

ЛЕСНОЙ ВЕСТНИК / FORESTRY BULLETIN

Научно-информационный журнал

№ 6 ' 2024 Том 28

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
Бугаёв Александр Степанович, академик РАН, д-р физ.-мат. наук, Московский физико-технический институт (национальный исследовательский университет), Москва
Бурмистрова Ольга Николаевна, д-р техн. наук, профессор, Ухтинский государственный технический университет
Говедар Зоран, член-корреспондент Академии наук и искусств Республики Сербской (АНИРС), профессор, доктор с.-х. наук, Университет г. Бая Лука, Республика Сербская, Босния и Герцеговина
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 ВГЛУ 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
Кирюхин Дмитрий Павлович, д-р хим. наук, ИПХФ РАН, Черноголовка
Классен Николай Владимирович, канд. физ.-мат. наук, ИФТТ РАН, Черноголовка
Ковачев Атанас, д-р архитектуры, профессор, член-корр. Болгарской АН, профессор Международной Академии Архитектуры, Иностраный член Российской академии архитектуры и строительных наук (РААСН), Почетный профессор Московского архитектурного института (Государственной академии), Варненский свободный университет им. «Черноризца Храбра», Варна, Болгария.
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
Липаткин Владимир Александрович, канд. биол. наук, профессор, Мытищинский филиал МГТУ им. Н.Э. Баумана, Москва
Лу Хайбао, д-р, профессор, заместитель директора Национальной ключевой лаборатории науки и технологий по передовым композитам в особых условиях, Харбинский политехнический университет, Китай
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, академик 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. Йоэнсуу, 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
Павленко Александр Николаевич, член-корреспондент РАН, д-р физ.-мат. наук, профессор, Институт теплофизики имени С.С. Кутателадзе СО РАН, Новосибирск
Пастори Золтан, д-р техн. наук, доцент, директор Инновационного центра Шопронского университета, Венгрия
Полещук Ольга Митрофановна, д-р техн. наук, профессор, Мытищинский филиал МГТУ им. Н.Э. Баумана, Москва
Полуэктов Николай Павлович, д-р техн. наук, профессор, Мытищинский филиал МГТУ им. Н.Э. Баумана, Москва
Родин Сергей Анатольевич, д-р с.-х. наук, профессор, академик РАН, ВНИИЛМ, Москва
Рыкунин Станислав Николаевич, д-р техн. наук, профессор, Мытищинский филиал МГТУ им. Н.Э. Баумана, Москва
Стрекалов Александр Федорович, канд. техн. наук, АО «Корпорация Тактическое военное вооружение», Королёв
Теодоронский Владимир Сергеевич, д-р с.-х. наук, профессор, академик РАЕН, Мытищинский филиал МГТУ им. Н.Э. Баумана, Москва
Титов Анатолий Матвеевич, канд. техн. наук, зам. начальника отделения, ученый секретарь Совета ЦУП ЦНИИМАШ, Королёв
Тричков Нено Иванов, профессор, доктор, проректор по научной работе Лесотехнического университета, София, Болгария
Федотов Геннадий Николаевич, д-р биол. наук, МГУ имени М.В. Ломоносова, Москва
Чубинский Анатолий Николаевич, д-р техн. наук, профессор, СПбГЛТУ, Санкт-Петербург
Чумаченко Сергей Иванович, д-р биол. наук, профессор, Мытищинский филиал МГТУ им. Н.Э. Баумана, Москва
Шимкович Дмитрий Григорьевич, д-р техн. наук, профессор, ООО «Кудесник», Москва
Щепаченко 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. Карлухиной

Электронная версия Ю.А. Ражской

Учредитель МГТУ им. Н.Э. Баумана

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

Свидетельство о регистрации ПИ № ФС 77-68118 от 21.12.2016

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

Материалы настоящего журнала могут быть перепечатаны и воспроизведены полностью или частично с письменного разрешения издательства
Выходит с 1997 года

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

Дата выхода в свет _____ 2024

Тираж 600 экз.

Заказ №

Объем 18,5 п. л.

Цена свободная

LESNOY VESTNIK / FORESTRY BULLETIN

Scientific Information journal

No. 6 ' 2024 Vol. 28

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
Bugaev Aleksandr Stepanovich, Academician of the RAS, Dr. Sci. (Phys.-Math.), Moscow Institute of Physics and Technology, Moscow
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
Fedotov Gennadiy Nikolaevich, Dr. Sci. (Biol.), Lomonosov Moscow State University, Moscow
Govedar Zoran, Corresponding member of the Academy of Sciences and Arts of the Republika Srpska (ASARS), Professor, Doctor of Forestry. University of Banja Luka, Republic Srpska, Bosnia and Herzegovina
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., Foreign member of the Russian Academy of Architecture and Construction Sciences (RAACN), Honorary Professor of the Moscow Architectural Institute (State Academy), Varna, Bulgaria
Kokh Nil's Elers, Professor, the Dr. of agronomics in the field of forest policy, the President of IUFRO, the Center of forest and landscape planning of university Copenhagen, Denmark
Komarov Evgeniy Gennadievich, Professor, Dr. Sci. (Tech.), BMSTU (Mytishchi branch), Moscow
Korol'kov Anatoliy Vladimirovich, Professor, Dr. Sci. (Phys.-Math.), BMSTU (Mytishchi branch), Moscow
Kotiev George Olegovich, Professor, Dr. Sci. (Tech.), BMSTU (Mytishchi branch), Moscow
Kozlov Aleksandr Il'ich, Ph. D. (Tech.), Scientific Secretary of the Board of «NPO IT», Korolev
Kozhukhov Nikolay Ivanovich, Professor, Academician of the Russian Academy of Sciences, Dr. Sci. (Econ.), BMSTU (Mytishchi branch), Moscow
Krott Maks, Professor of Forest politics specialization, George-August-Universitet, Goettingen

Lipatkin Vladimir Aleksandrovich, Professor, Ph. D. (Biol.), BMSTU (Mytishchi branch), Moscow
Lu Haibao, Dr., Tenure-track Professor, Vice Director of the National Key Laboratory of Science and Technology on Advanced Composites in Special Environments, Harbin Institute of Technology (HIT), China
Lukina Natalya Vasilyevna, Corresponding Member of the RAS, Professor, 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, Academician 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
Pavlenko Aleksandr Nikolaevich, Corresponding Member of the RAS, Professor, Dr. Sci. (Phys.-Math.), Kutateladze Institute of Thermophysics of the Siberian Branch of the Russian Academy of Sciences, Novosibirsk
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
Shchepashchenko Dmitry Gennadievich, Associate Professor, Dr. Sci. (Biol.), Senior Researcher, International Institute for Applied Systems Analysis (IIASA), Austria
Shimkovich Dmitriy Grigor'evich, Professor, Dr. Sci. (Tech.), OOO «Kudesnik», Moscow
Strekalov Aleksandr Fedorovich, Ph. D. (Tech.), JSC «Tactical Missiles Corporation», Korolev
Teodoronskiy Vladimir Sergeevich, Professor, Dr. Sci. (Agric.), academician of the Russian Academy of Natural Sciences, BMSTU (Mytishchi branch), Moscow
Titov Anatoliy Matveevich, Ph. D. (Tech.), Deputy Chief of Department, Scientific Secretary of the Board of MCC TSNIIIMASH, Korolev
Trichkov Neno Ivanov, professor, Dr., Vice-Rector for Research, Forestry University, Sofia, Bulgaria
Zalesov Sergey Veniaminovich, Professor, Dr. Sci. (Agric.), USFEU, Ekaterinburg
Zapudnov Vyacheslav Il'ich, Professor, Dr. Sci. (Tech.), BMSTU (Mytishchi branch), 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 ____2024
Circulation 600 copies
Order №
Volume 18,5 p. p.
Price free

СОДЕРЖАНИЕ

БИОЛОГИЧЕСКИЕ И ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЕ АСПЕКТЫ ЛЕСНОГО ХОЗЯЙСТВА

Мухаметшина А.Р., Мусин Х.Г., Мирсияпов Н.И., Сибгатуллина Р.Р., Чернов В.И. Оценка состояния защитных лесных насаждений в Предкамье Республики Татарстан	5
Иволина Г.В., Жук Е.А. Опыт выращивания кедрового стланика разного географического происхождения в условиях Западной Сибири	18
Тужилкина В.В. Запасы и фиксация углерода черники обыкновенной <i>Vaccinium myrtillus</i> L. (Ericaceae) в среднетаежных ельниках	28
Кормилицына О.В., Бондаренко В.В. История развития территории Щелковского учебно-опытного лесхоза Московской области	37

ЛАНДШАФТНАЯ АРХИТЕКТУРА

Мамаева Н.А., Крахмалева И.Л., Молканова О.И. Оптимизация методики клонального микроразмножения представителей родов <i>Heuchera</i> L. и <i>×Heucherella</i> H.R.Wehrh., перспективных для использования в озеленении	52
Хайфэн У., Розломий Н.Г. Анализ ландшафтной ценности парка «Сяо Цзюнь» в г. Линхай	64

ДЕРЕВООБРАБОТКА И ХИМИЧЕСКАЯ ПЕРЕРАБОТКА ДРЕВЕСИНЫ

Кононов Г.Н., Иванкин А.Н., Сердюкова Ю.В., Петухов В.А. Древесина как химическое сырье. История и современность. VI. Нецеллюлозные продукты делигнификации древесины как источник энергии и сырья для химической переработки	76
Зырянов М.А., Медведев С.О., Мохирев А.П. Современные технические решения для производства древесноволокнистых полуфабрикатов	104
Мурашова О.В., Чельшева Т.В. Обоснование выбора оптимального способа транспортировки технологической щепы	115

ЛЕСОИНЖЕНЕРНОЕ ДЕЛО

Карпачев С.П., Запруднов В.И. Моделирование технологии уборки «энергетической» ивы с использованием мягких контейнеров	127
Роголин Р.С. Математическая модель оптимального формирования цепочек поставок сырья и объемов производства с технологией раскря на лесопромышленных предприятиях.....	139

