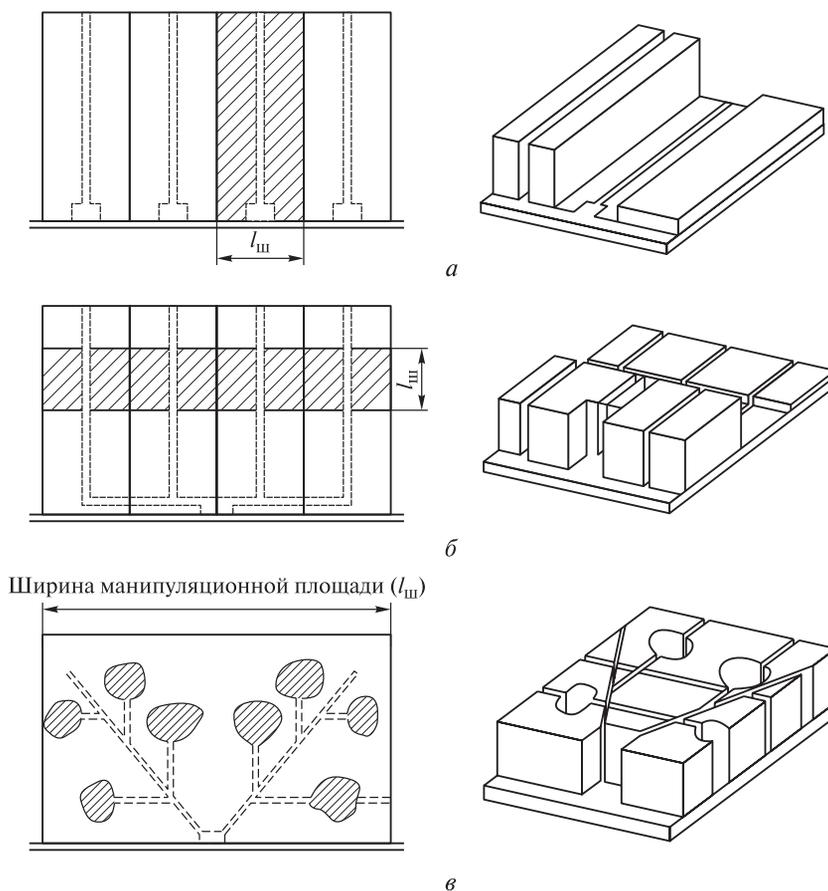


Рис. 4. Схемы трелевочных волоков для равнинной местности: *а, б* — схемы сплошных рубок, при различных способах расположения лесосеки по отношению к лесовозной автомобильной дороге; *в* — диагональная схема волоков при ее использовании для котловинных рубок

Fig. 4. Schemes of skid trails for flat terrain: *а, б* — schemes of clear cutting, with different ways of arranging a cutting area in relation to a logging road; *в* — diagonal scheme of portages when used for hollow cuttings

в равнинной, так и горной местностях волоки используются в течение нескольких лет. Исключением является схема волоков на рис. 4, *а*.

При разработке схем размещения трелевочных волоков для горных условий (рис. 5) учитывались следующие требования:

а) обеспечение освоения массива трелевочными тракторами;

б) уменьшение повреждений, возникающих в лесу при трелевке до размеров лесных хозяйств;

в) обеспечение наиболее выгодных условий труда;

г) учет других, в том числе лесохозяйственных и лесозащитных мероприятий.

Схемы для сплошных рубок (рис. 5) в горной местности с уклонами 150...300 %. Трассы на этих схемах проходят под углом меньше 90° к максимальному спуску. Границы грузопотоков расположены так, что расстояние трелевки снизу вверх как более благоприятное с точки зрения уменьшения повреждений в древостое больше, чем расстояние сверху вниз. Схема для котло-

винных рубок (см. рис. 5) в местности с уклоном меньше 150 % отражает расположение волоков под углом меньше 90°.

На рис. 6 представлены трассы для канатных установок. На схеме 6, *а, б* и *в* предусматривается проводить трелевку в местности со склонами 180...800 %. С помощью канатной установки трелевка производится с части эксплуатационной площади расположенной выше лесовозной автомобильной дороги в полностью погруженном положении, а ниже дороги — полуподвешенным способом. Все эти схемы не исчерпывают большого количества возможных вариантов, однако при узких лесосеках они будут применяться наиболее часто.

При оптимизации расстояний между путями лесотранспорта важное значение имеют расходы на первичную транспортировку леса. В связи с внедрением новых машин на лесозаготовках и разработкой новых видов технологии лесозаготовок представляет интерес проведение анализа влияния технологии лесозаготовительного процесса

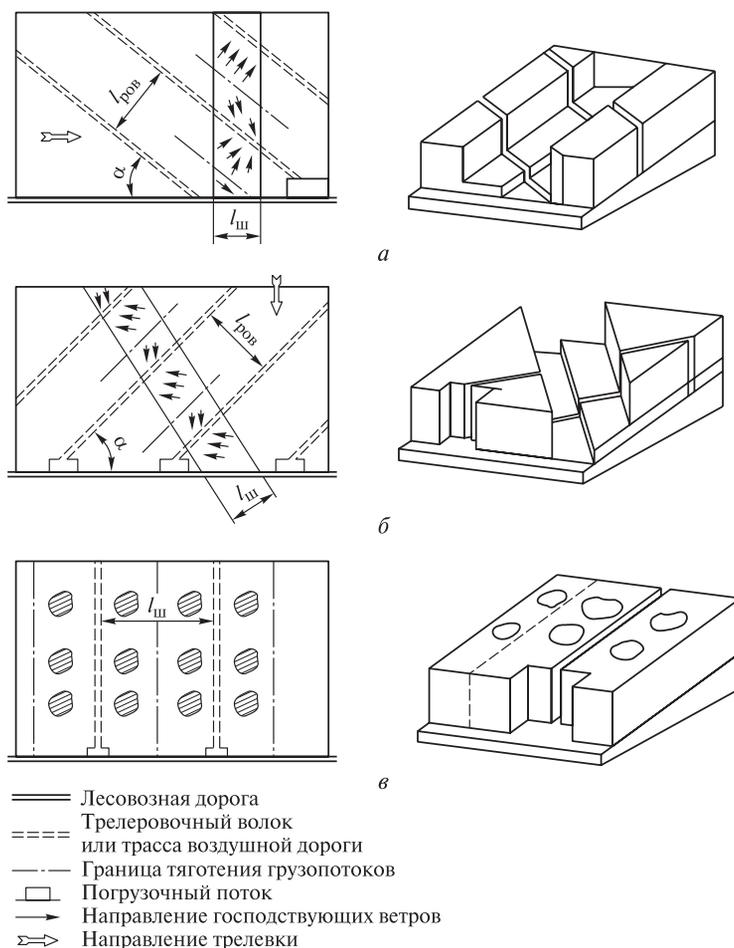


Рис. 5. Схемы трелевочных волоков в горной местности: *а, б* — схемы для сплошных рубок; *в* — схема для котловинных рубок
Fig. 5. Schemes of skidding trails in mountainous areas: *a, б* — schemes for clear cuttings; *в* — scheme for group fellings

на оптимизацию расстояний между путями лесотранспорта. В зависимости от особенностей применяемой технологии некоторые операции можно проводить в различной последовательности.

В последнее время наряду с внедрением комплексной лесозаготовительной техники осуществляется усовершенствование применяемой технологии с использованием опыта стран с наиболее развитым лесозаготовительным производством. Этот процесс охватывает четыре основные технологические операции: валку, обрубку сучьев, раскряжевку и окороку, а также такую транспортную операцию, как трелевка (или подвозка) леса, с которой тесно связаны погрузка и разгрузка.

Лесосечные работы являются наиболее трудоемкими из комплекса лесозаготовительных. Кроме того, они усложнены большим разнообразием лесных сортиментов и зависят от организации всего процесса.

Мировая практика развития технологии лесосечных работ показывает, что в любой период развития лесозаготовительной промышленности

технологию лесозаготовок определяет одна из основных лесозаготовительных операций. Выбор места и способ выполнения именно этой операции является в течение многих лет решающим для всего технологического процесса и оказывает очень большое влияние на техническую сторону лесозаготовительной промышленности в целом. В результате механизации отдельных операций лесозаготовок, совершенствования технологии и организации труда, трудоемкость лесосечных работ по абсолютной величине снижается, однако при небольших размерах лесосек и необходимости сбора леса с большой территории решить проблему механизации лесозаготовок достаточно сложно. Наибольшие трудности вызывает низкая концентрация производства, которую можно повысить путем увеличения размеров лесосек или перенесением из лесосеки некоторых технологических операций. Отметим, что вопросу размеров лесосеки требуется глубокая, длительная и комплексная разработка, что не является темой настоящего исследования.

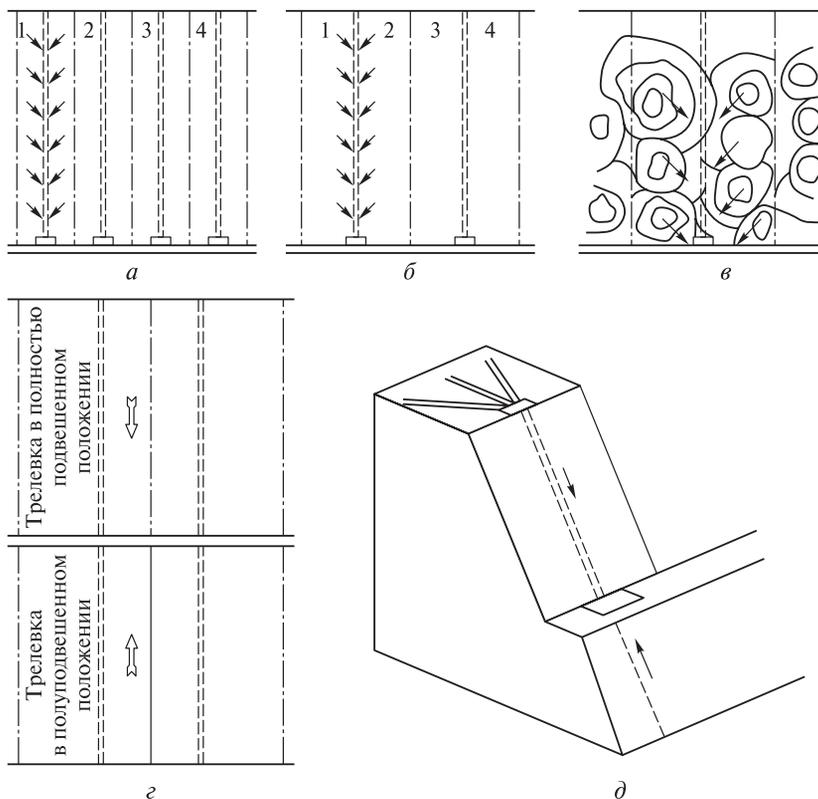


Рис. 6. Схемы трелевки с использованием канатных установок: *a* — трасса предусмотрена для вырубке леса за один прием; *б* — за два приема; *в* — трассы канатных установок рассчитаны на обеспечение транспортировки леса получаемого от котловинных рубок; *г* — комбинированная схема путей для сплошных рубок; *д* — комбинированная трелевка, т. е. на плоскогорье треляют лес канатной установкой

Fig. 6. Skidding schemes using rope installations: *a* — the route is provided for deforestation in a single action; *b* — in two actions; *в* — routes of cable installations are designed to ensure the transportation of wood obtained from group fellings; *г* — combined scheme of tracks for clear cuttings; *д* — combined skidding, i.e. on the plateau they skid the forest with a rope installation

Рассмотрим далее как формируются затраты на весь комплекс лесосечных работ при заготовке леса и в какой степени они влияют на определение оптимального расстояния между путями лесотранспорта.

Удельные затраты на первичную транспортировку леса $C_{тр}$ можно выразить формулой

$$C_{тр} = \frac{Mt_0}{T_{см}Q_{пол}}, \tag{4}$$

где M — стоимость тракторосмены трелевочного трактора, руб./м³;

$T_{см}$ — продолжительность рабочей смены за вычетом времени на подготовительно-заключительные операции и отдых рабочих, мин;

$Q_{пол}$ — полезная нагрузка на рейс, м³;

t_0 — время одного рейса трелевочного трактора, мин.

Во всех рассмотренных вариантах технологии лесозаготовок параметр t_0 определяется зависимостью

$$t_0 = t_1 + t_2 = \frac{60l_{ср}}{v_{с.т}} + t_2, \tag{5}$$

где t_1 — время пробега трелевочной машины с грузом и порожним за один рейс, мин;

t_2 — время на формирование и отцепку пачки, не зависящее от расстояния трелевки, мин;

$l_{ср}$ — среднее расстояние транспортировки, км;

$v_{с.т}$ — средняя техническая скорость движения трактора за рейс, км/ч.