CONTENTS

BIOLOGICAL AND TECHNOLOGICAL ASPECTS OF FORESTRY

Mukhametshina A.R., Musin Kh.G., Mirsiyapov N.I., Sibgatullina R.R., Chernov V.I. State assessment of protective forest plantations in Predkamye (Republic of Tatarstan)	5
Ivolina G.V., Zhuk E.A. Dwarf Siberian pine cultivation of different geographical provenance in Western Siberia	18
Tuzhilkina V.V. Blueberry (<i>Vaccinium myrtillus</i> L. Ericaceae) stocks and carbon sequestration in middle-taiga spruce forests	28
Kormilitsyna O.V., Bondarenko V.V. History and development of Shchelkovo (Moscow region) educational-experimental forestry centre	37

LANDSCAPE ARCHITECTURE

Mamaeva N.A., Krakhmaleva I.L., Molkanova O.I. Clonal micropropagation optimization technique for genera <i>Heuchera</i> L. and <i>×Heucherella</i> H.R.Wehrh. promising for landscaping	52
Khayfen U., Rozlomi N.G. Landscape value analysis of Xiao Jun Park in Linhai city	64

WOODWORKING AND CHEMICAL WOOD PROCESSING

Kononov G.N., Ivankin A.N., Serdyukova Yu.V., Petukhov V.A. Wood as a chemical raw material. History and modernity. VI. Non-cellulose wood delignification products as a source of energy and raw material for chemical processing	76
Zyryanov M.A., Medvedev S.O., Mokhiev A.P. Modern technical solutions for wood fiber semi-products production	104
Murashova O.V., Chelusheva T.V. Rationale for choosing optimal industrial chips transportation method	115

FOREST ENGINEERING

Karpachev S.P., Zaprudnov V.I. Modelling of «energy» willow harvesting technology using soft containers	127
Rogulin R.S. Mathematical model of optimal formation of raw material supply chains and production volumes with cutting technology at wood enterprises	139

ОЦЕНКА СОСТОЯНИЯ ЗАЩИТНЫХ ЛЕСНЫХ НАСАЖДЕНИЙ В ПРЕДКАМЬЕ РЕСПУБЛИКИ ТАТАРСТАН

А.Р. Мухаметшина[✉], Х.Г. Мусин, Н.И. Мирсияпов,
Р.Р. Сибгатуллина, В.И. Чернов

ФГБОУ ВО «Казанский государственный аграрный университет», Россия, 420015, Республика Татарстан, г. Казань, ул. К. Маркса, д. 65

aigulsafina@yandex.ru

Приведены результаты обследования состояния защитных лесных насаждений в Предкамье Республики Татарстан. Оценка состояния проведена методом сплошного пересчета, определения таксационных показателей и категории состояния деревьев на пробных площадях в соответствии с нормативными документами. Всего заложено и обследовано 20 пробных площадей на территории Сабинского, Арского, Атнинского муниципальных районах. Установлено, что по лесоводственно-таксационным показателям средний возраст обследованных насаждений — 48 лет, полнота в пределах от 0,5 до 0,9, бонитет в пределах от I до II. По санитарному состоянию на участках выявлены деревья 1-й и 2-й категорий, на которых рекомендуется проведение лесохозяйственных мероприятий: проведение санитарных рубок, мероприятия по содействию естественному возобновлению. Оценка деревьев на пробных площадях показывает, что защитные лесные насаждения выполняют свои функции, замедляют эрозию и повышают плодородие почв, за счет накопления растительного опада, в частности мягколиственных пород. Рассчитаны для каждого участка объемы среднего прироста стволовой древесины и депонирования углерода. Наибольший объем депонирования выявлен в смешанных по составу насаждениях березы и сосны, тополя. Указано, что перспективным видом в связывании углерода является тополь (*Populus*). Данная порода выявлена в составе двух пробных площадей. По лесоводственно-таксационным характеристикам насаждения отнесены к II классу бонитета. На данных участках рекомендовано проведение санитарных рубок. Объем депонирования углерода на этих площадях установлен 3,17 и 1,90 т/га в год. На участках зафиксировано естественное возобновление основными лесообразующими породами Республики Татарстан — дубом черешчатым, березой повислой, сосной обыкновенной и кленом остролистным. Жизнеспособный подрост способствует формированию устойчивых смешанных по составу, разновозрастных, сложных по структуре защитных лесных насаждений.

Ключевые слова: защитные лесные насаждения, почвенная эрозия, серые лесные почвы, углеродное депонирование

Ссылка для цитирования: Мухаметшина А.Р., Мусин Х.Г., Мирсияпов Н.И., Сибгатуллина Р.Р., Чернов В.И. Оценка состояния защитных лесных насаждений в Предкамье Республики Татарстан // Лесной вестник / Forestry Bulletin, 2024. Т. 28. № 6. С. 5–17. DOI: 10.18698/2542-1468-2024-6-5-17

Создание защитных лесных насаждений обеспечивает многофункциональную и долговременную защиту почв от эрозии. Под влиянием почвенной и ветровой эрозии незащищенные почвы утрачивают плодородие и выбывают из сельскохозяйственного оборота [1]. За счет созданных насаждений обогащается видовое разнообразие, улучшаются экологические условия сельскохозяйственных земель [2, 3]. Они оказывают длительное воздействие на физико-химические показатели и свойства смытых почв, восстанавливают утраченное плодородие [4]. Защитные лесные полосы на сельскохозяйственных землях образуют каркас противозерозионной защиты, и от их расположения в рельефе в большой степени зависит эффективность лесомелиоративного комплекса в целом [5–7]. При наличии взаимосвязанной системы лесомелиоративных насаждений урожайность сельскохозяйственных культур

повышается на 8...18%. В среднем влияние 1 га лесных насаждений распространяется на 10–12 га прилегающих полей. По данным А.И. Петелько [8] научно обоснованная потребность в лесных насаждениях в стране составляет 14 млн га, а имеется всего 3,2 млн га. Разработана стратегия развития защитного лесоразведения в Российской Федерации до 2025 г., которая направлена на создание завершённой системы мелиоративных защитных лесных насаждений как обязательной составляющей общегосударственных и иных программ по сохранению окружающей среды, повышению эффективности плодородия, обеспечению экологической и продовольственной безопасности страны, снижению уровня дискомфорта в местах работы и проживания людей [9]. К настоящему времени сельскохозяйственной наукой разработаны и внедрены принципы адаптивно-ландшафтного земледелия, важнейшим из которых является применение комплекса противодеградационных мероприятий: организационно-хозяйственных,

лесомелиоративных, агротехнических, лугомелиоративных, гидротехнических и др. Каркасом адаптивно-ландшафтного земледелия являются системы защитных лесных насаждений [10–14].

Исключительно значение лесонасаждений в депонировании углерода. Леса, расположенные на сельскохозяйственных землях, существенно поглощают парниковые газы. На площади 1 га лес на землях лесного фонда способен в среднем поглотить около 1 т парниковых газов в год, защитные и противоэрозионные леса на сельскохозяйственных землях — в 7 раз больше — около 7 т в год. При этом, по разным оценкам, от 40 до 90 млн га сельскохозяйственных земель в России заросли лесом, который пока никак не учитывается в национальной статистике поглощения парниковых газов по причине того, что они не относятся к управляемым лесам [15]. Это примерно 26 млн т накопления углерода ежегодно [16, 17]. Перспективным направлением считается увеличение продуктивности почвы этих земель за счет ведения карбонового земледелия и применения современных методов биотехнологий и селекции.

Для эффективного функционирования существующих лесных насаждений необходимо провести оценку их современного состояния и разработать мероприятия по их поддержанию, что относится к актуальным направлениям исследований в Предкамье Республики Татарстан.

Цель работы

Цель работы — обследование защитных лесных насаждений и их оценка на серых лесных и дерново-подзолистых почвах в Предкамье Республики Татарстан.

Объекты и методика исследования

Объектом исследования послужили защитные лесные насаждения, произрастающие в Предкамье Республики Татарстан. Пробные площади (ПП) закладывались в соответствии с ОСТ 56-69–83 [18]. На каждой ПП проводились глазомерные и инструментальные измерения с помощью высоотомера, полнотомера и мерной вилки. При выполнении работ руководствовались: правилами санитарной безопасности в лесах, утвержденные постановлением Правительства Российской Федерации от 9 декабря 2020 г. № 2047; приказом Министерства природных ресурсов и экологии РФ от 9 ноября 2020 г. № 910 «Об утверждении порядка проведения лесопатологических обследований и формы акта лесопатологического обследования» [20, 21]. Всего исследовано 20 ПП методом поперечного пересчета по ступеням толщины с градацией 2 см и присвоением каждому дереву категории состояния [18]. В ходе исследований измерено и обследовано 2000 деревьев.

На ПП длиной 100 м выполнена оценка деревьев по следующим показателям:

- пересчету количества деревьев;
- диаметру ствола, измеренному с помощью мерной вилки на высоте 1,3 м от поверхности земли;
- высоте, определенной высоотомером Данилина;
- визуально описанной естественной растительности.

Для этого подобрали участки насаждений разных возрастов.

В целях определения объема депонирования углерода рассчитали ежегодный запас стволовой древесины. Полученные данные прироста использовали при вычислении фракций фитомассы и количества депонированного за год углерода [19].

Результаты и обсуждение

Сохранение и рациональное использование земель — одно из основных условий обеспечения стабильного развития агропромышленного комплекса Республики Татарстан. За период 2010–2020 гг. площадь сельскохозяйственных земель, подверженных эрозии, увеличилась. Высокая степень распаханности сельскохозяйственных угодий наблюдается в Арском и Балтасинском районах — 85–86 %. В среднем по региону этот показатель составляет 77,0 %. Наибольшая распаханность отмечается в Предволжье — 34,7 % и Предкамье 30,6 %.

Наиболее ярко выраженная форма водной эрозии — это оврагообразование. Количество действующих вершин оврагов составляет около 20 тыс., длина их 27,4 тыс. км. За последние 40 лет (1980–2020 гг.) протяженность оврагов возросла более чем на 10 тыс. км.

Кабинетом министров Республики Татарстан 12 марта 1997 г. было принято и утверждено постановление № 216 «О комплексной программе повышения плодородия почв и защиты их от эрозии в Республике Татарстан на 1997–2005 гг.» (далее — Программа), в которой предусмотрено проведение комплекса противоэрозионных мероприятий. В соответствии с Программой посажено 7,8 тыс. га защитных лесных насаждений [22]. На начало 2024 г. большинство защитных лесных полос пребывает в запущенном состоянии, подвергается болезням и постепенно отмирает. Таким образом, назрела необходимость проведения комплекса лесохозяйственных мер по сохранению и обновлению систем полезащитных лесополос [23–25].

Особое внимание следует уделить защитному лесоразведению в целях предотвращения водной и ветровой эрозии почв, повышения продуктивности земель сельскохозяйственного назначения, защиты населенных пунктов, предприятий и дру-

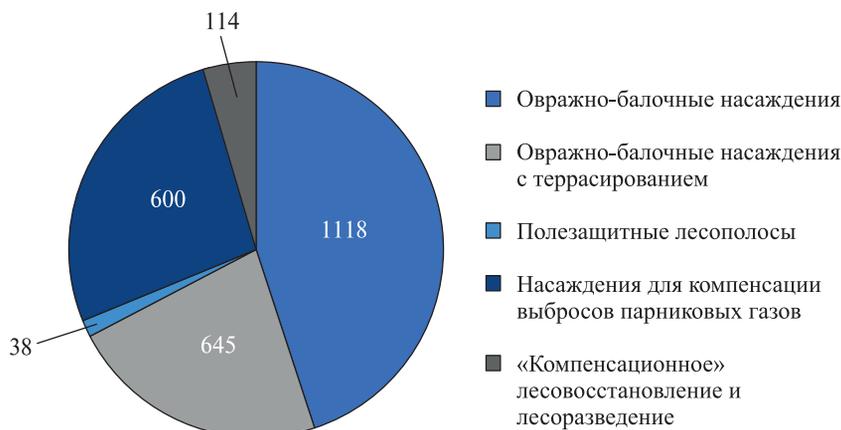


Рис. 1. Объем защитного лесоразведения в 2022 г., га
Fig. 1. Volume of protective afforestation in 2022, ha

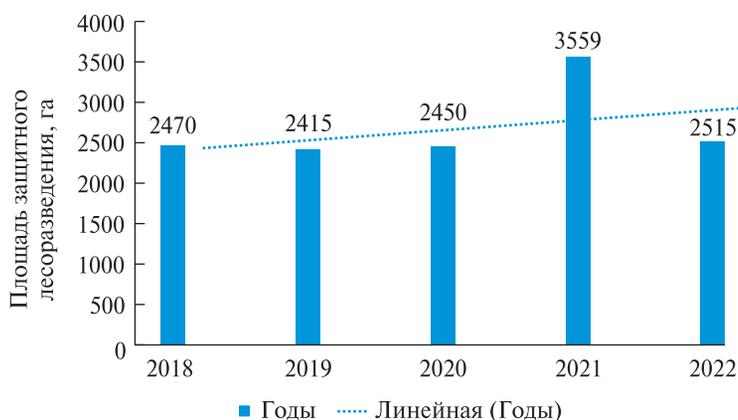


Рис. 2. Защитное лесоразведение за период 2018–2022 гг.
Fig. 2. Protective afforestation for the period 2018–2022

гих объектов от неблагоприятных природных явлений и техногенных воздействий. По данным Министерства лесного хозяйства Республики Татарстан в 2022 г. заложены защитные лесные насаждения на площади 1801 га, из которых овражно-балочные участки занимают 1763 га, в том числе с террасированием — 645 га, и полезашитные лесополосы — 38 га. Созданы защитные лесные насаждения в Азнакаевском муниципальном районе в рамках реализации климатических проектов на площади 600 га и в населенных пунктах — 114 га компенсационного лесовосстановления и лесоразведения (рис. 1).

Объем защитного лесоразведения за последние пять лет указан на рис. 2.

Леса переводят поверхностный сток во внутрипочвенный, сокращают потери почвенной влаги и предохраняют почву от эрозии [27]. Оценка состояния защитных лесных насаждений проводилась в Сабинском, Арском, Атнинском муниципальных районах Предкамья Республики Татарстан. Территориально зона исследований расположена на водосборном бассейне рек волжского склона, текущих параллельно, одна другой с северо-востока

на юго-запад — реки Ашит, Казанка и Меша. Здесь господствуют такие природные явления, как сильный смыл, размыв и оврагообразование, площадь смытых почв составляет 66 %, эрозионно опасных земель — 15,5 %. Плодородие почв уменьшается по мере увеличения смытости [33]. Наиболее распространены светло-серые лесные и дерново-подзолистые почвы, в частности на водораздельных плато и верхних частях склонов. Встречаются серые, темно-серые лесные и дерновые почвы. Водная эрозия проявляется во всех почвенных зонах.

В Республике Татарстан водная эрозия получила наибольшее распространение в зоне серых лесных почв, в подзоне дерново-подзолистых почв [29]. Серые лесные почвы потенциально плодородны, однако при вовлечении в сельскохозяйственный оборот их свойства резко ухудшаются, и тогда для рационального использования требуется разработка индивидуальных мероприятий по расширенному воспроизводству плодородия [30, 31]. В условиях подзолистых почв на суглинистых и глинистых отложениях могут развиваться высокопроизводительные сосновые леса.

В связи с неблагоприятными свойствами верхних горизонтов подзолистой почвы поставлен вопрос о возможности их улучшения [32]. В лесном хозяйстве большое внимание привлекает биологический способ улучшения почвенных условий путем введения в состав насаждений почвоулучшающих древесных пород и кустарников, а также в результате обогащения почвы питательными веществами в результате опада растительности. По литературным данным [27], опад березовых насаждений оказывает более благоприятное воздействие, чем опад сосны и ели. В зоне смешанных и широколиственных лесов особого внимания заслуживает липа, благодаря своим листьям, которые отличаются высоким содержанием азота, фосфора и калия. Из кустарников привлекательна акация вследствие аккумуляции атмосферного азота. Создание смешанных насаждений является одним из эффективных мероприятий, направленных на повышение плодородия почвы и устойчивости насаждений. По данным А.Х. Газизуллина [33], введение лиственных пород и кустарников в состав хвойных насаждений улучшает условия разложения растительного опада и, соответственно питание, что способствует росту и продуктивности насаждений [34].

Сопоставление запасов биомассы показывает, какое влияние на продуктивность растительных формаций оказывают почвенные и климатические условия. Плодородие лесных почв может быть определено по следующим показателям [35]:

- по биологической продуктивности насаждения на единицу площади (1 га) за определенный период времени;

- приросту запаса древесины в метрах кубических на 1 га в год;

- общему запасу древесины (общей продуктивности с учетом отпада и древесины, изъятой при рубках ухода) в тех же единицах при полноте 1,0;

- классу бонитета древостоя как показателю продуктивности леса, зависящей от условий местопроизрастания, преимущественно от климатических факторов и лесорастительных свойств почв.

Результаты обследования и лесоводственно-таксационная характеристика насаждений на ПП приведены в табл. 1.

ПП 1 — смешанная по составу придорожная лесополоса. Смешение в ряду 8Ех4Лцх8Ех4Лц. 5-рядная, ширина междурядий 2,5 м, в ряду — 1,3 м. Состав насаждений: 7Е3Лц. Таксационные показатели: средний диаметр ствола ели (d_{cp}) $d_{cp} = 12$ см, средняя высота (h_{cp}) $h_{cp} = 8$ м, лиственницы — $d_{cp} = 14$, $h_{cp} = 10$ м. Введенная в состав лиственница образует куртинность, где под пологом быстрее формируется лесная среда за счет

опада хвои. Расположена на расстоянии 25 м от дороги. По санитарному состоянию преобладают деревья 1-й категории — 90 % (без признаков повреждений). На данном участке ослабленные деревья составили 10 %, имеются незначительные механические повреждения.

ПП 2 — смешанная по составу придорожная лесополоса 6-рядная ЕхБхЕхЕхБхБ, ширина междурядий 2 м, в ряду — 1,3 м. Состав насаждений 5Е5Б. Таксационные показатели березы — $d_{cp} = 18$, $h_{cp} = 16$ м, ели — $d_{cp} = 10$, $h_{cp} = 6$ м. Лесополоса расположена на расстоянии 25 м от дороги. Медленнорастущая порода ель европейская отстает в росте от березы повислой. На лесополосе преобладают деревья 1-й категории — 95 %, ослабленные 2-й категории составили 5,0 %.

ПП 3 — чистая по составу придорожная лесополоса, 5-рядная, ширина междурядий 2 м, в ряду — 1,3 м. Состав насаждений: 10С. Таксационные показатели: $d_{cp} = 22$, $h_{cp} = 20$ м. Лесополоса расположена в 30 м от дороги. На участке самосев сосны обыкновенной разного возраста — от 3 до 8 лет. В целях формирования устойчивого разновозрастного насаждения целесообразны мероприятия по содействию естественному возобновлению, в частности проведение минерализованных полос. Ослабленные деревья сосны (2-я категория) составили 35,0 %. Ухудшение состояния насаждений, на наш взгляд, происходит в связи с близким расположением к дорожному полотну.

ПП 4 — смешанная по составу придорожная лесополоса, старовозрастная 6-рядная. Ширина междурядий 3 м, в ряду — 1,5 м. Таксационные показатели: $d_{cp} = 26$, $h_{cp} = 22$ м. Состав насаждений: 8Б1С1Е + кустарник акация желтая. Проведена реконструкция БхЕхБхСхБхБхБ. Преобладают деревья 1-й категории — без признаков ослабления — 95 %.

ПП 5 — чистая по составу полезащитная лесополоса, старовозрастная 8-рядная, ширина междурядий 3 м, в ряду — 1,5 м. Состав насаждений: 10Т. Таксационные показатели: $d_{cp} = 32$, $h_{cp} = 24$ м. Толщина лесной подстилки до 25 см. Образовалась лесная среда. Естественное возобновление происходит за счет осины, клена остролистного, липы мелколистной, березы повислой, дуба черешчатого, тополя порослевого происхождения. Преобладают деревья 1-й категории — без признаков ослабления — 65 % и 3-й категории сильно ослабленные — 35,0 %. Требуется проведение санитарных рубок с уборкой фауных деревьев.

ПП 6 — чистая по составу полезащитная лесополоса, 6-рядная. Ширина междурядий 3 м, в ряду — 1,5 м. Состав: 10Б. Таксационные показатели: $d_{cp} = 32$, $h_{cp} = 26$ м. Образовалась лесная среда, присутствуют характерные лесные растения.