Если трелевочная машина выполняет и другие технологические операции (например, валку леса), то формула (5) будет иметь вид

$$t_0 = t_1 + t_2 + t_3, \tag{6}$$

где t_3 — время, затраченное на валку леса для набора пачки, мин;

или

$$t_0 = t_1 + t_2 + t_3 + t_4, \tag{7}$$

где t_4 — время, затраченное на обрезку сучьев и раскряжевку на сортименты деревьев, создающих пачку, мин.

Параметры t_2, t_3, t_4 не зависят от расстояния транспортировки. Возможно также и снижение значения полезной нагрузки $Q_{\text{пол}}$ в связи с ростом собственной массы машины. Подставив в формулу (4) значения t_0 , определенные по формулам (5)–(7), получаем значения затрат $C_1 - C_3$ (руб./м³)

$$C_1 = \frac{M_1 \left(\frac{60I_{\text{ср}}}{v_{\text{с.т}}} + t_2 \right)}{T_{\text{см}} Q_{\text{пол}}}; \quad (8)$$

$$C_2 = \frac{M_2 \left(\frac{60I_{\text{ср}}}{v_{\text{с.т}}} + t_2 + t_3 \right)}{T_{\text{см}} Q_{\text{пол}}}; \quad (9)$$

$$C_3 = \frac{M_3 \left(\frac{60I_{\text{ср}}}{v_{\text{с.т}}} + t_2 + t_3 + t_4 \right)}{T_{\text{см}} Q_{\text{пол}}}, \quad (10)$$

где $M_1 - M_3$ — стоимость тракторосмены трелевочного трактора, руб./м³.

Переменная части удельных затрат, т. е. зависящая от расстояния трелевки часть расходов составит соответственно

$$C'_1 = \frac{60M_1 \cdot I_{\text{ср}}}{T_{\text{см}} Q_{\text{пол}} v_{\text{с.т}}}; \quad (11)$$

$$C'_2 = \frac{60M_2 \cdot I_{\text{ср}}}{T_{\text{см}} Q_{\text{пол}} v_{\text{с.т}}}; \quad (12)$$

$$C'_3 = \frac{60M_3 \cdot I_{\text{ср}}}{T_{\text{см}} Q_{\text{пол}} v_{\text{с.т}}}. \quad (13)$$

Выводы

Выполнение машиной не только транспортных, но и технологических операций не влияет на значение переменной части удельных затрат на первичную транспортировку леса в том случае, если это не вызовет увеличения стоимости тракторосмены M или снижения полезной нагрузки $Q_{\text{пол}}$. С увеличением времени работы трактора за один рейс t_0 вследствие выполнения им других технологических операций возрастают суммарные удельные затраты на первичную транспортировку леса. Расчеты показали, что высокомеханизированные методы являются более эффективными по сравнению с наиболее простой схемой, так как удельные затраты на весь комплекс лесосечных работ по схемам не превышает 20 %. Целесообразность назначения какой-либо технологической схемы лесозаготовок зависит в первую очередь от конкретных условий лесозаготовки.

Список литературы

- [1] Дрю Д. Теория транспортных потоков и управление ими. М.: Транспорт, 2012. 424 с.
- [2] Kozlov V.G. Mathematical modeling of damage function when attacking file server // J. Physics: Conference Series, 2018, v. 1015, pp. 032–069.
- [3] Kozlov V.G., Gulevsky V.A., Skrypnikov A.V., Logoyda V.S., Menzhulova A.S. Method of Individual Forecasting of Technical State of Logging Machines // IOP Conference Series: Materials Science and Engineering, 2018, v. 327(4), pp. 042–056. DOI: 10.1088/1757-899X/327/4/042056
- [4] Skrypnikov A.V., Dorokhin S.V., Kozlov V.G., Chernyshova E.V. Mathematical Model of Statistical Identification of Car Transport Informational Provision // J. Engineering and Applied Sciences, 2017, v. 12, no. 2, pp. 511–515.
- [5] Калужский Я.А., Бегма И.В., Кисляков В.М., Филиппов В.В. Применение теории массового обслуживания в проектировании автомобильных дорог. М.: Транспорт, 1969. 136 с.
- [6] Хомяк Я.В. Проектирование сетей автомобильных дорог. М.: Транспорт, 1983. 207 с.
- [7] Чернышова Е.В. Алгоритм решения задачи оптимального трассирования лесовозной автомобильной дороги на неоднородной местности // Вестник ВГУИТ, 2017. Т. 79. № 2 (72). С. 113–120.
- [8] Чернышова Е.В. Методы формирования цифровой модели местности при трассировании лесовозных автомобильных дорог // Системы. Методы. Технологии, 2017. № 3(35). С. 143–148.
- [9] Козлов В.Г., Скрыпников А.В., Чернышова Е.В., Чирков Е.В., Поставничий С.А., Могутнов Р.В. Теоретические основы и методы математического моделирования лесовозных автомобильных дорог // ИВУЗ Лесной журнал, 2018. № 6 (366). С. 117–127.
- [10] Zavrzhnov A.I., Belyaev A.N., Zelikov V.A., Tikhomirov P.V., Mikheev N.V. Designing mathematical models of geometric and technical parameters for modern road-building machines versus the main parameter of the system // Atlantis Highlights in Material Sciences and Technology Proceedings of the Int. Symp. «Engineering and Earth Sciences: Applied and Fundamental Research» dedicated to the 85-th anniversary of H.I. Ibragimov (ISEES 2019), 2019, pp. 823–827.
- [11] Berestnev O, Soliterman Y, Goman A Development of Scientific Bases of Forecasting and Reliability Increase of Mechanisms and Machines — One of the Key Problems of Engineering Science // Int. Symp. on History of Machines and Mechanisms Proceedings, 2000, pp. 325–332.
- [12] Бируля А.К. Эксплуатация автомобильных дорог. М.: Транспорт, 1966. 326 с.
- [13] Козлов В.Г., Скрыпников А.В., Микова Е.Ю., Могутнов Р.В., Зеликова Ю.А. Комплексные экспериментальные исследования изменения параметров и характеристик дорожных условий, транспортных потоков и режимов движения под влиянием климата и погоды // Лесотехнический журнал, 2018. Т. 8. № 2 (30). С. 156–168. DOI: 10.12737/article_5b240611858af4.37544962
- [14] Козлов В.Г. Методы, модели и алгоритмы проектирования лесовозных автомобильных дорог с учетом влияния климата и погоды на условия движения: дис. ... д-ра техн. наук. 05.21.01 Технология и машины лесозаготовок и лесного хозяйства. Архангельск, 2017. 406 с.
- [15] Кондрашова Е.В., Скворцова Т.В. Совершенствование организации дорожного движения в транспортных системах лесного комплекса // Системы управления и информационные технологии, 2008. № 3.2(33). С. 272–275.
- [16] Козлов В.Г., Скрыпников А.В., Микова Е.Ю., Могутнов Р.В., Чирков Е.В. Формирование модели проектирования системы «дорожные условия — транспортные потоки» и пути ее реализации // Лесоинженерное дело, 2018. Т. 8. № 1 (29). С. 100–111. DOI:10.12737/article_5ab0dfbe6ece23.91630316

Сведения об авторах

Никитин Владимир Валентинович — канд. техн. наук, доцент кафедры «Технология и оборудование лесопромышленного производства», МГТУ им. Н.Э. Баумана (Мытищинский филиал)

Скрыпников Алексей Васильевич — д-р техн. наук, декан факультета «Управление и информатика в технологических системах», ФГБОУ ВО «Воронежский государственный университет инженерных технологий», skrypnikovvsafe@mail.ru

Козлов Вячеслав Геннадиевич [✉] — д-р техн. наук, заместитель декана по научной работе Агроинженерного факультета, ФГБОУ ВО «Воронежский государственный аграрный университет имени Императора Петра I», vya-kozlov@yandex.ru

Михайленко Екатерина Викторовна — канд. техн. наук, зав. кафедрой технологии и транспортно-технологических машин, ФГБОУ ВО «Ухтинский государственный технический университет»

Пильник Юлия Николаевна — д-р техн. наук, профессор кафедры экологии, землеустройства и природопользования, ФГБОУ ВО «Ухтинский государственный технический университет»

Козлов Дмитрий Геннадиевич — канд. техн. наук, зам. декана по трудоустройству Агроинженерного факультета, ФГБОУ ВО «Воронежский государственный аграрный университет имени Императора Петра I», dimvsau@mail.ru

Сапелкин Роман Сергеевич — соискатель кафедры информационной безопасности, ФГБОУ ВО «Воронежский государственный университет инженерных технологий»

Поступила в редакцию 13.10.2021.

Одобрено после рецензирования 25.11.2021.

Принята к публикации 10.12.2021.

INFLUENCE OF FINAL FELLING ON COSTS PER UNIT AND IT'S MATHEMATICAL JUSTIFICATION

V.V. Nikitin¹, A.V. Skrypnikov², V.G. Kozlov^{3✉},
E.V. Mikhailenko⁴, Yu.N. Pilnik⁴, D.G. Kozlov³, R.S. Sapelkin²

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

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

³Voronezh State Agrarian University named after Emperor Peter the Great, 1, Michurina st., 394087, Voronezh, Russia

⁴Ukhta State Technical University, 13, Pervomayskaya st., 169300, Ukhta, Russia

vya-kozlov@yandex.ru

A broad analysis of the influence of logging types in determining the optimal distances of forest transportation is presented. Taking into account the methods of forestry and types of logging, the specific costs of primary transportation of the forest are presented and justified, as well as the selection of final felling schemes. The objective function is defined, which is the main part of the mathematical model, including all the elements and connections of the system of feasibility study of the elements of the plan of logging roads. It is concluded that the search for the optimal distance to the destination is reduced to the performance of not only transport, but also technological operations by the machine, which in turn do not affect the value of the variable part of the unit costs and the primary transportation of the forest, if this does not cause an increase in the cost of tractor exchange or a decrease in payload. Calculations have shown that highly mechanized methods are more effective, since the specific monetary costs for the entire complex of logging operations according to the schemes do not exceed 20 %. The expediency of using any of the technological schemes of logging depends on the specific conditions of logging.

Keywords: logging, skidding, logging roads, logging, transportation

Suggested citation: Nikitin V.V., Skrypnikov A.V., Kozlov V.G., Mikhailenko E.V., Pilnik Yu.N., Kozlov D.G., Sapelkin R.S. *Matematicheskoe obosnovanie vliyaniya vida rubki glavnogo pol'zovaniya na udel'nye zatraty* [Influence of final felling on costs per unit and it's mathematical justification]. *Lesnoy vestnik / Forestry Bulletin*, 2022, vol. 26, no. 2, pp. 110–119. DOI: 10.18698/2542-1468-2022-2-110-119

References

- [1] Dryu D. *Teoriya transportnykh potokov i upravlenie imi* [The theory of traffic flows and their management]. Moscow: Transport, 2012, 424 p.
- [2] Kozlov V.G. Mathematical modeling of damage function when attacking file server. *J. Physics: Conference Series*, 2018, v. 1015, pp. 032–069.
- [3] Kozlov V.G., Gulevsky V.A., Skrypnikov A.V., Logoyda V.S., Menzhulova A.S. Method of Individual Forecasting of Technical State of Logging Machines. *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*, 2018, v. 327(4), pp. 042–056. DOI: 10.1088/1757-899X/327/4/042056