Характеристика насаждений на серых лесных и дерново-подзолистых почвах

Characteristics of plantations on grey forest and sod-podzolic soils

Номер пробной площади	Состав насаждений	Порода	Возраст, лет	Высота, м	Диаметр ствола, см	Бонитет	Полнота	Площадь, га
ПП 1	7ЕЗЛц	Ель европейская Лиственница сибирская	30	8 10	12 14	Ia	0,8	3,5
ПП 2	7БЗЕ	Береза повислая Ель европейская	30	16 6	18 10	Ia	0,8	5,8
ПП 3	10С	Сосна обыкновенная	54	20	22	I	0,6	4,5
ПП 4	8Б1С1Е	Береза повислая	60	22	26	IIa	0,6	5
ПП 5	10Т	Тополь белый	50	24	32	II	0,6	3,0
ПП 6	10Б	Береза повислая	65	23	32	I	0,6	5,3
ПП 7	9С1Б	Сосна обыкновенная Береза повислая	50 15	22 10	24 18	I	0,7	7,2
ПП 8	9С1Б	Сосна обыкновенная Береза повислая	50 15	22 10	32 16	I	0,5	7,0
ПП 9	10Б	Береза повислая	50	22	28	Ia	0,6	
ПП 10	10Б	Береза повислая	60	20	22	Ia	0,6	4,0
ПП 11	6С4Е	Ель европейская Сосна обыкновенная	35	10 12	8 10	I	0,9	8,0
ПП 12	10Б	Береза повислая	80	24	36	Ia	0,6	2,7
ПП 13	8Е1Б1С	Ель европейская Береза повислая Сосна обыкновенная	40	10	12	I	0,8	2,65
ПП 14	10Е	Ель европейская	40	11	12	I	0,8	8,5
ПП 15	10Б	Береза повислая	60	22	36	Ia	0,6	2,2
ПП16	10Б	Береза повислая	60	22	32	Ia	0,6	7,3
ПП 17	10Ос	Тополь дрожащий	60	21	28	II	0,6	1,9
ПП 18	10Б	Береза повислая	60	21	28	Ia	0,6	2,2
ПП 19	5Б5С	Береза повислая Сосна обыкновенная	60	21 24	32 28	Ia	0,7	7,2
ПП 20	8Т2Б	Тополь Береза повислая	50	22 23	32 28	II	0,6	2,9

Состояние насаждений удовлетворительное. Обнаружены единичные взрослые имаго шелкопряда. Кладки не обнаружены. Естественное возобновление происходит за счет березы повислой, дуба черешчатого, клена остролистного. Преобладают деревья 1-й категории — без признаков ослабления — 70,0 % и 2-й категории — ослабленные — 30,0 %. Требуется проведение санитарных рубок с уборкой фауных деревьев и содействие естественному возобновлению.

ПП 7 — смешанная по составу полезащитная лесополоса (рис. 3). Ширина междурядий 3 м, в ряду — 1,5 м. Состав насаждений: 8С2Б. Таксационные показатели сосны обыкновенной: $d_{cp} = 24$, $h_{cp} = 22$ м. Береза отстает в росте. Таксационные показатели березы повислой: $d_{cp} = 18$, $h_{cp} = 10$ м. Состояние насаждений удовлетворительное, преобладают деревья 1-й категории — без признаков ослабления — 80 %. Естественное возобновление происходит за счет березы повислой, дуба черешчатого. Необходимо проведение мероприятий по содействию естественному возобновлению.



Рис. 3. Пробная площадь 7

Fig. 3. Trial plot 7

ПП 8 — смешанная по составу полезащитная лесополоса. Ширина междурядий 3 м, в ряду — 1,5 м. Состав насаждений: 8С2Б. Таксационные показатели сосны обыкновенной: $d_{cp} = 32$, $h_{cp} = 22$ м.

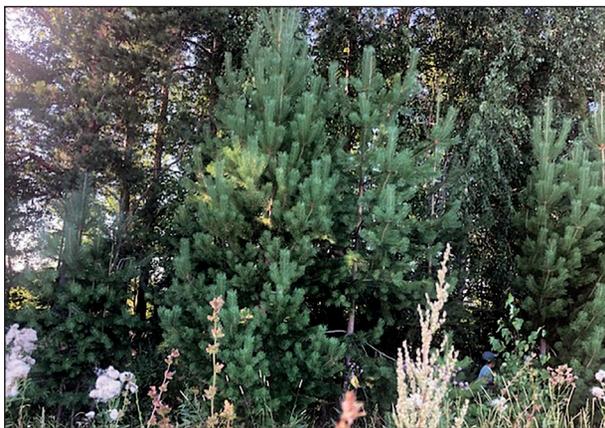


Рис. 4. Пробная площадь 8
Fig. 4. Trial plot 8

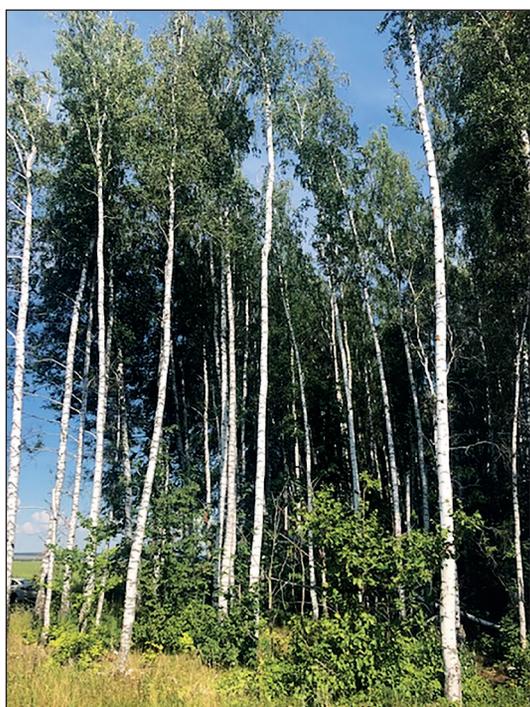


Рис. 5. Пробная площадь 10
Fig. 5. Trial plot 10



Рис. 6. Пробная площадь 12
Fig. 6. Trial plot 12

Береза повислая отстает в росте. Таксационные показатели березы повислой: $d_{cp} = 10$, $h_{cp} = 16$ м. Состояние насаждений удовлетворительное, преобладают деревья 1-й категории — без признаков ослабления — 75,0 %. Естественное возобновление происходит за счет сосны обыкновенной, березы повислой, дуба черешчатого (рис. 4). Необходимо проведение мероприятий по содействию естественному возобновлению.

ПП 9 — чистая по составу полезащитная лесополоса. Ширина междурядий 3 м, в ряду — 3 м. Состав насаждений: 10Б. Таксационные показатели сосны обыкновенной: $d_{cp} = 22$, $h_{cp} = 28$ м. Состояние насаждений удовлетворительное, преобладают деревья 1-й категории — без признаков ослабления — 85,0 %. Самосев сосны обыкновенной, березы повислой, дуба черешчатого. Необходимо проведение мероприятий по содействию естественному возобновлению.

ПП 10 — чистая по составу полезащитная лесополоса, ширина междурядий 3 м, в ряду — 1,5 м (рис. 5). Состав насаждений: 10Б. Таксационные показатели березы повислой $d_{cp} = 22$, $h_{cp} = 20$ м. Состояние насаждений удовлетворительное, преобладают деревья 2-й категории — ослабленные — 92,0 %. Практически на всех учтенных деревьях обнаружены яйцекладки непарного шелкопряда. На деревьях 5-й, 6-й категорий также обнаружены плодовые тела настоящего трутовика. Естественное возобновление происходит за счет клена остролистного, дуба черешчатого и липы мелколистной. Необходимо проведение мероприятий по содействию естественному возобновлению.

ПП 11 — смешанная по составу придорожная лесополоса, ширина междурядий 2 м, в ряду — 1 м. Состав: 6С4Е. Таксационные показатели ели европейской: $d_{cp} = 8$, $h_{cp} = 10$ м. Таксационные показатели сосны обыкновенной: $d_{cp} = 10$, $h_{cp} = 12$ м. Состояние насаждений удовлетворительное. Повреждения носят локальный характер, в частности вдоль дороги отмечается наличие пожелтевшей хвои, идет усыхание сосны. Присутствуют деревья 5-й, 6-й категорий. Естественное возобновление происходит за счет березы повислой. Живой напочвенный покров (ЖНП) не образован, подстилка в виде опавшей хвои.

ПП 12 — чистая по составу полезащитная лесополоса, ширина междурядий 3 м, в ряду — 1,5 м (рис. 6). Состав: 10Б. Таксационные показатели березы повислой: $d_{cp} = 36$, $h_{cp} = 24$ м. Состояние насаждений удовлетворительное, преобладают деревья 2-й категории — ослабленные — 75,0 %. Лесная среда образована. Практически на всех учтенных деревьях обнаружены яйцекладки непарного шелкопряда. На деревьях 5-й, 6-й категорий также обнаружены плодовые тела настоящего трутовика. Естественное возобновление происходит

Т а б л и ц а 2

Окончание табл. 2

Объем депонированного углерода в лесных насаждениях по преобладающим породам на пробных площадях

Amount of carbon sequestration in forest plantations by dominant species in trial plots

Древесная порода	Площадь, га	Общий запас, м ³	Общая фитомасса, т	Запас углерода, т
ПП 1				
Ель	3,5	171,5	77,17	38,59
Лиственница		80,5	53,13	26,57
Итого		252,0	130,3	65,16
ПП 2				
Ель	5,8	214,6	96,57	48,29
Береза		545,2	354,38	177,19
Итого		759,8	450,95	225,48
ПП 3				
Сосна	4,5	832,5	416,2	208,1
ПП 4				
Береза	5,0	700,0	455,0	227,5
Сосна		70,0	35,0	17,5
Ель		45,0	20,25	10,13
Итого		815	510,25	255,13
ПП 5				
Тополь	3,0	705,0	317,2	158,6
ПП 6				
Береза	5,3	869,2	564,98	282,49
ПП 7				
Сосна	7,2	1180,8	590,4	295,2
Береза		302,4	196,56	98,28
Итого		1483,2	786,96	393,48
ПП 8				
Сосна	7,0	1358,0	679	339,5
Береза		238,0	154,7	77,35
Итого		1596	833,7	416,85
ПП 9				
Береза	1,0	147,0	95,55	47,77
ПП 10				
Береза	4,0	496,0	322,4	161,2
ПП 11				
Ель	8,0	360	162,0	81,0
Сосна		480,0	240	120,0
Итого		992	470,4	235,2
ПП 12				
Береза	2,7	523,8	340,47	170,23
ПП 13				
Ель	2,65	108,6	48,9	24,4
Береза		18,6	12,6	6,0
Сосна		10,2	5,1	2,5
Итого		137,4	66,6	32,9
ПП 14				
Ель	8,5	459,3	206,7	103,3
ПП 15				
Береза	2,2	378,4	245,96	122,98

Древесная порода	Площадь, га	Общий запас, м ³	Общая фитомасса, т	Запас углерода, т
ПП 16				
Береза	7,3	1116,9	725,98	362,99
ПП 17				
Тополь	1,9	362,9	181,45	90,73
ПП 18				
Береза	2,2	345,4	224,51	112,26
ПП 19				
Береза	7,2	733,6	476,84	238,42
Сосна		702,5	351,25	175,63
Итого		1436,1	828,09	414,05
ПП 20				
Тополь	2,9	426,3	191,83	95,92
Береза		118,9	77,28	38,64
Итого		545,2	269,11	134,56

за счет клена, липы, березы. Требуется проведение лесохозяйственных мероприятий с сохранением естественного возобновления.

ПП 13 — смешанная по составу полезащитная лесополоса Ширина междурядий 3 м, в ряду — 1,5 м. Состав: 8Е1Б1С. Таксационные показатели $d_{cp} = 12$, $h_{cp} = 10$ м. Состояние насаждений удовлетворительное, преобладают деревья 1-й категории — без признаков ослабления — 85,0 %.

ПП 14 — чистые по составу приовражные защитные лесные насаждения. Ширина междурядий 3 м, в ряду — 1,5 м. Состав: 10Е. Таксационные показатели ели европейской: $d_{cp} = 12$, $h_{cp} = 11$ м. Наблюдается внутривидовая конкуренция, отсутствует проведение лесоводственных мероприятий (рубок ухода). Незначительное количество деревьев повреждено короедом-типографом (до 5,0 %).

ПП 15 — чистая по составу полезащитная лесополоса. Ширина междурядий 3 м, в ряду — 2 м. Состав: 10Б. Таксационные показатели березы повислой: $d_{cp} = 36$, $h_{cp} = 22$ м. Преобладают деревья 1-й категории — без признаков ослабления — 85,0 %.

ПП 16 — чистая по составу приовражная лесополоса. Ширина междурядий 3 м, в ряду — 2 м. Состав: 10 Б. Таксационные показатели березы повислой: $d_{cp} = 32$, $h_{cp} = 22$ м. Возраст 60 лет. Преобладают деревья 1-й категории — без признаков ослабления — 74,0 %. Единичные деревья 6-й категории — старый сухостой.

ПП 17 — чистая по составу полезащитная лесополоса. Ширина междурядий 3 м, в ряду — 1,5 м. Состав насаждений: 10Ос. Таксационные показатели осины: $d_{cp} = 28$, $h_{cp} = 21$ м. Возраст 60 лет. Преобладают деревья 2-й категории — ослабленные — 85,0 %. Встречаются деревья 6-й категории — старый сухостой. Необходимо проведение санитарных рубок.

Т а б л и ц а 3

**Ежегодные объемы среднего прироста стволовой древесины
и депонирования углерода на пробных площадях**

**Annual volumes of average trunk timber growth
and carbon sequestration in sample plots**

Древесная порода	Прирост по запасу		Прирост фитомассы		Депонирование углерода	
	м ³ /год	м ³ /га·год	т/год	т/га·год	т/год	т/га·год
ПП 1						
Ель	5,72	1,63	2,57	0,73	1,29	0,37
Лиственница	2,68	0,77	1,77	0,51	0,89	0,25
ПП 2						
Ель	7,15	1,23	3,22	0,56	1,61	0,28
Береза	18,17	3,13	11,81	2,04	5,91	1,02
ПП 3						
Сосна	15,4	3,4	7,7	1,7	3,85	0,85
ПП 4						
Береза	11,66	2,33	7,58	1,52	3,79	0,76
Сосна	1,16	0,23	0,58	0,12	0,29	0,06
Ель	0,75	0,15	0,34	0,07	0,17	0,03
ПП 5						
Тополь	14,1	4,7	6,34	2,1	3,17	1,05
ПП 6						
Береза	13,37	2,52	8,69	1,64	4,35	0,82
ПП 7						
Сосна	23,6	3,3	11,8	1,6	5,9	0,8
Береза	20,16	2,8	13,10	1,82	6,55	0,91
ПП 8						
Сосна	27,16	3,39	13,58	1,94	6,79	0,97
Береза	9,2	1,31	10,31	1,47	5,16	0,74
ПП 9						
Береза	2,94	2,94	1,91	1,91	0,96	0,96
ПП 10						
Береза	8,26	2,07	5,37	1,34	2,69	0,67
ПП 11						
Ель	10,2	1,2	4,6	0,81	0,6	0,3
Сосна	19,2	2,4	9,60	1,20	4,80	0,60
ПП 12						
Береза	6,55	2,43	4,26	1,58	2,13	0,79
ПП 13						
Ель	2,7	1,0	1,2	0,5	0,6	0,2
Береза	0,5	0,2	0,3	0,1	0,2	0,1
Сосна	0,3	0,1	0,1	0,0	0,1	0,0
ПП 14						
Ель	11,5	1,4	5,2	2,0	2,6	1,0
ПП 15						
Береза	6,31	2,86	4,10	1,86	2,05	0,93
ПП 16						
Береза	18,62	2,55	12,10	1,66	6,05	0,83
ПП 17						
Осина	6,05	3,18	3,02	1,59	1,51	0,80
ПП 18						
Береза	5,76	2,62	3,74	1,70	1,87	0,85
ПП 19						
Береза	12,23	1,69	7,95	1,10	3,97	0,55
Сосна	11,71	1,63	5,85	0,81	2,93	0,41
ПП 20						
Тополь	8,5	2,9	3,8	1,3	1,90	0,65
Береза	1,98	0,68	1,29	0,44	0,64	0,22

ПП 18 — чистая полезащитная лесополоса. Ширина междурядий 3 м, в ряду — 2,0 м. Состав насаждений: 10Б. Таксационные показатели березы повислой: $d_{cp} = 28$, $h_{cp} = 21$ м. Возраст 60 лет. Преобладают деревья 1-й категории — без признаков ослабления — 85,0 %.

ПП 19 — смешанная по составу полезащитная лесополоса. Ширина междурядий 3 м, в ряду — 1,5 м. Состав: 5Б5С. Таксационные показатели березы повислой: $d_{cp} = 32$, $h_{cp} = 21$ м. Возраст 60 лет. Таксационные показатели сосны обыкновенной: $d_{cp} = 28$, $h_{cp} = 24$ м. Преобладают деревья 1-й категории — без признаков ослабления — 80,0 %.

ПП 20 — смешанная по составу полезащитная лесополоса. Ширина междурядий 3 м, в ряду — 1,5 м. Состав насаждений: 8Т2Б. Таксационные показатели тополя: $d_{cp} = 32$, $h_{cp} = 22$ м. Возраст 60 лет. Таксационные показатели березы повислой: $d_{cp} = 28$, $h_{cp} = 23$ м. Преобладают деревья 2-й категории — ослабленные — 85,0 %. В незначительном количестве присутствуют деревья 5-й, 6-й категорий. Необходимо проведение лесохозяйственных мероприятий.

Сопоставление запасов биомассы показывает, какое влияние на продуктивность растительных формаций оказывают почвенные и климатические условия. С переходом от северной тайги к средней и южной, а затем к лесостепи (дубравы) биомасса значительно возрастает. Изменяются также величины опада и прироста. Запас лесной подстилки в хвойных лесах более или менее одинаков, в лесостепи резко снижается. Круговорот азота и особенно минеральных элементов (потребление, возврат и накопление в насаждениях) растет от северных лесов к лесостепи.

Запасы углерода и темпы его депонирования в лесных экосистемах зависят от продуктивности лесов, их состояния, породного состава, возрастной и товарной структуры. На всех обследованных пробных площадях наибольшее количество запаса углерода сосредоточено на ПП 7, ПП 8 и ПП 19 — 786,96, 833,7 и 828,09 т соответственно. Это смешанные по составу насаждения сосны и березы (табл. 2).

По результатам обследования рассчитаны ежегодные объемы среднего прироста стволовой древесины и депонирования углерода на пробных площадях (табл. 3).

По литературным данным [4], перспективным видом в связывании углерода является тополь (*Populus*), произрастающий в условиях северного и континентального климата. Распространен на части территории России, встречается во многих российских городах. Имеет относительно высокий потенциал секвестрации углерода — 1,8...6,35 т CO_2 — экв./га в год, высокие темпы роста — 1,524...3,6 м/год, короткий продуктив-

ный цикл — 10...15 лет. Из всех 20 обследованных участков в составе двух присутствует тополь (ПП 5 и ПП 20). По лесоводственно-таксационным характеристикам насаждения отнесены к II классу бонитета. На данных участках необходимо проведение санитарных рубок. Объем депонирования углерода на этих площадях составил 3,17 и 1,90 т/га в год.

Выводы

1. Обследованные защитные лесные насаждения на дерново-подзолистых и серых лесных почвах находятся в удовлетворительном состоянии.

2. По лесоводственно-таксационным показателям средний возраст обследованных насаждений составляет 48 лет, полнота в пределах от 0,5 до 0,9, бонитет в пределах от I до II.

3. По санитарному состоянию преобладают деревья 1-й и 2-й категорий, на некоторых участках требуется проведение лесохозяйственных мероприятий.

4. Под пологом насаждений идет естественное возобновление дубом черешчатым, который является коренной породой Предкамья Республики Татарстан, и березой повислой, сосной обыкновенной, кленом остролистным.

5. Созданные защитные лесные насаждения выполняют свои функции, замедляют эрозию и повышают плодородие почв.