- [4] Skrypnikov A.V., Dorokhin S.V., Kozlov V.G., Chernyshova E.V. Mathematical Model of Statistical Identification of Car Transport Informational Provision. *J. Engineering and Applied Sciences*, 2017, v. 12, no. 2, pp. 511–515.
- [5] Kaluzhskiy Ya.A., Begma I.V., Kislyakov V.M., Filippov V.V. *Primenenie teorii massovogo obsluzhivaniya v proektirovani avtomobil'nykh dorog* [Application of queuing theory in the design of highways]. Moscow: Transport, 1969, 136 p.
- [6] Khomyak Ya.V. *Proektirovanie setey avtomobil'nykh dorog* [Road network design]. Moscow: Transport, 1983, 207 p.
- [7] Chernyshova E.V. *Algoritim resheniya zadachi optimal'nogo trassirovaniya lesovoznoy avtomobil'noy dorogi na neodnorodnoy mestnosti* [Algorithm for solving the problem of optimal tracing of a timber road on a heterogeneous terrain]. *Vestnik VSUIT*, 2017, t. 79, no. 2 (72), pp. 113–120.
- [8] Chernyshova E.V. *Metody formirovaniya tsifrovoy modeli mestnosti pri trassirovani lesovoznykh avtomobil'nykh dorog* [Methods of forming a digital terrain model for tracing timber highways]. *Sistemy. Metody. Tekhnologii* [Systems. Methods. Technologies], 2017, no. 3 (35), pp. 143–148.
- [9] Kozlov V.G., Skrypnikov A.V., Chernyshova E.V., Chirkov E.V., Postavnichiy S.A., Mogutnov R.V. *Teoreticheskie osnovy i metody matematicheskogo modelirovaniya lesovoznykh avtomobil'nykh dorog* [Theoretical foundations and methods of mathematical modeling of logging highways]. *Lesnoy Zhurnal* (Russian Forestry Journal), 2018, no. 6 (366), pp. 117–127.
- [10] Zavrazhnov A.I., Belyaev A.N., Zelikov V.A., Tikhomirov P.V., Mikheev N.V. Designing mathematical models of geometric and technical parameters for modern road-building machines versus the main parameter of the system. *Atlantis Highlights in Material Sciences and Technology Proceedings of the International Symposium «Engineering and Earth Sciences: Applied and Fundamental Research» dedicated to the 85-th anniversary of H.I. Ibragimov (ISEES 2019)*, 2019. C. 823–827.
- [11] Berestnev O, Soliterman Y, Goman A Development of Scientific Bases of Forecasting and Reliability Increase of Mechanisms and Machines — One of the Key Problems of Engineering Science. *International Symposium on History of Machines and Mechanisms Proceedings*, 2000, pp. 325–332.
- [12] Birulya A.K. *Ekspluatatsiya avtomobil'nykh dorog* [Operation of highways]. Moscow: Transport, 1966, 326 p.
- [13] Kozlov V.G., Skrypnikov A.V., Mikova E.Yu., Mogutnov R.V., Zelikova Yu.A. *Kompleksnyye eksperimental'nye issledovaniya izmeneniya parametrov i kharakteristik dorozhnykh usloviy, transportnykh potokov i rezhimov dvizheniya pod vliyaniem klimata i pogody* [Complex experimental studies of changes in the parameters and characteristics of road conditions, traffic flows and modes of movement under the influence of climate and weather]. *Lesnoy Zhurnal* (Russian Forestry Journal), 2018, v. 8, no. 2 (30), pp. 156–168. DOI: 10.12737 / article_5b240611858af4.37544962
- [14] Kozlov V.G. *Metody, modeli i algoritmy proektirovaniya lesovoznykh avtomobil'nykh dorog s uchedom vliyaniya klimata i pogody na usloviya dvizheniya* [Methods, Models and Algorithms for Designing Timber Highways Taking into Account the Effect of Climate and Weather on Traffic Conditions]. *Diss. ... Dr. Sci. (Tech.)*. Arkhangelsk: NArFU, 2017, 406 p.
- [15] Kondrashova E.V., Skvortsova T.V. *Sovershenstvovanie organizatsii dorozhnogo dvizheniya v transportnykh sistemakh lesnogo kompleksa* [Improvement of the organization of road traffic in transport systems of the forestry complex]. *Sistemy upravleniya i informatsionnye tekhnologii* [Management systems and information technologies], 2008, no. 3.2 (33), pp. 272–275.
- [16] Kozlov V.G., Skrypnikov A.V., Mikova E.Yu., Mogutnov R.V., Chirkov E.V. *Formirovanie modeli proektirovaniya sistemy «dorozhnye usloviya — transportnye potoki» i puti ee realizatsii* [Formation of a design model for the «road conditions — traffic flows» system and the ways of its implementation]. *Lesoinzhenernoe delo* [Forest engineering], 2018, v. 8, no. 1 (29), pp. 100–111. DOI: 10.12737 / article_5ab0dfbe6ece23.91630316

Authors' information

Nikitin Vladimir Valentinovich — Cand. Sci. (Tech.), Associate Professor of the BMSTU (Mytishchi branch)

Skrypnikov Aleksey Vasil'evich — Dr. Sci. (Tech.), Dean of the faculty of Management and computer science in technological systems, of the Voronezh State University of Engineering Technologies, skrypnikovvsafe@mail.ru

Kozlov Vyacheslav Gennadievich — Dr. Sci. (Tech.), Deputy Dean on scientific work of Agricultural engineering faculty of the Voronezh State Agricultural University named after Emperor Peter I, vya-kozlov@yandex.ru

Mikhaylenko Ekaterina Viktorovna — Cand. Sci. (Tech.), Head of the Department of Technology and Transport and Technological Machines, of the Ukhta State Technical University

Pil'nik Yuliya Nikolaevna — Dr. Sci. (Tech.), Professor of the Department of Ecology, Land Management and Environmental Management, UKHTA State Technical University

Kozlov Dmitry Gennadievich — Cand. Sci. (Tech.), Deputy Dean for Employment of the Faculty of Agricultural Engineering, Voronezh State Agricultural University named after Emperor Peter I, dimvsau@mail.ru

Sapelkin Roman Sergeevich — Candidate of the Department of Information Security, Voronezh State University of Engineering Technologies

Received 13.10.2021.

Approved after review 25.11.2021.

Accepted for publication 10.12.2021.

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

НЕЙРО-НЕЧЕТКАЯ СЕТЬ ДЛЯ ОЦЕНКИ ОСТАТОЧНОГО РЕСУРСА ТРАКТОРНЫХ ДВИГАТЕЛЕЙ

В.В. Побединский^{1, 2✉}, Г.А. Иовлев², С.В. Ляхов^{1, 3}, И.И. Голдина²

¹ФГБОУ ВО «Уральский государственный лесотехнический университет», 620100, г. Екатеринбург,

ул. Сибирский тракт, д. 37

²ФГБОУ ВО «Уральский государственный аграрный университет», 620075, г. Екатеринбург, ул. Карла Либкнехта, д. 42

³ФГБОУ ВО «Уральский федеральный университет имени первого Президента России Б.Н. Ельцина», 620002,

г. Екатеринбург, ул. Мира, д. 19

pobed@e1.ru

Рассмотрена проблема совершенствования технической эксплуатации транспортно-технологических машин, в частности диагностика технического состояния тракторных двигателей и определения его остаточного ресурса. Цель исследований заключалась в создании нейро-нечеткой сети для определения остаточного ресурса двигателей тракторов BELARUS-80.1/82.1 и ХТЗ-17221 по величине износов коленчатых валов двигателей. Был проведен анализ опыта использования приложений интеллектуальных систем для диагностирования транспортно-технологических машин и возможного их применения в других областях; экспериментально определен износ коленчатых валов тракторов; статистически обработаны экспериментальные данные и расчетно определен ресурс тракторов. Ресурсные показатели определялись для наиболее ответственного узла, коленчатого вала по главным параметрам — величине его износа в местах крепления шатунных и коренных шеек. Параметры износа в работе определены в ходе экспериментальных исследований с последующей статистической обработки. Получены функции распределений величины износа в четырех ответственных местах коленчатого вала. Экспериментальные данные послужили исходными данными для нейро-нечеткой сети, которая реализована в среде MATLAB. Представлены экспериментальные данные по износам агрегатов двигателей тракторов и полученные на их основе значения остаточного ресурса двигателей.

Ключевые слова: трактор BELARUS-80.1/82.1, трактор ХТЗ-17221, износ коленчатого вала, интеллектуальная система, нейро-нечеткая сеть

Ссылка для цитирования: Побединский В.В., Иовлев Г.А., Ляхов С.В., Голдина И.И. Нейро-нечеткая сеть для оценки остаточного ресурса тракторных двигателей // Лесной вестник / Forestry Bulletin, 2022. Т. 26. № 2. С. 120–130. DOI: 10.18698/2542-1468-2022-2-120-130

В сельском хозяйстве России наиболее широко применяются тракторы малой мощности, преимущественно марки Минского тракторного завода (Белоруссия) — BELARUS-80.1/82.1. Кроме того, в эксплуатации находится большой парк тракторов Харьковского тракторного завода (Украина) — ХТЗ-17221. Такие тракторы, а также технологические машины на их базе находят применение и в лесопромышленном комплексе. Поскольку затраты на техническое обслуживание и ремонт тракторов во много раз превосходят расходы на покупку сельскохозяйственной техники, актуальность приобретает задача совершенствования ее технической эксплуатации. Стратегия технической эксплуатации максимально зависит от остаточного ресурса машины и прежде всего его энергосиловой установки — двигателя. Ресурс двигателя можно определить по износам шеек коленчатого вала, исследованию его посвящены многие работы [1–5]. При этом данные по износам коренных шеек коленчатых валов для моделей BELARUS-80.1/82.1 и ХТЗ-17221 отсутствуют. Получение таких данных позволит повысить эффективность технической эксплуатации благодаря правильно назначенному превентивному

обслуживанию техники, что повлечет за собой сокращение затрат на ее ремонт.

Конкретные значения износов требуют соответствующей интерпретации и установления функциональной их связи с показателями ресурса, что указывает на еще одну научную проблему. Главной причиной проблемы служит большое количество факторов, характеризующихся свойствами неопределенности с точки зрения математики и теории нечетких множеств и их взаимной связи с другими параметрами, а для задач с такими условиями предназначены методы интеллектуальных систем и нейросетей.

Использование интеллектуальных систем для диагностирования двигателей ныне привлекает внимание многих исследователей, поэтому идут активные разработки подобных им объектов. Особенность здесь состоит в том, что требуется индивидуальный подход в каждом конкретном случае, и в частности в рассматриваемом.

Для указанных двух моделей тракторов, прежде всего, необходимы данные по износу коленчатых валов, которые соответствующим образом следует обработать и выявить функциональную связь величины износов с показателями ресурса двигателя, считая, что наиболее достоверным может быть подход к решению проблемы подход

на основе интеллектуальных экспертных систем или нейросетей.

Цель работы

Цель работы — создание нейронной сети для определения ресурсов двигателей сельскохозяйственных тракторов BELARUS-80.1/82.1 и ХТЗ-17221 по износу коленчатых валов их двигателей.

Материалы и методы исследования

Для достижения поставленной цели были сформулированы и решены следующие задачи:

1) проведение анализа опыта использования приложений интеллектуальных систем для диагностирования транспортно-технологических машин и возможного их применения в других областях практики;

2) экспериментальное определение износов коленчатых валов тракторов;

3) статистическая обработка экспериментальных данных и расчетное определение значений ресурсов тракторов;

4) подготовка экспериментальных данных для формирования обучающих выборок нейронной сети;

5) разработка нейронной сети;

6) глубокое обучение нейронной сети;

7) тестирование нейронной сети и проверка ее адекватности.

Исследования проводились с помощью теории эксперимента, методов оценки технического состояния тракторных двигателей и обработки статистических данных. Учет факторов неопределенностей в исходных параметрах и их формализацию осуществляли согласно теории нечетких множеств, а интеллектуальную систему разрабатывали по методам проектирования продукционных нейро-нечетких сетей гибридного типа ANFIS (Adaptive Neuro-Fuzzy Inference System).

Результаты и обсуждение

Результаты анализа обзора работ по теме исследований. Вопросам совершенствования технической эксплуатации и диагностирования машин посвящены многие работы [6–10]. В частности, в работе [6] рассматривается проблема использования нейронных сетей и предлагается сверточная нейронная сеть для интеллектуального мониторинга состояния дизельных двигателей. Однако авторы анализируют отличительные особенности сигналов вибрации путем сверточного вычисления и операции объединения данных от нескольких отдельных нейронных сетей.

Анализ отказов техники и исследование особенностей детального повреждения коленчатого вала дизельного двигателя, особенности влияния фреттинг-износа на зарождение трещин в конструкции двигателя представлены в работе [1].

К тому же этими авторами исследовано влияние на надежность коленчатого вала крышки коренного подшипника и определено качество предварительной затяжки болтов.

Перспективы повышения доступности данных и облачных технологий для возможностей моделирования рабочих процессов в интеллектуальном производстве рассмотрены коллективом авторов [7]. В работе [7] предлагается структура анализа данных для диагностики основных причин первичного качества (FTQ), т. е. качество детали, измеренное впервые после выполнения всех процессов и операций на производственной линии. Авторами выполнен поиск ключевых факторов, влияющих на качество коленчатого вала двигателя. После предварительной обработки данных, полученных в реальном времени, и их анализа в работе [7] предложена модель на языке Python прогнозирования FTQ с помощью алгоритмов машинного обучения.

Причины зарождения и развития усталостной трещины, усталостного разрушения кривошипно-шатунного механизма дизельного двигателя, указаны в работе [2]. Исследования выполнялись с использованием метода конечных элементов, что позволило определить причину преждевременного усталостного разрушения, в частности установлена многоцикловая усталость материала во внешней зоне шейки кривошипа, для которой был рассчитан малый радиус конструкции. Кроме того, в этой работе сформулированы рекомендации по увеличению усталостной долговечности коленчатого вала.

Рациональная методика проведения испытаний коленчатого вала и соответствующее устройство для их проведения предложены в работе [8]. Авторами экспериментально определено статистическое распределение усталостных повреждений коленчатого вала, описанное наиболее достоверно для данных испытаний с помощью трехпараметрического распределения Вейбулла.

Все перечисленные результаты исследований дополняют имеющиеся знания о проблеме усталостной прочности коленчатого вала.

Модельная оценка сил реакции в упругой системе, поддерживающей крупногабаритные коленчатые валы, предложена в работе [9], авторы которой в своих исследованиях использовали математические модели (функции полигармонического, сплайнового полигармонического и моногармонического вида), для определения геометрических измерений коленчатых валов. Доказано, что моногармоническая модель достаточно адекватно описывает экспериментальные исходные данные для исследуемого коленчатого вала. При различных положениях в процессе вращения коленчатого вала для определения сил реакции опоры использовался метод конечных элементов.

Дефектам коленчатого вала дизельного двигателя посвящена работа [3]. В ходе экспериментальных исследований были выявлены микротрещины в его конструкции и проанализированы причины с помощью метода конечных элементов. Полученные в ходе исследований результаты позволили сделать вывод о том, что основной причиной преждевременного износа двигателя являются резонансные колебания коленчатого вала.

В работе [4] представлены результаты анализа усталостного разрушения коленчатого вала, выполненного как теоретическим, так и экспериментальным методом. Определены высокие напряжения в его конструкции, которые обусловили усталостные разрушения.

Оценка усталостных характеристик коленчатого вала дизельного двигателя, накатанного на галтели, выполнена в работе [11]. Исследованы влияние конструкционных материалов, типа прокатки высокопрочного чугуна и уровней напряжений на усталостные характеристики коленчатых валов. Расчеты выполнены по методу конечных элементов.

Исследования природы стохастического усталостного разрушения коленчатого вала двигателя автомобиля изложены в аналитическом обзоре [5]. Отмечен факт наличия неопределенностей в параметрах, влияющих на усталостную долговечность конструкции. Указаны факторы случайной природы, которые вносятся прочностными параметрами конструкционных материалов, геометрическими параметрами конструкции и величиной рабочих нагрузок. Обзор предоставляет базу для понимания стохастического усталостного разрушения и прогнозирования структурной целостности элементов конструкции коленчатых валов.

Исследованию долговечности и надежности, необходимому на первом этапе проектирования дизельного двигателя, посвящена работа [10]. Обобщен комплексный подход к анализу долговечности и надежности системы двигателя.

Сравнительное исследование критериев усталости для прогнозирования разрушения конструкции двигателя приведено в работе [12]. Авторы разработали численную процедуру для прогнозирования усталостного разрушения головки блока цилиндров. При этом выявили, что значительного превосходства между рассматриваемыми моделями многоосной усталости не наблюдается.

Новый подход к совершенствованию моделей для двигателей среднего объема с искровым зажиганием с использованием нейронных сетей изложен в работе [13]. Исследования проводились с помощью современных методов моделирования с использованием концепции нейронных сетей, которые реализованы в среде Simulink. В конечном итоге, такие модели смогут точно прогнозировать

выходные данные двигателя (установившиеся и переходные состояния), в частности динамические нагрузки, крутящий момент и скорость работы двигателя в реальном времени.

Причины отказов коленчатых валов дизельных двигателей изучены авторами работы [14]. В конструкциях кованных, нормализованных и частично закаленных коленчатых валов рассмотрено влияние на усталостную прочность химического состава, микроструктуры, свойств при растяжении и вязкости по Шарпи, а также значения твердости. С помощью фрактографических исследований были предприняты попытки оценить уровень напряжения, который приводит к дальнейшему развитию усталости в области галтели шатунной шейки и перегородки. Даны рекомендации по обработке валов и конструктивным параметрам.

Анализ обзора исследований показывает, что проблема оценки долговечности была и остается актуальной, однако подавляющее большинство работ посвящено изучению механизма накопления усталостных разрушений. Наиболее популярными для численной оценки этого процесса являются компьютерные программы, разработанные на основе метода конечных элементов. Публикации за 2015–2021 гг. демонстрируют все большую популярность нейронных сетей, но для реализации той же проблемы изучения механизма развития усталостных повреждений. Важным моментом для этих работ является указание на неопределенность влияющих факторов при оценке долговечности. Как известно [15–18], для решения такого класса задач самым эффективным инструментарием является аппарат интеллектуальных систем в виде экспертных систем или нейронных сетей. Несмотря на эффективность методов на основе интеллектуальных систем и нечеткой логики, в российской науке в области диагностирования двигателей тракторов указанных марок в целях оценки остаточного ресурса такие работы практически отсутствуют.

Таким образом, создание способов оценки технического состояния двигателей и их остаточного ресурса у тракторных двигателей моделей BELARUS-80.1/82.1 и ХТЗ-17221 с учетом факторов неопределенности является важной научно-практической проблемой, а отсутствие разработок по этой теме не позволяет эффективно решать проблему и представляет собой препятствие для дальнейшего совершенствования технической эксплуатации ТТМ и конструкции их двигателей.

Проведение экспериментов и обработка статистических данных. Экспериментальные исследования были проведены в условиях ПАО «Каменское» (Свердловская обл.) при ТО-3 на тракторах с наработкой до 5000 моточас, пред-

Т а б л и ц а 1

Сгруппированные значения износа четырех ответственных мест коленчатого вала

Grouped wear values of the four critical points of the shaft

1-я коренная шейка						
Величина износа, мм	0,02	0,04	0,06	0,08	0,10	0,12
Количество замеров, ед.	4	14	28	21	11	2
Шатунные шейки по оси симметрии						
Величина износа, мм	0,03	0,05	0,07	0,09	0,11	0,13
Количество замеров, ед.	8	15	19	19	13	6
Щеки шатунных шеек в плоскости поперечной к оси симметрии						
Величина износа, мм	0,02	0,04	0,06	0,08	0,10	0,12
Количество замеров, ед.	9	16	25	22	7	2
4-я коренная шейка						
Величина износа, мм	0,02	0,04	0,06	0,08	0,10	
Количество замеров, ед.	6	20	28	16	7	

шествующей капитальному ремонту. Ремонтно-механический завод обслуживает парк техники, включающий в себя около 1000 тракторов в год, в основном марок BELARUS-80.1/82.1 и ХТЗ-17221. Одновременно исследовали двигатели автомобилей КАМАЗ при текущем ремонте с пробегом до 200 тыс. км и автомобилей ГАЗ-3309 с пробегом 150 тыс. км.

В ходе исследований в разобранных двигателях были измерены параметры коренных и шатунных шеек коленчатых валов для определения их износа. По каждому параметру определен статистический ряд замеров. Созданная база статистических рядов обработана для получения гистограмм распределения случайной величины. Число интервалов гистограмм рассчитано по формуле Стерджесса (табл. 1). Определен вид наилучшей функции статистического распределения по критерию χ^2 (хи-квадрат).

В результате статистической обработки в среде Distribution Tools приложения MATLAB [19] по закону нормального распределения получены распределения случайных величин износа (рис. 1) со следующими параметрами:

– 1-й коренной шейки: математическое ожидание — $m = 0,067$, дисперсия — $\sigma = 0,023$;

– щеки шатунных шеек по оси симметрии: $m = 0,078$, $\sigma = 0,028$;

– щеки шатунных шеек в плоскости, поперечной к оси симметрии: $m = 0,062$, $\sigma = 0,024$;

– 4-й коренной шейки: $m = 0,059$, дисперсии $\sigma = 0,021$.

С использованием полученных статистических данных был рассчитан остаточный ресурс двигателей согласно методике, изложенной в методических указаниях [20, 21].

Постановка задачи оценки остаточного ресурса с использованием нейросети. Оценка остаточного ресурса R определяется на основе

данных по износам X_1, X_4 1-й и 4-й коренной шейки коленчатого вала, а также износам шатунной шейки по оси симметрии X_2 , и в поперечной к оси симметрии плоскости X_3 . По этим данным формируются обучающие выборки нейронной сети.

Формально постановка задачи выглядит следующим образом

$$R = f(X_1, X_2, X_3, X_4). \quad (1)$$

Для решения задачи с использованием нейронной сети следует определить обучающие выборки входных и значения выходного параметров. Рекомендованное количество примеров обучающего множества Q можно рассчитать по формуле [7]

$$Q = 7N_x + 15, \quad (2)$$

где N_x — количество входных переменных сети.

В отношении формулы (2) автор работы [15] отмечает, что она приемлема для построения регрессионных моделей, а для нейронных сетей эмпирически определено достаточное количество примеров, которое в 2–4 раза меньше.

В рассматриваемом случае обучение, т. е. обеспечение приемлемой точности, было достигнуто на 10 примерах (табл. 2, 3).

Таким образом, в качестве входных и выходных параметров нейросети для двигателей трактора BELARUS-80.1/82.1 были определены следующие показатели:

– износ 1-й коренной шейки X_1 — от 0,02 до 0,11 мм;

– износ шатунной шейки по оси симметрии X_2 — от 0,02 до 0,11 мм;

– износ шатунной шейки в поперечной к оси симметрии плоскости X_3 — от 0,03 до 0,12 мм;

– износ 4-й коренной шейки X_4 — от 0,01 до 0,10 мм.

Выходной переменной является ресурс R — от 360 до 1640 моточасов.

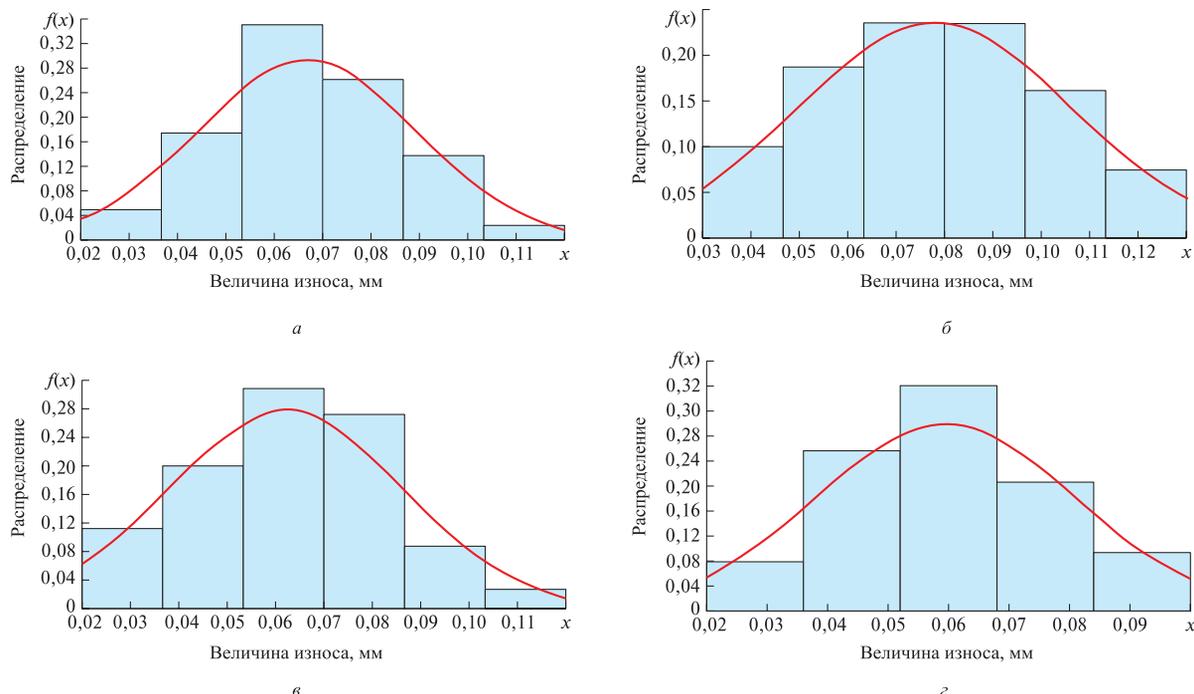


Рис. 1. Статистическое распределение значения износа: *а* — 1-й коренной шейки (математическое ожидание — $m = 0,067$, дисперсия — $\sigma = 0,023$); *б* — шек шатунных шеек по оси симметрии ($m = 0,078$, $\sigma = 0,028$); *в* — шек шатунных шеек по оси симметрии ($m = 0,062$, $\sigma = 0,024$); *г* — 4-й коренной шейки ($m = 0,059$, $\sigma = 0,021$)