6. На участках с жизнеспособным подростом целесообразно проведение лесохозяйственных мероприятий, направленных на содействие и сохранение естественного возобновления хозяйственно ценными породами. Сохранение подростка способствует дальнейшему формированию устойчивых смешанных по составу разновозрастных сложных по структуре защитных лесных насаждений.

7. Наибольший объем депонирования выявлен в смешанных по составу насаждениях березы и сосны, тополя.

Список литературы

- [1] Петелько А.И., Новиков Н.Е. Защитное лесоразведение // Вестник АПК Ставрополя, 2014. № 3 (15). С. 175–176.
- [2] Сучков Д.К. Роль и экономическая эффективность защитных лесных насаждений в восстановлении и преобразовании ландшафтов // Научно-агрономический журнал, 2018. № 1(102). С. 20–23.
- [3] Ерусалимский В.И., Рожков В.А. Многофункциональная роль защитных лесных насаждений // Бюллетень Почвенного института имени В.В. Докучаева, 2017. № 88. С. 121–137.
<https://doi.org/10.19047/0136-1694-2017-88-121-137>
- [4] Петелько А.И. Восстановление плодородия смытых почв // Природообустройство. 2017. № 1. С. 94–100. DOI: 10.26897/1997-6011-2017-1-94-100

- [5] Zhang S.T., Zhang J.Z., Liu Y., Liu Y.C. Effects of farmland vegetation row direction on overland flow hydraulic characteristics // *Hydrology research*, 2018, v. 49, iss. 6, pp. 1991–2001.
- [6] Барабанов А.Т. Эрозионно-гидрологическая оценка взаимодействия природных и антропогенных факторов формирования поверхностного стока талых вод и адаптивно-ландшафтное земледелие. Волгоград: Изд-во ФНЦ агроэкологии РАН, 2017. 188 с.
- [7] Барабанов А.Т., Петелько А.И., Кулик А.В., Выпова А.В. Новая технология размещения стокорегулирующих лесных полос на склоновых землях // *Известия НВ АУК*, 2019. № 2 (54). С. 119–126.
- [8] Петелько А.И., Новиков Н.Е. Защитное лесоразведение // *Вестник АПК Ставрополя*, 2014. № 3(15). С. 175–178.
- [9] Кулик К.Н. Стратегия развития защитного лесоразведения в Российской Федерации до 2025 года // *Вестник сельскохозяйственного конструирования*, 2015. № 3. С. 5–11.
- [10] Проездов П.Н., Маштаков Д.А., Панфилов А.В. Теоретическое обоснование адаптивно-ландшафтных систем земледелия и агролесомелиорации в степной и сухостепной зонах Поволжья // *Нива Поволжья*, 2017. № 2 (43). С. 42–48.
- [11] Кулик К.Н. Развитие агролесомелиоративной науки в России // *Известия НВ АУК*, 2014. № 3 (35). С. 12–18.
- [12] Кулик К.Н., Барабанов А.Т., Манаенков А.С. Прогноз развития защитного лесоразведения в России до 2020 года // *Проблемы прогнозирования*, 2015. № 4. С. 48–57.
- [13] Кулик К.Н. Защитное лесоразведение в РФ: проблемы и стратегия развития до 2020 г. // *Теоретические и прикладные проблемы агропромышленного комплекса*, 2009. № 1. С. 10–16.
- [14] Вольнов В.В., Бойко А.В. Комплекс мелиоративных мероприятий в адаптивно-ландшафтном земледелии // *Вестник Алтайского государственного аграрного университета*, 2015. № 4 (126). С. 35–40.
- [15] Иванов А.Ю. Битва за климат: карбоновое земледелие как ставка России / под ред. А.Ю. Иванова, Н.Д. Дурманова. М.: Издательский дом Высшей школы экономики, 2021. 120 с.
- [16] Сергиенко В.Г. Влияние ожидаемого изменения климата на баланс углерода и продуктивность экосистем в лесном секторе Российской Федерации // *Труды Санкт-Петербургского научно-исследовательского института лесного хозяйства*, 2018. № 1. С. 74–90.
- [17] Лакида П.И. Запасы углерода в фитомассе лесных фитосеносов Национального парка «Припять — Стоход» // *Проблемы лесоведения и лесоводства: сб. науч. трудов ИЛ НАН Беларуси. Выпуск 77. Гомель: Изд-во Института леса НАН Беларуси*, 2017. С. 99–107.
- [18] ОСТ 56–69–83 «Площади пробные лесоустроительные. Метод закладки». М.: ЦБМТлесхоз, 1984. 10 с.
- [19] Романов Е.М., Нуреева Т.В., Мифтахов Т.Ф., Пуряев А.С. Экологическая и сырьевая роль лесов Республики Татарстан // *Вестник Поволжского государственного технологического университета. Серия: Лес. Экология. Природопользование*, 2015. № 2. С. 5–18.
- [20] Постановление Правительства Российской Федерации от 09 декабря 2020 г. № 2047 «Об утверждении Правил санитарной безопасности в лесах». URL: <https://docs.cntd.ru/document/573053313> (дата обращения 25.01.2023).
- [21] Приказ Министерства природных ресурсов и экологии РФ от 9 ноября 2020 г. № 910 «Об утверждении Порядка проведения лесопатологических обследований и формы акта лесопатологического обследования». URL: <https://docs.cntd.ru/document/573140196> (дата обращения 25.01.2023).
- [22] Постановление Кабинета Министров Республики Татарстан от 12 марта 1997 г. № 216 «О Комплексной программе повышения плодородия почв и защиты их от эрозии в Республике Татарстан на 1997–2005 годы». URL: <https://docs.cntd.ru/document/917007355> (дата обращения 25.01.2023).
- [23] Мухаметшина А.Р., Петрова Г.А., Мусин Х.Г., Тагиев И.Р. Анализ состояния агролесоландшафтов Республики Татарстан и пути их восстановления // *Инновационные технологии в агропромышленном комплексе в условиях цифровой трансформации: Матер. Междунар. науч.-практ. конф., Волгоград, 09–11 февраля 2022 года. Т. 1. Волгоград: Изд-во Волгоградского государственного аграрного университета*, 2022. С. 421–426.
- [24] Мухаметшин З.А., Мухаметханова Г.З. Защитное лесоразведение в условиях Республики Татарстан // *Студенческая наука — аграрному производству: Матер. 80-й студ. (регион.) научн. конф., Казань, 08–09 февраля 2022 года. Т. 3. Казань: Изд-во Казанского государственного аграрного университета*, 2022. С. 87–91.
- [25] Мухаметшина А.Р., Мусин Х.Г. Оценка состояния защитных насаждений на овражно-балочных землях // *Циркулярная экономика в сельском хозяйстве: междунар. опыт для Республики Татарстан: сб. трудов по материалам «круглого стола» в рамках итоговой коллегии Министерства сельского хозяйства и продовольствия Республики Татарстан, Казань, 24–25 февраля 2022 года. Казань: Изд-во Казанского ГАУ*, 2022. С. 191–197.
- [26] Мухаметшина А.Р., Мусин Х.Г., Сабирова Р.Р., Тагиев И.Р. Облесение крутых склонов посевом желудей дуба черешчатого без нарушения существующего ландшафта // *Современное состояние и перспективы развития технической базы агропромышленного комплекса: науч. тр. Всерос. (нац.) науч.-практ. конф., посвященной памяти проф. А.П. Мартьянова, Казань, 27–28 октября 2022 года. Казань: Изд-во Казанского государственного аграрного университета*, 2022. С. 757–761.
- [27] Зайцев Б.Д. Почвоведение. М.: Лесная пром-сть, 1965. С. 367.
- [28] Евсеева Н.С., Квасникова З.Н., Людкевич Е.И. Эрозионные процессы в природно-антропогенных геосистемах южной тайги Западно-Сибирской равнины и их геоэкологические аспекты // *Геология. Гидрогеология. Геоэкология*, 2014. № 5. С. 442–449.
- [29] Ермолаев О.П., Игонин М.Е., Бубнов А.Ю., Павлова С.В. Ландшафты Республики Татарстан. Региональный ландшафтно-экологический анализ / под ред. О.П. Ермолаева. Казань: Слово, 2007. 441 с.
- [30] Каретин Л.Н. Почвы Тюменской области. Новосибирск: Наука, 1990. 285 с.
- [31] Еремин Д.И., Груздева Н.А. Агрогенные изменения плотности серых лесных почв в Северном Зауралье // *Сибирский вестник сельскохозяйственной науки*, 2017. Т. 47. № 5. С. 13–22.
- [32] Лосев А.И., Наумов В.Д., Каменных Н.Л., Поляков А.М., Шмакова К.А. Характеристика гумусовых горизонтов дерново-подзолистых почв, формирующихся в условиях мегаполиса, на примере лесной опытной дачи РГАУ-МСХА им. К.А. Тимирязова // *Агрохимический вестник*, 2023. № 3. С. 40–46.
- [33] Газизуллин А.Х. Почвообразование, почвы и лес. Казань: Школа, 2005. 540 с.
- [34] Газизуллин А.Х., Сабиров А.Т. Экологические условия почвообразования Среднего Поволжья. Йошкар-Ола: Изд-во МарПИ, 1995. 100 с.
- [35] Газизуллин А.Х., Сабиров А.Т., Нагимов А.З. Взаимосвязь почв и лесной растительности Среднего Поволжья // *Почвообразование*, 1996. № 12. С. 1523–1529.

Сведения об авторах

Мухаметшина Айгуль Рамилевна [✉] — канд. с.-х. наук, доцент кафедры лесоводства и лесных культур, ФГБОУ ВО «Казанский государственный аграрный университет», aigulsafina@yandex.ru

Мусин Харис Гайнутдинович — д-р с.-х. наук, профессор кафедры лесоводства и лесных культур, ФГБОУ ВО «Казанский государственный аграрный университет», haris.musin@rambler.ru

Мирсияпов Наиль Ильясович — аспирант кафедры таксации и экономики лесной отрасли, ФГБОУ ВО «Казанский государственный аграрный университет», nail.86@mail.ru

Сибгатуллина Разиля Рустемовна — аспирант кафедры лесоводства и лесных культур, ФГБОУ ВО «Казанский государственный аграрный университет», razilyshechka@mail.ru

Чернов Василий Иванович — канд. с.-х. наук, доцент кафедры лесоводства и лесных культур, ФГБОУ ВО «Казанский государственный аграрный университет», chernov85@mail.ru

Поступила в редакцию 05.04.2023.