Fig. 1. Statistical distribution of the wear value: *a* — of the 1st main journal (mathematical expectation — $m = 0,067$, variance — $\sigma = 0,023$); *б* — of the connecting rod jaws necks along the axis of symmetry ($m = 0,078$, $\sigma = 0,028$); *в* — of the connecting rod jaws necks along the axis of symmetry ($m = 0,062$, $\sigma = 0,024$); *г* — of the 4th main journal ($m = 0,059$, $\sigma = 0,021$)

Т а б л и ц а 2

Значения износа, вероятность появления случайной величины $P(x)$ и ресурс коленчатого вала двигателя трактора BELARUS-80.1/82.1

Wear values, probability of occurrence of a random variable $P(x)$ and the resource of the crankshaft of the tractor BELARUS-80.1/82.1

№ п/п	Износ				Ресурс R, моточас
	1-й коренной шейки X_1 , мм	шатунной шейки по оси симметрии X_2 , мм	шатунной шейки в поперечной к оси симметрии плоскости X_3 , мм	4-й коренной шейки X_4 , мм	
1	0,02	0,03	0,02	0,01	1640
2	0,03	0,04	0,03	0,02	1470
3	0,04	0,05	0,04	0,03	1180
4	0,05	0,06	0,05	0,04	1010
5	0,06	0,073	0,056	0,05	800
6	0,07	0,08	0,07	0,06	730
7	0,08	0,09	0,08	0,07	620
8	0,09	0,10	0,09	0,08	520
9	0,10	0,11	0,10	0,09	430
10	0,11	0,12	0,11	0,10	360

Для двигателей трактора ХТЗ-17221 входные данные определены в тех же пределах, как и для двигателей BELARUS-80.1/82.1, а для выходной переменной ресурс R — от 300 до 1540 моточас.

Разработка нейронной сети. Интеллектуальную систему в рассматриваемом случае строим в виде адаптивной нейро-нечеткой продукционной сети типа ANFIS (Adaptive Network-based Fuzzy Inference System). Ее преимущество перед

**Значения износа, вероятность появления случайной величины $P(x)$
и ресурс коленчатого вала двигателя трактора ХТЗ-17221**

**Wear values, probability of occurrence of a random variable $P(x)$
and the resource of the crankshaft of the tractor engine HTZ-17221**

№ п/п	Износ				Ресурс R , моточас
	1-й коренной шейки X_1 , мм	шатунной шейки по оси симметрии X_2 , мм	шатунной шейки в поперечной к оси симметрии плоскости X_3 , мм	4-й коренной шейки X_4 , мм	
1	0,02	0,03	0,02	0,01	1540
2	0,03	0,04	0,03	0,02	1290
3	0,04	0,05	0,04	0,03	1100
4	0,05	0,06	0,05	0,04	1010
5	0,06	0,073	0,056	0,05	780
6	0,07	0,08	0,07	0,06	660
7	0,08	0,09	0,08	0,07	550
8	0,09	0,10	0,09	0,08	460
9	0,10	0,11	0,10	0,09	380
10	0,11	0,12	0,11	0,10	300

простой нейронной сетью состоит в том, что она обладает свойствами как продукционных нечетких систем, основанных на базе правил, так и простых сетей, которые при работе не используют базу правил. По этому признаку сеть ANFIS относится к гибридным системам.

Для реализации модели использована среда *anfisedit* — одно из приложений (Toolbox) системы MATLAB [19]. Процесс создания сети ANFIS приведен на рис. 2, *a–d*. Вначале создается файл формата *.dat* с исходными данными в виде матрицы (рис. 2, *a*) и загружается в систему. Затем определяется структура сети, основанной на правилах с нечетким выводом по методу Сугено (рис. 2, *b*) и выполняется корректировка лингвистических переменных для всех входных параметров (рис. 2, *в*). Следует отметить, что корректировка лингвистических переменных может не выполняться, т. к. они могут приниматься по умолчанию. Но в этом случае все термножества будут треугольного типа. Запускается генерация сети, выводится ее структура (рис. 2, *г*) и база правил. Созданная база правил показана на визуальной форме пользовательского интерфейса (рис. 2, *д*).

После создания сети выполняется ее обучение (тренировка, как записано в меню интерфейса). В данном случае обучение обеспечивает точность — если исходить из примера первой выборки, то до третьего знака после запятой (рис. 3, *a, б*). Физически такая точность означает, что определен ресурс с точностью до 1 моточаса (см. рис. 3, *б*). Следовательно, сеть настроена и для оценки ее адекватности была выполнена проверка на

тестовых примерах. Параметры тестовых примеров были заданы в рабочей области MATLAB.

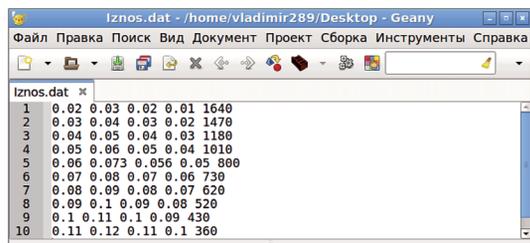
Так, для выборки $X_1 = 0,065$ мм, $X_2 = 0,075$ мм, $X_3 = 0,065$ мм, $X_4 = 0,055$ мм, $R = 793$ моточас (см. рис. 3, *б*) получено по традиционной методике расчетное значение $R = 787$ моточас, которое практически совпадает с исходным значением в тестовом примере. Задавая другие тестовые примеры по модели, можно получить значения, согласующиеся с результатами расчетов и экспериментальными данными (с расхождениями не более 0,05 %).

Такая точность обеспечивается в области значений, близких к значениям обучающей выборки. Если погрешность будет увеличиваться по мере большего отклонения тестовых значений от обучающихся, то следует провести переобучение сети с новыми данными.

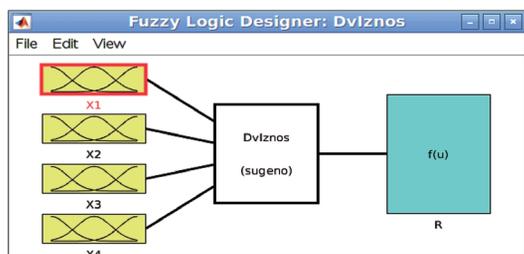
Некоторые зависимости ресурса двигателя трактора BELARUS-80.1/82.1 от износа элементов по результатам расчетов по нейронной сети приведены на рис. 4. Двухмерные графики получены от двух входных переменных, а две другие были закреплены на нулевом значении.

По методике, аналогичной вышеописанной, была разработана нейро-нечеткая сеть для определения ресурса двигателя трактора ХТЗ-17221. Полученные по этой нейронной сети зависимости приведены на рис. 5.

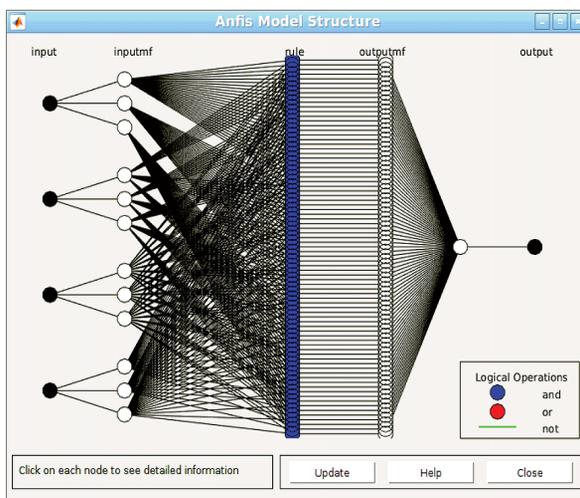
На графиках построены гиперповерхности функции ресурса также в зависимости от двух значений износа, при этом два других принимаются равными нулю.



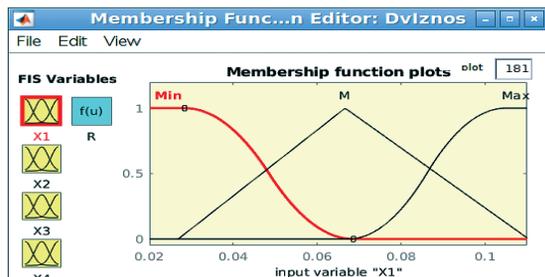
a



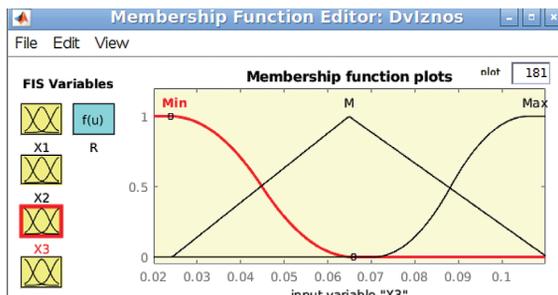
b



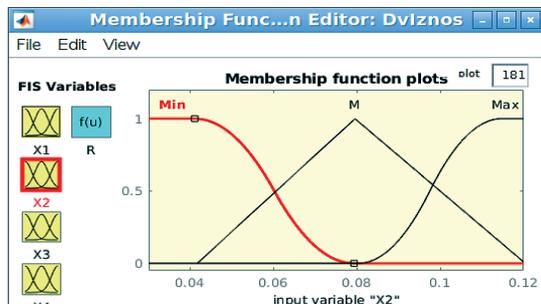
в



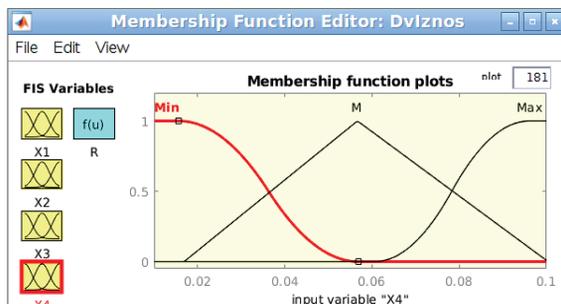
Переменная X_1



Переменная X_3

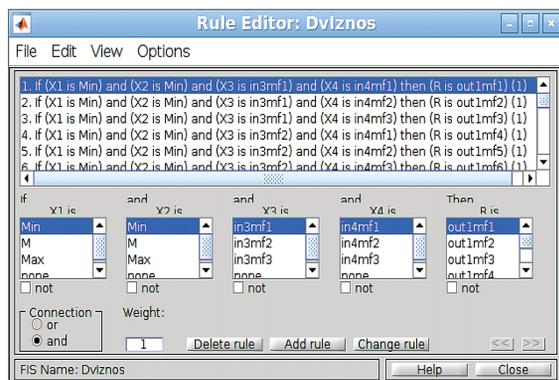


Переменная X_2



Переменная X_4

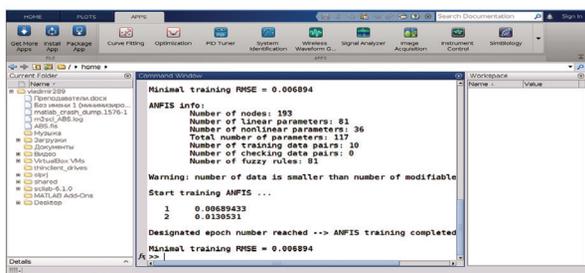
2



д

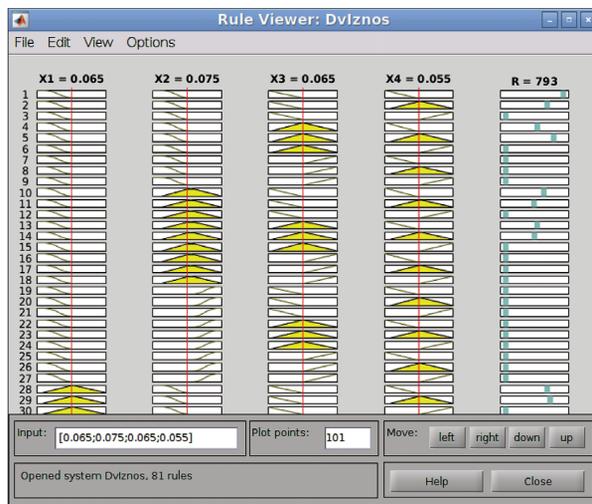
Рис. 2. Создание нейро-нечеткой сети ANFIS: а — создание файла с исходными данными; б — задание структуры сети и метода нечеткого вывода (Сугено); в — генерация нейронной сети; г — корректирование лингвистических переменных для всех входных параметров X_1-X_4 ; д — генерация базы правил