Одобрено после рецензирования 21.06.2023.

Принята к публикации 15.07.2024.

STATE ASSESSMENT OF PROTECTIVE FOREST PLANTATIONS IN PREDKAMYE (REPUBLIC OF TATARSTAN)

A.R. Mukhametshina [✉], **H.G. Musin**, **N.I. Mirsiyapov**,
R.R. Sibgatullina, **V.I. Chernov**

Kazan State Agrarian University, 65, K. Marx st., 420015, Kazan, Republic of Tatarstan, Russia

aigulsafina@yandex.ru

The results of protective forest plantations state assessment in Predkamye of the Tatarstan Republic are presented. The state assessment was carried out using the method of continuous recalculation, determining taxation indicators and categories of trees state on trial plots in accordance with regulatory documents. In total, 20 trial plots were established and surveyed in the Sabinsky, Arsky, and Atninsky municipal districts. It was established that, according to silvicultural and taxation indicators, the average age of the surveyed plantings equals to 48 years, forest density ranges from 0,5 to 0,9, and a quality class ranges from I to II. Based on the sanitary condition of the sites, trees of the 1st and 2nd categories were identified, on which forestry measures such as sanitary felling, a natural reforestation are recommended. An assessment of trees on trial plots shows that protective forest plantings fulfill their functions, slow down erosion and increase soil fertility, due to the accumulation of plant waste, in particular soft-wooded broadleaved trees. The average growth volumes of stem wood and carbon sequestration were calculated for each site. The largest volume of deposition was detected in mixed composition plantations of birch, pine, and poplar. It is indicated that poplar (*Populus*) is a promising species in carbon sequestration. This species was identified in two trial plots. According to silvicultural and taxation characteristics, the plantings are assigned to quality class II. Sanitary felling is recommended in these areas. The volume of carbon sequestration in these areas is set at 3,17 and 1,90 t/ha per year. Natural regeneration of the main forest-forming species of the Republic of Tatarstan is recorded in the areas, they are pedunculate oak, silver birch, Scots pine and Norway maple. Viable undergrowth contributes to the formation of stable mixed-composition, uneven-aged, complex-structured protective forest stands.

Keywords: protective forest plantations, soil erosion, gray forest soils, carbon sequestration

Suggested citation: Mukhametshina A.R., Musin Kh.G., Mirsiyapov N.I., Sibgatullina R.R., Chernov V.I. *Otsenka sostoyaniya zashchitnykh lesnykh nasazhdeniy v Predkam'e Respubliki Tatarstan* [State assessment of protective forest plantations in Predkamye (Republic of Tatarstan)]. *Lesnoy vestnik / Forestry Bulletin*, 2024, vol. 28, no. 6, pp. 5–17. DOI: 10.18698/2542-1468-2024-6-5-17

References

- [1] Petel'ko A.I., Novikov N.E. *Zashchitnoe lesorazvedenie* [Protective afforestation]. *Vestnik APK Stavropol'ya* [Bulletin of the AIC of Stavropol], 2014, no. 3 (15), pp. 175–176.
- [2] Suchkov D.K. *Rol' i ekonomicheskaya effektivnost' zashchitnykh lesnykh nasazhdeniy v vosstanovlenii i preobrazovanii landshaftov* [The role and economic efficiency of protective forest plantings in the restoration and transformation of landscapes]. *Nauchno-agronomicheskii zhurnal* [Scientific and Agronomic Journal], 2018, no. 1(102), pp. 20–23.
- [3] Erusalimskiy V.I., Rozhkov V.A. *Mnogofunktional'naya rol' zashchitnykh lesnykh nasazhdeniy* [Multifunctional role of protective forest plantings]. *Byulleten' Pochvennogo instituta imeni V.V. Dokuchaeva* [Bulletin of the Soil Institute named after V.V. Dokuchaeva], 2017, no. 88, pp. 121–137. <https://doi.org/10.19047/0136-1694-2017-88-121-137>
- [4] Petel'ko A.I. *Vosstanovlenie plodorodiya smytykh pochv* [Restoring the fertility of washed away soils]. *Prirodoobustroystvo* [Nature Management], 2017, no. 1, pp. 94–100. DOI: 10.26897/1997-6011-2017-1-94-100

- [5] Zhang S.T., Zhang J.Z., Liu Y., Liu Y.C. [Effects of farmland vegetation row direction on overland flow hydraulic characteristics. *Hydrology research*, 2018, v. 49, iss. 6, pp. 1991–2001.
- [6] Barabanov A.T. *Eroziionno-gidrologicheskaya otsenka vzaimodeystviya prirodnykh i antropogennykh faktorov formirovaniya poverkhnostnogo stoka talykh vod i adaptivno-landshaftnoe zemledelie* [Erosion-hydrological assessment of the interaction of natural and anthropogenic factors in the formation of surface meltwater runoff and adaptive landscape agriculture]. Volgograd: Federal Scientific Center for Agroecology of the Russian Academy of Sciences, 2017, 188 p.
- [7] Barabanov A.T., Petel'ko A.I., Kulik A.V., Vypova A.V. *Novaya tekhnologiya razmeshcheniya stokoreguliruyushchikh lesnykh polos na sklonovykh zemlyakh* [New technology for placing flow-regulating forest strips on slope lands]. *Izvestia NV AUK*, 2019, no. 2 (54), pp. 119–126.
- [8] Petel'ko A.I., Novikov N.E. *Zashchitnoe lesorazvedenie* [Protective afforestation]. *Vestnik APK Stavropol'ya* [Bulletin of the AIC of Stavropol], 2014, no. 3(15), pp. 175–178.
- [9] Kulik K.N. *Strategiya razvitiya zashchitnogo lesorazvedeniya v Rossiyskoy Federatsii do 2025 goda* [Strategy for the development of protective afforestation in the Russian Federation until 2025]. *Vestnik sel'skokhozyaystvennogo konstruirovaniya* [Bulletin of Agricultural Design], 2015, no. 3, pp. 5–11.
- [10] Proezdov P.N., Mashtakov D.A., Panfilov A.V. *Teoreticheskoe obosnovanie adaptivno-landshaftnykh sistem zemledeliya i agrolesomeliatsii v stepnoy i sukhostepnoy zonakh Povolzh'ya* [Theoretical justification of adaptive landscape systems of agriculture and agroforestry in the steppe and dry steppe zones of the Volga region]. *Niva Povolzh'ya*, 2017, no. 2 (43), pp. 42–48.
- [11] Kulik K.N. *Razvitie agrolesomeliativnoy nauki v Rossii* [Development of agroforestry science in Russia]. *Izvestia NV AUK*, 2014, no. 3 (35), pp. 12–18.
- [12] Kulik K.N., Barabanov A.T., Manaenkov A.S. *Prognoz razvitiya zashchitnogo lesorazvedeniya v Rossii do 2020 goda* [Forecast for the development of protective afforestation in Russia until 2020]. *Problemy prognozirovaniya* [Problems of forecasting], 2015, no. 4, pp. 48–57.
- [13] Kulik K.N. *Zashchitnoe lesorazvedenie v RF: problemy i strategiya razvitiya do 2020 g.* [Protective afforestation in the Russian Federation: problems and development strategy until 2020]. *Teoreticheskie i prikladnye problemy agropromyshlennogo kompleksa* [Theoretical and applied problems of the agro-industrial complex], 2009, no. 1, pp. 10–16.
- [14] Vol'nov V.V., Boyko A.V. *Kompleks meliorativnykh meropriyatiy v adaptivno-landshaftnom zemledelii* [Complex of reclamation measures in adaptive landscape agriculture]. *Vestnik AGAU* [Bulletin of the ASAU], 2015, no. 4 (126), pp. 35–40.
- [15] Ivanov A.Yu. *Bitva za klimat: karbonovoe zemledelie kak stavka Rossii* [The battle for climate: carbon agriculture as Russia's bet]. Eds. A.Yu. Ivanova, N.D. Durmanova. Moscow: Publishing House of the Higher School of Economics, 2021, 120 p.
- [16] Sergienko V.G. *Vliyaniye ozhidaemogo izmeneniya klimata na balans ugleroda i produktivnost' ekosistem v lesnom sektore Rossiyskoy Federatsii* [The influence of expected climate change on the carbon balance and productivity of ecosystems in the forest sector of the Russian Federation]. *rudyy Sankt-Peterburgskogo nauchno-issledovatel'skogo instituta lesnogo khozyaystva* [Proceedings of the St. Petersburg Research Institute of Forestry], 2018, no. 1, pp. 74–90.
- [17] Lakida P.I. *Zapasy ugleroda v fitomasse lesnykh fitosenozov Natsional'nogo parka «Pripyat» — Stokhod* [Carbon reserves in the phytomass of forest phytocenoses of the Pripyat — Stokhod National Park]. *Problemy lesovedeniya i lesovodstva: sb. nauchnykh trudov IL NAN Belarusi. Vypusk 77* [Problems of forestry and forestry: collection. scientific works of the IL NAS of Belarus. Issue 77]. Gomel: Forest Institute of the National Academy of Sciences of Belarus, 2017, pp. 99–107.
- [18] OST 56–69–83 *Ploshchadi probnye leoustroitel'nye. Metod zakladki* [Trial forest management areas. Bookmark method]. Moscow: CBMTleskhoz, 1984, 10 p.
- [19] Romanov E.M., Nureeva T.V., Miftakhov T.F., Puryaev A.S. *Ekologicheskaya i syr'evaya rol' lesov Respubliki Tatarstan* [Ecological and raw materials role of forests of the Republic of Tatarstan]. *Vestnik Povolzhskogo gosudarstvennogo tekhnologicheskogo universiteta. Seriya: Les. Ekologiya. Prirodopol'zovanie* [Bulletin of the Volga State Technological University. Series: Forest. Ecology. Nature Management], 2015, no. 2, pp. 5–18.
- [20] *Postanovlenie Pravitel'stva Rossiyskoy Federatsii ot 09 dekabrya 2020 g. № 2047 «Ob utverzhdenii Pravil sanitarnoy bezopasnosti v lesakh»* [Decree of the Government of the Russian Federation of December 9, 2020 no. 2047 «On approval of the Rules for sanitary safety in forests»]. Available at: <https://docs.cntd.ru/document/573053313> (accessed 25.01.2023).
- [21] *Prikaz Ministerstva prirodnykh resursov i ekologii RF ot 9 noyabrya 2020 g. № 910 «Ob utverzhdenii Poryadka provedeniya lesopatologicheskikh obsledovaniy i formy akta lesopatologicheskogo obsledovaniya»* [Order of the Ministry of Natural Resources and Ecology of the Russian Federation dated November 9, 2020 no. 910 «On approval of the Procedure for conducting forest pathological examinations and the form of the forest pathological examination report»]. Available at: <https://docs.cntd.ru/document/573140196> (accessed 25.01.2023).
- [22] *Postanovlenie Kabineta Ministrov Respubliki Tatarstan ot 12 marta 1997 g. № 216 «O Kompleksnoy programme povysheniya plodorodiya pochv i zashchity ikh ot erozii v Respublike Tatarstan na 1997–2005 gody»* [Resolution of the Cabinet of Ministers of the Republic of Tatarstan dated March 12, 1997 No. 216 «On the Comprehensive Program for Improving Soil Fertility and Protecting them from Erosion in the Republic of Tatarstan for 1997–2005»]. Available at: <https://docs.cntd.ru/document/917007355> (accessed 25.01.2023).
- [23] Mukhametshina A.R., Petrova G.A., Musin Kh.G., Taziev I.R. *Analiz sostoyaniya agrolesolandshaftov Respubliki Tatarstan i puti ikh vosstanovleniya* [Analysis of the state of agroforestry landscapes of the Republic of Tatarstan and ways of their restoration]. *Innovatsionnye tekhnologii v agropromyshlennom komplekse v usloviyakh tsifrovoy transformatsii: mater. Mezhdunar. nauchno-prakticheskoy konferentsii* [Innovative technologies in the agro-industrial complex in the conditions of digital transformation: material. Intl. scientific and practical conference], Volgograd, February 09–11, 2022, t. I. Volgograd: Volgograd State Agrarian University, 2022, pp. 421–426.
- [24] Mukhametshin Z.A., Mukhametkhanova G.Z. *Zashchitnoe lesorazvedenie v usloviyakh Respubliki Tatarstan* [Protective afforestation in the conditions of the Republic of Tatarstan]. *Studencheskaya nauka — agrarnomu proizvodstvu: mater. 80-oy Studencheskoy (regional'noy) nauchnoy konferentsii* [Student science — agricultural production: material. 80th Student (regional) scientific conference], Kazan, February 08–09, 2022, t. 3. Kazan: Kazan State Agrarian University, 2022, pp. 87–91.