Fig. 2. Creation of ANFIS neural fuzzy network: a — creation of a file with initial data; б — setting the network structure and the method of fuzzy inference (Sugeno); в — neural network generation; г — correction of linguistic variables for all input parameters X_1-X_4 ; д — generation of the base of rules

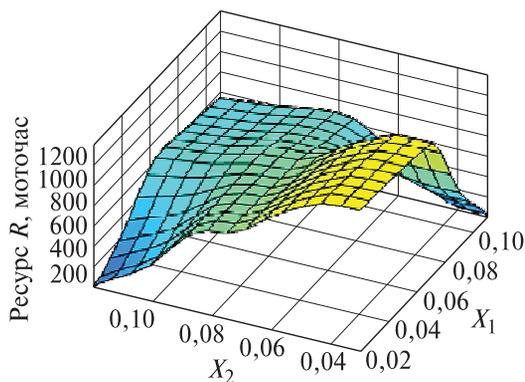


a

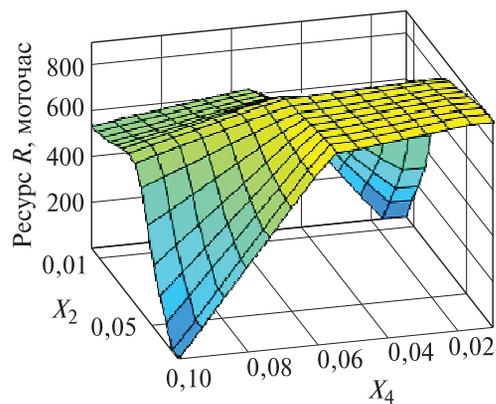
Рис. 3. Обучение нейронной сети и проверка на тестовых примерах: *a* — обучение сети и настройка под допустимое значение ошибки; *б* — проверка адекватности по тестовым примерам в процедуре Rule Viewer



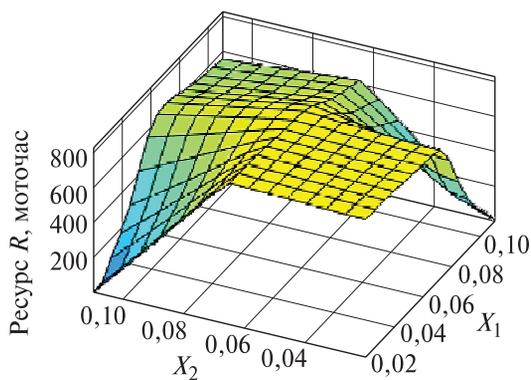
б



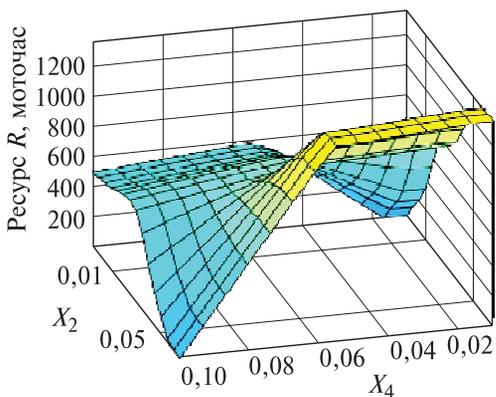
a



б



в



г

Рис. 4. Результаты расчетов по нейронной сети зависимости ресурса двигателя трактора BELARUS-80.1/82.1 от износа элементов: *a* — $R = f(X_1, X_2)$; *б* — $R = f(X_1, X_4)$; *в* — $R = f(X_1, X_3)$; *г* — $R = f(X_2, X_4)$

Fig. 4. Results of calculations for the neural network dependence of the engine resource of the BELARUS-80.1/82.1 tractor on the wear of the elements: *a* — $R = f(X_1, X_2)$; *б* — $R = f(X_1, X_4)$; *в* — $R = f(X_1, X_3)$; *г* — $R = f(X_2, X_4)$

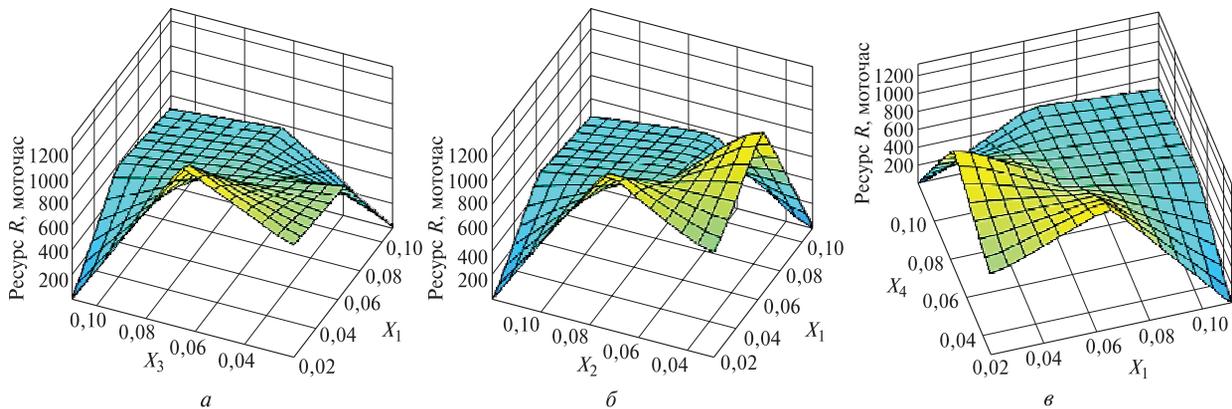


Рис. 5. Результаты расчетов по нейронной сети зависимости ресурса двигателя трактора: ХТЗ-17221 от износа элементов: а — $R = f(X_1, X_3)$; б — $R = f(X_1, X_2)$; в — $R = f(X_1, X_4)$

Fig. 5. The results of calculations on the neural network of the dependence of the resource of the tractor engine: HTZ-17221 on the wear of the elements: а — $R = f(X_1, X_3)$; б — $R = f(X_1, X_2)$; в — $R = f(X_1, X_4)$

Выводы

При выполнении проектов технической эксплуатации тракторного парка, усовершенствования конструкций двигателей, определении стратегий дальнейшего технического обслуживания, назначении превентивных мер воздействий на ТТМ следует учитывать остаточный ресурс двигателей, поскольку при отсутствии таких данных проектирование выполняется недостаточно корректно, что приводит к необоснованным решениям.

Предложенная интеллектуальная система в виде нейро-нечеткой сети для оценки ресурса двигателей построена на новых экспериментальных данных и является вполне адекватной, поэтому ее можно рекомендовать для использования в практике совершенствования конструкций двигателей и при определении стратегий дальнейшей эксплуатации, а также при проектировании ремонтно-обслуживающих баз ТТМ.

Список литературы

- [1] Fonte M., Freitas M., Reis L. Failure analysis of a damaged diesel motor crankshaft // *Engineering Failure Analysis*, 2019, v. 102, pp. 1–6.
- [2] Lucjan W., Michał S., Feliks S., Tomasz T. Stress and failure analysis of the crankshaft of diesel engine // *Engineering Failure Analysis*, 2017, v. 82, pp. 703–712.
- [3] Lucjan W., Feliks S., Arkadiusz Z. Failure investigation of the crankshaft of diesel engine // *Procedia Structural Integrity*, 2017, v. 5, pp. 369–376.
- [4] Li W., Yan Q., Xue J. Analysis of a crankshaft fatigue failure // *Engineering Failure Analysis*, 2015, v. 55, pp. 139–147.
- [5] Singh S.S.K., Abdullah S., Nikabdullah N. The needs of understanding stochastic fatigue failure for the automobile crank-shaft: A review // *Engineering Failure Analysis*, 2017, v. 80, pp. 464–471.
- [6] Wang R., Chen H., Guan C. Random convolutional neural network structure: An intelligent health monitoring scheme for diesel engines // *Measurement*, 2021, v. 171(8). p. 108786.
- [7] Ou X., Huang J., Chang Q., Hucker S., Lovasz J.G. First Time Quality Diagnostics and Improvement through Data Analysis: A Study of a Crankshaft Line // *Procedia Manufacturing*, 2020, v. 49, pp. 2–8.
- [8] Chen X., Yu X., Hu R., Li J. Statistical distribution of crankshaft fatigue: Experiment and modeling // *Engineering Failure Analysis*, 2014, v. 42, pp. 210–220.
- [9] Nozdrzykowski K., Chybowski L., Dorobczyński L. Model-based estimation of the reaction forces in an elastic system supporting largesize crankshafts during measurements of their geometric quantities // *Measurement*, 2020, v. 155, pp. 1–14.
- [10] Xin Q. Durability and reliability in diesel engine system design // *Diesel Engine System Design*, 2013, pp. 113–202.
- [11] Çevik G., Gürbüz R. Evaluation of fatigue performance of a fillet rolled diesel engine crankshaft // *Engineering Failure Analysis*, 2013, v. 27, pp. 250–261.
- [12] Saeidi Googarchin H., Sharifi S.M.H., Forouzes F., Hosseinpour G.H.R., Etesami S.M., Zade S.M. Comparative study on the fatigue criteria for the prediction of failure in engine structure // *Engineering Failure Analysis*, 2017, v. 79, pp. 714–725.
- [13] Shamekhi A.-M., Shamekhi A. H. A new approach in improvement of mean value models for spark ignition engines using neural networks // *Expert Systems with Applications*, 2015, v. 42, iss. 12, pp. 5192–5218.
- [14] Pandey R.K. Failure of diesel-engine crankshafts // *Engineering Failure Analysis*, 2003, v. 10, iss. 2, pp. 165–175.
- [15] Piegat A. *Fuzzy Modeling and Control*. Heidelberg: Physica-Verlag, 2001, 760 p. <https://doi.org/10.1007/978-3-7908-1824-6>.
- [16] Хултен Дж. Разработка интеллектуальных систем. М.: ДМК Пресс, 2019, 284 с.
- [17] Ясницкий Л.Н. Нейронные сети — инструмент для получения новых знаний: успехи, проблемы, перспективы // *Нейрокомпьютеры: разработка, применение*, 2015. № 5. С. 48–56.
- [18] Kruchinin I.N., Pobedinsky V.V., Kovalev R.N. Fuzzy simulation of forest road surface parameters // *The open access IOP Conference Series: Earth and Environmental Science (EES) provides a fast, versatile and cost-effective proceedings publication service*, 2019, v. 326. DOI: 10.1088/1755-1315/316/1/012026.
- [19] MATLAB Release Notes for R2013a. MathWorks. Available at: <https://www.mathworks.com/help/simulink/release-notes>. Highlight (дата обращения 15.02.2019).

[20] РД 50-490–84 Методические указания. Техническая диагностика. Прогнозирование остаточного ресурса машин и деталей по косвенным параметрам. М.: Издательство стандартов, 1985. 22 с.

[21] РД 50-423–83 Методические указания. Надежность в технике. Методика прогнозирования остаточного ресурса машин и деталей, подверженных изнашиванию. М.: Издательство стандартов, 1984. 36 с.

Сведения об авторах

Побединский Владимир Викторович[✉] — профессор, д-р техн. наук, зав. кафедрой интеллектуальных систем ФГБОУ ВО «Уральский государственный лесотехнический университет», pobed@e1.ru

Иовлев Григорий Александрович — канд. экон. наук, доцент, зав. кафедрой сервиса транспортных и технологических машин и оборудования АПК, ФГБОУ ВО «Уральский государственный аграрный университет», gri-iovlev@yandex.ru

Ляхов Сергей Владимирович — канд. техн. наук, доцент кафедры интеллектуальных систем, ФГБОУ ВО «Уральский государственный лесотехнический университет», доцент кафедры «Подъемно-транспортные машины и роботы», ФГАОУ ВО «Уральский федеральный университет имени первого Президента России Б.Н. Ельцина», lyahovsv@m.usfeu.ru

Голдина Ирина Игоревна — ст. преподаватель кафедры сервиса транспортных и технологических машин и оборудования АПК, ФГБОУ ВО «Уральский государственный аграрный университет», gri-iovlev@yandex.ru

Поступила в редакцию 16.08.2021.

Одобрено после рецензирования 18.10.2021.

Принята к публикации 17.11.2021.

NEURO-FUZZY NETWORK FOR EVALUATING TRACTOR ENGINES RESIDUAL LIFE

V.V. Pobedinsky^{1, 2✉}, G.A. Iovlev², S.V. Lyakhov^{1, 3}, I.I. Goldina²

¹Ural State Forest Engineering University, 37, Siberian tract st., 620100, Yekaterinburg, Russia

²Ural State Agrarian University, 42, Karl Liebknecht st., 620075, Yekaterinburg, Russia

³Ural Federal University named after the First President of Russia B.N. Yeltsin, 19, Mira st., 620002, Yekaterinburg, Russia

pobed@e1.ru

The issue of improving the technical operation of transport-technological machines, in particular, the diagnostics of the technical condition of tractor engines and determining its residual life is considered. The purpose of the research was to create a neuro-fuzzy network to determine the residual life of the tractors engines BELARUS-80.1/82.1 and KhTZ-17221 by the amount of the engine shafts wear. An analysis was made by using applications of intelligent systems for diagnosing transport and technological machines and their possible application in other areas; the wear of the tractors crankshafts was experimentally determined; experimental data were statistically processed and the resource of tractors was calculated. The resource indicators were determined for the most critical unit, the crankshaft, according to the main parameters - the amount of its wear at the points of attachment of the connecting rod and main journals. The wear parameters in the work were determined in the course of experimental studies with subsequent statistical processing. The distribution functions of the wear value in four critical places of the crankshaft are obtained. The experimental data served as the initial data for the neuro-fuzzy network, which is implemented in the MATLAB environment. Experimental data on the wear of tractor engine units and the values of the residual engine life obtained on their basis are presented.

Keywords: BELARUS-80.1/82.1 tractor, HTZ-17221 tractor, crankshaft wear, intelligent system; neuro-fuzzy network

Suggested citation: Pobedinsky V.V., Iovlev G.A., Lyakhov S.V., Goldina I.I. *Neuronechetkaya set' dlya otsenki ostatochnogo resursa traktornykh dvigateley* [Neuro-fuzzy network for evaluating tractor engines residual life]. *Lesnoy vestnik / Forestry Bulletin*, 2022, vol. 26, no. 2, pp. 120–130. DOI: 10.18698/2542-1468-2022-2-120-130

References

- [1] Fonte M., Freitas M., Reis L. Failure analysis of a damaged diesel motor crankshaft. *Engineering Failure Analysis*, 2019, v. 102, pp. 1–6.
- [2] Lucjan W., Michał S., Feliks S., Tomasz T. Stress and failure analysis of the crankshaft of diesel engine. *Engineering Failure Analysis*, 2017, v. 82, pp. 703–712.
- [3] Lucjan W., Feliks S., Arkadiusz Z. Failure investigation of the crankshaft of diesel engine. *Procedia Structural Integrity*, 2017, v. 5, pp. 369–376.

- [4] Li W., Yan Q., Xue J. Analysis of a crankshaft fatigue failure. *Engineering Failure Analysis*, 2015, v. 55, pp. 139–147.
- [5] Singh S.S.K., Abdullah S., Nikabdullah N. The needs of understanding stochastic fatigue failure for the automobile crankshaft: A review. *Engineering Failure Analysis*, 2017, v. 80, pp. 464–471.
- [6] Wang R., Chen H., Guan C. Random convolutional neural network structure: An intelligent health monitoring scheme for diesel engines. *Measurement*, 2021, v. 171(8). p. 108786.
- [7] Ou X., Huang J., Chang Q., Hucker S., Lovasz J.G. First Time Quality Diagnostics and Improvement through Data Analysis: A Study of a Crankshaft Line. *Procedia Manufacturing*, 2020, v. 49, pp. 2–8.
- [8] Chen X., Yu X., Hu R., Li J. Statistical distribution of crankshaft fatigue: Experiment and modeling. *Engineering Failure Analysis*, 2014, v. 42, pp. 210–220.
- [9] Nozdrzykowski K., Chybowski L., Dorobczyński L. Model-based estimation of the reaction forces in an elastic system supporting largesize crankshafts during measurements of their geometric quantities. *Measurement*, 2020, v. 155, pp. 1–14.
- [10] Xin Q. Durability and reliability in diesel engine system design. *Diesel Engine System Design*, 2013, pp. 113–202.
- [11] Çevik G., Gürbüz R. Evaluation of fatigue performance of a fillet rolled diesel engine crankshaft. *Engineering Failure Analysis*, 2013, v. 27, pp. 250–261.
- [12] Saeidi Googarchin H., Sharifi S.M.H., Forouzes F., Hosseinpour G.H.R., Etesami S.M., Zade S.M. Comparative study on the fatigue criteria for the prediction of failure in engine structure. *Engineering Failure Analysis*, 2017, v. 79, pp. 714–725.
- [13] Shamekhi A.-M., Shamekhi A. H. A new approach in improvement of mean value models for spark ignition engines using neural networks. *Expert Systems with Applications*, 2015, v. 42, iss. 12, pp. 5192–5218.
- [14] Pandey R.K. Failure of diesel-engine crankshafts. *Engineering Failure Analysis*, 2003, v. 10, iss. 2, pp. 165–175.
- [15] Piegat A. *Fuzzy Modeling and Control*. Heidelberg: Physica-Verlag, 2001, 760 p. <https://doi.org/10.1007/978-3-7908-1824-6>.
- [16] Hulten J. *Razrabotka intellektual'nykh sistem* [Development of intelligent system. Moscow: DMK Press, 2019, 284 p.
- [17] Yasnitsky L.N. *Neyronnye seti – instrument dlya polucheniya novykh znaniy: uspekhi, problemy, perspektivy* [Neural networks as a tool for obtaining new knowledge: successes, problems, prospects]. *Neyrokomp'yutery: razrabotka, primeneniye* [Neurocomputers: development, application], 2015, no. 5, pp. 48–56.
- [18] Kruchinin I.N., Pobedinsky V.V., Kovalev R.N. Fuzzy simulation of forest road surface parameters. The open access IOP Conference Series: Earth and Environmental Science (EES) provides a fast, versatile and cost-effective proceedings publication service, 2019, v. 326. DOI: 10.1088/1755-1315/316/1/012026.
- [19] MATLAB Release Notes for R2013a. MathWorks. Available at: <https://www.mathworks.com/help/simulink/release-notes.Highlight> (accessed 15.02.19).
- [20] RD 50-490-84 *Metodicheskie ukazaniya. Tekhnicheskaya diagnostika. Prognozirovaniye ostatochnogo resursa mashin i detaley po kosvennyim parametram* [Methodical instructions. Technical diagnostics. Forecasting the residual life of machines and parts by indirect parameters]. Moscow: Standards Publishing House, 1985, 22 p.
- [21] RD 50-423-83 *Metodicheskie ukazaniya. Nadezhnost' v tekhnike. Metodika prognozirovaniya ostatochnogo resursa mashin i detaley, podverzhennykh iznashivaniyu* [Guidelines. Reliability in technology. Methodology for predicting the residual life of machines and parts subject to wear]. Moscow: Standards Publishing House, 1984, 36 p.

Authors' information

Pobedinskiy Vladimir Viktorovich  — Dr. Sci. (Tech.), Professor, Head of the Department of Intelligent Systems, Ural State Forest Engineering University, pobed@e1.ru

Iovlev Grigory Aleksndrovich — Cand. Sci. (Economic), Associate Professor, Head of the Department of Service for Transport and Technological Machines and Equipment of Agroindustrial Complex, Ural State Agrarian University, gri-iovlev@yandex.ru

Lyakhov Sergey Vladimirovich — Cand. Sci. (Tech.), Associate Professor of the Department of Intelligent Systems, Ural State Forestry Engineering University, Associate Professor of the Department of Hoisting-and-Transport Machines and Robots of the Ural Federal University named after the first President of Russia B.N. Yeltsin, lyahovsv@m.usfeu.ru

Goldina Irina Igorevna — Senior Lecturer of the Department of Service for Transport and Technological Machines and Equipment of Agroindustrial Complex Ural State Agrarian University gri-iovlev@yandex.ru

Received 16.08.2021.

Approved after review 18.10.2021.

Accepted for publication 17.11.2021.

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

ОЦЕНКА СОСТОЯНИЙ ГРУПП ОБЪЕКТОВ НА ОСНОВЕ ЛИНГВИСТИЧЕСКИХ 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 оценки состояний групп объектов в условиях Z-информации на основе лингвистических Z-чисел, представляющих собой упорядоченные пары обычных нечетких чисел. Каждое из пары чисел является значением лингвистической переменной. Первое нечеткое число является оценкой состояния, второе число надежностью этой оценки. Состояния групп объектов формализованы в виде совокупностей лингвистических Z-чисел. Число элементов этих совокупностей равно числу элементов используемой шкалы. Оценки состояний групп объектов найдены с помощью сравнительного анализа с идеальным состоянием, для чего определено расстояние между двумя совокупностями лингвистических Z-чисел.

Ключевые слова: Z-число, Z-информация, надежность

Ссылка для цитирования: Полещук О.М. Оценка состояний групп объектов на основе лингвистических Z-чисел // Лесной вестник / Forestry Bulletin, 2022. Т. 26. № 2. С. 131–134.

DOI: 10.18698/2542-1468-2022-2-131-134

До определения Z-числа профессором Лотфи Заде [1], достоверность поступающей информации оценивали с помощью методов теории вероятностей, которые, как известно, были разработаны для обработки неопределенности случайного характера [2]. Попытки оценки достоверности субъективной информации, поступающей от экспертов, не были успешными, поскольку доминирующей составляющей неопределенности была не случайность, а нечеткость по причине использования экспертами нечетких понятий и определений типа «существенно больше», «небольшая вероятность», «низкая эффективность», «не очень уверен» и т. д. Поэтому возникла необходимость не только формализовать нечеткие высказывания экспертов, но и оценить их достоверность. Возможность формализовать нечеткие понятия и высказывания появилась после определения профессором Лотфи Заде нечеткого множества и лингвистической переменной [3]. С тех пор прошло 46 лет, ознаменовавшихся бурным развитием теории нечетких множеств прежде чем в 2011 г. было введено понятие Z-числа, давшего новые возможности для обработки нечеткой информации с учетом ее достоверности.

Для обработки Z-информации (информации с Z-числами) был разработан математический аппарат, включающий в себя операции над Z-числами, их ранжирование, расстояние между Z-числами и нечеткий кластерный анализ.

С 2011 г. начались разработки различных подходов к операциям над Z-числами. В частности, в

работах [4, 5] представлены разработки операций на основе вероятностных распределений, в работах [6, 7] разработки на основе агрегирующих показателей компонент Z-чисел.

Были также предложены подходы к ранжированию Z-чисел: в работе [8] ранжирование предлагается проводить на основе сравнительного анализа обеих компонент, в работе [9] — на основе расширения функции ожидаемой полезности.

Для определения расстояния между Z-числами исследователями [10] были использованы взвешенные первые компоненты Z-чисел с помощью дефаззификации вторых компонент. Авторы работы [8] определили расстояние между Z-числами на основе обеих компонент и взвешенных первых компонент. В работе [7] для определения расстояния использованы агрегирующие сегменты Z-чисел. Подобный подход позволил сохранить больше информации об исходных данных, чем при использовании их точечных агрегирующих показателей.

Все теоретические разработки открыли новые возможности для обработки нечеткой информации и решения практических задач в проблемных областях при активном участии экспертов.

Определение рейтинговых оценок объектов в условиях нечеткой информации является актуальной задачей, имеющей ряд практических приложений (в образовании, экологии, экономике и т. д.). Подходы к определению рейтинговых оценок объектов в условиях Z-информации изложены в работах [11–13]. Однако до сих пор не разработан ни один подход к определению оценок групп объектов в условиях Z-информации.

Цель работы

Цель работы — разработка модели оценки состояний групп объектов в условиях нечеткой информации с учетом ее достоверности.

Основные понятия и определения

Согласно работе [3], лингвистической переменной называется пятерка

$$\{X, T(X), U, V, S\},$$

где X — переменная;

$T(X) = \{X_l, l = \overline{1, m}\}$ — 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 .

В настоящей работе рассматриваются лингвистические переменные с универсальным множеством $U = [0, 1]$, функции принадлежности $\mu_l(x), l = \overline{1, m}$ которых, удовлетворяют следующим свойствам 1–4:

1) для каждого понятия $X_l, l = \overline{1, m}$ существует множество $\tilde{U}_l \neq \emptyset$, где $\tilde{U}_l = \{x \in U : \mu_l(x) = 1\}$ есть точка или отрезок;

2) пусть $\tilde{U}_l = \{x \in U : \mu_l(x) = 1\}$, тогда $\mu_l(x), l = \overline{1, m}$ не убывает слева от \tilde{U}_l и не возрастает справа от \tilde{U}_l ;

3) функции $\mu_l(x), l = \overline{1, m}$ имеют не более двух точек разрыва первого рода;

4) для каждого $x \in U$ $\sum_{l=1}^m \mu_l(x) = 1$.

В работе [2] представлен метод, разработанный для формализации состояний групп объектов, который основан на частотном подходе и геометрических вероятностях. Если, например, оценивается группа из K объектов, среди которых $k_l, l = \overline{1, m}$ объектов оценены l -м уровнем $A_l, l = \overline{1, m}$ используемой для оценки шкалы, то в соответствии с уровнем $A_l, l = \overline{1, m}$ ставится нечеткое число $\tilde{A}_l, l = \overline{1, m}$. Функция принадлежности нечеткого числа $\tilde{A}_l, l = \overline{1, m}$ строится таким образом, что площадь фигуры (трапеции или треугольника), ограниченной графиком этой функции, равна $\frac{k_l}{K}, l = \overline{1, m}$.

Точки пересечения могут иметь только соседние функции принадлежности. Функция принадлежности $\mu_B(x)$ нечеткого числа \tilde{B} определяется четырьмя параметрами $\mu_B(x) = (b_1, b_2, b_L, b_R)$ или $\tilde{B} = (b_1, b_2, b_L, b_R)$, если нечеткое число является трапециевидальным (графиком функции является трапеция). Первыми двумя параметрами являются

абсциссы левой и правой вершин верхнего основания трапеции, а двумя последними — длины левого и правого крыльев трапеции. Функция принадлежности $\mu_B(x)$ нечеткого числа \tilde{B} определяется тремя параметрами $\mu_B(x) = (b, b_L, b_R)$ или $\tilde{B} = (b, b_L, b_R)$, если нечеткое число является треугольным (графиком функции является треугольник): первый параметр — абсцисса вершины треугольника, а два последних — длины левого и правого крыльев треугольника.

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 представляет собой нечеткое расширение 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 [1].

Лингвистическим Z -числом $Z = (\tilde{A}, \tilde{R})$ называется Z -число, компоненты которого \tilde{A} и \tilde{R} являются значениями лингвистических переменных.

В работе [14] для нечеткого числа $\tilde{B} = (b_1, b_2, b_L, b_R)$ определена взвешенная точка

$$a = \frac{b_1 + b_2}{2} + \frac{1}{12}(b_R - b_L).$$

На основе взвешенных точек компонент Z -чисел в этой же работе определено расстояние между двумя Z -числами.

Пусть $Z_1 = (\tilde{A}_1, \tilde{R}_1), Z_2 = (\tilde{A}_2, \tilde{R}_2), a_1, a_2, r_1, r_2$ — взвешенные точки нечетких чисел соответственно $\tilde{A}_1, \tilde{A}_2, \tilde{R}_1, \tilde{R}_2$, тогда расстояние между Z_1, Z_2 определено следующим образом:

$$d(Z_1, Z_2) = \sqrt{(a_1 - a_2)^2 + (r_1 - r_2)^2}. \quad (1)$$

Расстояние из формулы (1) между двумя Z -числами будет использовано в следующем разделе для определения расстояния между состояниями групп объектов.

Постановка задачи и ее решение

Предположим, что эксперт оценивает некоторую качественную (нечисловую) характеристику у n групп объектов и для этого использует шкалу с лингвистическими уровнями (значениями) $A_l, l = \overline{1, m}$. Для оценки достоверности экспертной информации используется шкала с лингвистическими значениями $R_j, j = \overline{1, k}$.

Для формализации используемых шкал используются методы [2] на основе лингвистических переменных. Согласно этим методам, состояние i -й группы объектов $i = \overline{1, n}$ представим в виде лингвистической переменной со значениями $\tilde{A}_{il}, l = \overline{1, m}, i = \overline{1, n}$, формализующими уровни

шкалы $A_l, l = \overline{1, m}$. Достоверность экспертной информации представим в виде лингвистической переменной со значениями $\tilde{R}_j, j = \overline{1, k}$, формализующими уровни шкалы $R_j, j = \overline{1, k}$. Состояние i -й группы объектов с учетом достоверности экспертной информации представим в виде множества m Z -чисел $Z_{il} = (A_{il}, \tilde{R}_{il}), l = \overline{1, m}, i = \overline{1, n}$, где каждое из нечетких чисел $\tilde{R}_{il}, l = \overline{1, m}, i = \overline{1, n}$ равно одному из нечетких чисел $\tilde{R}_j, j = \overline{1, k}$. Если эксперт оценивает P объектов i -й группы уровнем $A_l, l = \overline{1, m}$ с достоверностью $\tilde{R}_{ipl} = (r_{ipl1}, r_{ipl2}, r_{ipl3}), i = \overline{1, n}, p = \overline{1, P}, l = \overline{1, m}$, где нечеткое число $\tilde{R}_{ipl}, i = \overline{1, n}, p = \overline{1, P}, l = \overline{1, m}$ равно одному из чисел $\tilde{R}_j, j = \overline{1, k}$, то $r_{i1} = \max_p(r_{ipl1}), r_{i2} = \max_p(r_{ipl2}), r_{i3} = \max_p(r_{ipl3})$.

Определяем идеальное состояние групп объектов (лучшее из возможных состояний) в виде множества m Z -чисел $(\tilde{A}_l^{id}, \tilde{R}_l^{id}), l = \overline{1, m}$, где $\tilde{A}_l^{id} = (0, 0, 0), l = \overline{1, m-1}, \tilde{A}_m^{id} = (0, 1, 0, 0), \tilde{R}_l^{id} = \tilde{R}_m, l = \overline{1, m}$.

Определяем наихудшее состояние групп объектов (худшее из возможных состояний) в виде множества m Z -чисел $(\tilde{A}_l^w, \tilde{R}_l^w), l = \overline{1, m}$, где $\tilde{A}_1^w = (0, 1, 0, 0), \tilde{A}_l^w = (0, 1, 0, 0), l = \overline{2, m}, \tilde{R}_l^w = \tilde{R}_1, l = \overline{1, m}$.

Взвешенные точки нечетких чисел $\tilde{A}_{il}, \tilde{R}_{il}, l = \overline{1, m}, i = \overline{1, n}$ обозначаем соответственно через $a_{il}, r_{il}, l = \overline{1, m}, i = \overline{1, n}$ и взвешенные точки нечетких чисел $\tilde{A}_l^{id}, \tilde{R}_l^{id}, l = \overline{1, m}$ соответственно через $a_l^{id}, r_l^{id}, l = \overline{1, m}$. Тогда расстояние между состоянием i -й группы объектов и идеальным состоянием определяем следующим образом:

$$\rho_i = \sqrt{\sum_{l=1}^m [(a_{il} - a_l^{id})^2 + (r_{il} - r_l^{id})^2]}. \quad (2)$$

Минимальное расстояние $\rho_i, i = \overline{1, n}$ равно нулю, в этом случае состояние i -й группы объектов совпадает с идеальным состоянием $(\tilde{A}_l^{id}, \tilde{R}_l^{id}), l = \overline{1, m}$. Максимальное расстояние обозначаем через

$$d_{\max} = \sqrt{\sum_{l=1}^m [(a_l^w - a_l^{id})^2 + (r_l^w - r_l^{id})^2]}. \quad (3)$$

При максимальном расстоянии состояние i -й группы объектов совпадает с наихудшим состоянием $(\tilde{A}_l^w, \tilde{R}_l^w), l = \overline{1, m}$.

Используя формулы (2) и (3), оценку состояния i -й группы объектов определяем следующим образом:

$$d_i = 1 - \frac{\rho_i}{d_{\max}}, i = \overline{1, n}. \quad (4)$$

Чем больше оценка (4), тем лучше состояние группы объектов. Если $d_i = 1$, то i -я группа объектов имеет идеальное состояние. Если $d_i = 0$, то i -я группа объектов имеет наихудшее состояние.

Выводы

Представленная модель оценки состояний групп объектов в условиях Z -информации открывает новые возможности для обработки экспертной информации с учетом ее достоверности.

Состояния групп объектов представляются в виде совокупностей лингвистических Z -чисел, компонентами которых являются нечеткие значения лингвистических переменных, формализующие используемые шкалы для оценки состояния групп и для оценки достоверности этих оценок.

Модель актуальна при оценке состояний видов растений в условиях больших городов и при выявлении наиболее устойчивых для включения их в план озеленения, а также при оценке показателей студентов разных направлений подготовки и их востребованности на рынке труда для определения контрольных цифр приема, при мониторинге функционирования различных марок автомобилей и бытовой техники, применима для решения задач различных областей деятельности человека с учетом достоверности экспертной информации.

Список литературы / References

- [1] Zadeh L.A. A Note on Z-numbers. Inform. Sciences, 2011, v. 14, no. 181, pp. 2923–2932.
- [2] Poleshchuk O., Komarov E. Expert Fuzzy Information Processing. Studies in Fuzziness and Soft Computing, 2011, v. 268, pp. 1–239.
- [3] Zadeh L.A. The Concept of a linguistic variable and its application to approximate reasoning. Inform. Sciences, 1975, v. 8, pp. 199–249.
- [4] Aliev R.A., Alizadeh A.V., Huseynov O.H. The arithmetic of discrete Z-Numbers. Inform. Sciences, 2015, v. 1(290), pp. 134–155.
- [5] Aliev R.A., Huseynov O.H., Zeinalova L.M. The arithmetic of continuous Z-Numbers. Inform. Sciences, 2016, v. 373, pp. 441–460.
- [6] Dutta P., Boruah H., Ali T. Fuzzy arithmetic with and without alpha-cut method: A comparative study. J. of Information and Computational Science, 2011, v. 1(2), pp. 99–107.
- [7] Poleshchuk O.M. Novel approach to multicriteria decision making under Z-information. Proceedings of the Int. Russian Automation Conf. (RusAutoCon-2019), Sochi, 8–11 September, 2019. Munich, Springer, 2019. P. 8867607. DOI: 10.1109/RUSAUTOCON.2019.8867607
- [8] Wang F., Mao J. Approach to multicriteria group decision making with Z-numbers based on Topsis and Power Aggregation Operators. Mathematical problems in Engineering, 2019, v. 3, pp. 1–18.
- [9] Aliyev R.R., Talal Mraizid D. A., Huseynov O.H. Expected utility based decision making under Z-information and its application. Computational Intelligence and Neuroscience, 2015, v. 3, p. 364512.
- [10] Kang B., Wei D., Li Y., Deng Y. A method of converting Z-number to classical fuzzy number. J. of Information and Computational Science, 2012, v. 9(3), pp. 703–709.
- [11] Полещук О.М. Модель принятия решений на основе Z -информации // Информационные технологии, 2020. № 11. С. 625–630. DOI:10.17587/it.26.625-630

- Poleshchuk O.M. *Model' prinyatiya resheniy na osnove Z-informatsii* [Decision-making model based on Z-information]. *Informatsionnye tekhnologii* [Information technologies], 2020, no. 11, pp. 625–630. DOI: 10.17587/it.26.625-630
- [12] 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
- [13] Poleshchuk O.M. Recognition of the state of objects under the initial Z-information. *Lecture Notes in Electrical Engineering*, 2021, v. 729, pp. 404–412. DOI: 10.1007/978-3-030-71119-1_40
- [14] Poleshchuk O.M. Monitoring Stability of Plant Species to Harmful Urban Environment Under Z-information. *Lecture Notes in Networks and Systems*, 2022, v. 308, pp. 863–870.

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 10.10.2021.

Одобрено после рецензирования 15.11.2021.

Принята к публикации 02.12.2021.

GROUPS OF OBJECTS STATE ASSESSMENT BASED ON LINGUISTIC 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 for assessing the states of groups of objects in terms of Z-information based on linguistic Z-numbers, which are ordered pairs of ordinary fuzzy numbers. Each of a pair of numbers is the value of a linguistic variable. The first fuzzy number is an estimate of the state the second is the reliability of this estimate. The states of groups of objects are formalized in the form of sets of linguistic Z-numbers. The number of elements of these sets is equal to the number of elements of the scale used. Estimates of the states of groups of objects were found using a comparative analysis with an ideal state, for which a distance between two sets of linguistic Z-numbers was determined.

Keywords: Z-number, expert criterion, reliability

Suggested citation: Poleshchuk O.M. *Otsenka sostoyaniy grupp ob'ektov na osnove lingvisticheskikh Z-chisel* [Groups of objects state assessment based on linguistic Z-numbers]. *Lesnoy vestnik / Forestry Bulletin*, 2022, vol. 26, no. 2, pp. 131–134. DOI: 10.18698/2542-1468-2022-2-131-134

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 10.10.2021.

Approved after review 15.11.2021.

Accepted for publication 02.12.2021.