- [25] Mukhametshina A.R., Musin Kh.G. *Otsenka sostoyaniya zashchitnykh nasazhdeniy na ovrazhno-balochnykh zemlyakh* [Assessment of the condition of protective plantings on ravine-beam lands]. *Tsirkulyarnaya ekonomika v sel'skom khozyaystve: mezhdunarodnyy opyt dlya Respubliki Tatarstan: sb. trudov po materialam «kruglogo stola» v ramkakh itogovoy kollegii Ministerstva sel'skogo khozyaystva i prodovol'stviya Respubliki Tatarstan* [Circular economics in agriculture: international experience for the Republic of Tatarstan: collection. works based on the materials of the «round table» within the framework of the final board of the Ministry of Agriculture and Food of the Republic of Tatarstan], Kazan, February 24–25, 2022. Kazan: Kazan State Agrarian University, 2022, pp. 191–197.
- [26] Mukhametshina A.R., Musin Kh.G., Sabirova R.R., Taziev I.R. *Oblesenie krutykh sklonov posevom zheludey duba chereschatogo bez narusheniya sushchestvuyushchego landshafta* [Afforestation of steep slopes by sowing English oak acorns without disturbing the existing landscape]. *Sovremennoe sostoyanie i perspektivy razvitiya tekhnicheskoy bazy agropromyshlennogo kompleksa: nauchnye trudy Vserossiyskoy (natsional'noy) nauchno-prakticheskoy konferentsii, posvyashchennoy pamyati prof. A.P. Mart'yanova* [Current state and prospects for the development of the technical base of the agro-industrial complex: scientific proceedings of the All-Russian (national) scientific-practical conference dedicated to the memory of prof. A.P. Martyanova], Kazan, October 27–28, 2022, Kazan State Agrarian University. Kazan: Kazan State Agrarian University, 2022, pp. 757–761.
- [27] Zaytsev B.D. *Pochvovedenie* [Soil science]. Moscow: Lesnaya prom-st, 1965, p. 367.
- [28] Evseeva N.S., Kvasnikova Z.N., Lyudkevich E.I. *Eroziionnye protsessy v prirodno-antropogennykh geosistemakh yuzhnoy taygi Zapadno-Sibirskoy ravniny i ikh geoekologicheskie aspekty* [Erosion processes in natural-anthropogenic geosystems of the southern taiga of the West Siberian Plain and their geoecological aspects]. *Geologiya. Gidrogeologiya. Geokriologiya* [Geology. Hydrogeology. Geocryology], 2014, no. 5, pp. 442–449
- [29] Ermolaev O.P., Igonin M.E., Bubnov A.Yu., Pavlova S.V. *Landshafty Respubliki Tatarstan. Regional'nyy landshaftno-ekologicheskiy analiz* [Landscapes of the Republic of Tatarstan. Regional landscape-ecological analysis]. Ed. O.P. Ermolaeva. Kazan: Slovo, 2007, 441 p.
- [30] Karetin L.N. *Pochvy Tyumenskoy oblasti* [Soils of the Tyumen region]. Novosibirsk: Nauka, 1990, 285 p.
- [31] Eremin D.I., Gruzdeva N.A. *Agrogennyye izmeneniya plotnosti serykh lesnykh pochv v Severnom Zaural'e* [Agrogenic changes in the density of gray forest soils in the Northern Trans-Urals]. *Sibirskiy vestnik s.-kh. nauki* [Siberian Bulletin of Agricultural Sciences. Sciences], 2017, t. 47, no. 5, pp. 13–22.
- [32] Losev A.I., Naumov V.D., Kamennykh N.L., Polyakov A.M., Shmakova K.A. *Kharakteristika gumusovykh gorizontov dervno-podzolistykh pochv, formiruyushchikhsya v usloviyakh megapolisa, na primere lesnoy opytnoy dachi RGAU-MSKha im. K.A. Timiryazova* [Characteristics of humus horizons of soddy-podzolic soils formed in a megalopolis, using the example of a forest experimental dacha of the Russian State Agrarian University-Moscow Agricultural Academy named after K.A. Timiryazova]. *Agrokhimicheskiy vestnik* [Agrochemical Bulletin], 2023, no. 3, pp. 40–46.
- [33] Gazizullin A.Kh. *Pochvoobrazovanie, pochvy i les* [Soil formation, soils and forests]. Kazan: RIC «School», 2005, 540 p.
- [34] Gazizullin A.Kh., Sabirov A.T. *Ekologicheskie usloviya pochvoobrazovaniya Srednego Povolzh'ya* [Ecological conditions of soil formation in the Middle Volga region]. Yoshkar-Ola: MarPI, 1995, 100 p.
- [35] Gazizullin A.Kh., Sabirov A.T., Nagimov A.Z. *Vzaimosvyaz' pochv i lesnoy rastitel'nosti Srednego Povolzh'ya* [The relationship between soils and forest vegetation of the Middle Volga region]. *Pochvoobrazovanie* [Soil Education], 1996, no. 12, pp. 1523–1529.

Authors' information

Mukhametshina Aygul' Ramilevna✉ — Cand. Sci. (Agriculture), Associate Professor of the Department of Forestry and Forest Crops, Kazan State Agrarian University, aigulsafina@yandex.ru

Musin Kharis Gainutdinovich — Dr. Sci. (Agriculture), Professor of the Department of Forestry and Forest Crops, Kazan State Agrarian University, haris.musin@rambler.ru

Mirsiyapov Nail' Il'yasovich — pg. of Kazan State Agrarian University, nail.86@mail.ru

Sibgatullina Razilya Rustemovna — pg. of the Department of Forestry and Forest Crops, Kazan State Agrarian University, razilyshechka@mail.ru

Chernov Vasily Ivanovich — Cand. Sci. (Agriculture), Associate Professor of the Department of Forestry and Forest Crops, Kazan State Agrarian University, chernov85@mail.ru

Received 05.04.2023.

Approved after review 21.06.2023.

Accepted for publication 15.07.2023.

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

ОПЫТ ВЫРАЩИВАНИЯ КЕДРОВОГО СТЛАНИКА РАЗНОГО ГЕОГРАФИЧЕСКОГО ПРОИСХОЖДЕНИЯ В УСЛОВИЯХ ЗАПАДНОЙ СИБИРИ

Г.В. Иволина✉, Е.А. Жук

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

galina_biology@mail.ru

Представлены результаты эксперимента по выращиванию кедрового стланика (*Pinus pumila* (Pall.) Regel) в однородных почвенно-климатических условиях юга Томской области. На примере семенного потомства кедрового стланика из четырех районов с различными климатическими условиями показаны внутривидовые различия по высоте дерева, длине и наклону ствола, ширине кроны и числу боковых ветвей, длине годичных побегов и хвои. Выявлены различия между экотипами по степени морозных повреждений. Указаны возможные причины различий между экотипами.

Ключевые слова: внутривидовая изменчивость, рост, экотип, *Pinus pumila*

Ссылка для цитирования: Иволина Г.В., Жук Е.А. Опыт выращивания кедрового стланика разного географического происхождения в условиях Западной Сибири // Лесной вестник / Forestry Bulletin, 2024. Т. 28. № 6. С. 18–27. DOI: 10.18698/2542-1468-2024-6-18-27

Кедровый стланик (*Pinus pumila* (Pall.) Regel.) имеет самый большой ареал среди видов подрода *Strobus* [1] — около 6 млн км², основная часть которого находится на территории России и Японии [2]. Вид произрастает в широком спектре климатических условий — от субальпийского до субтропического климата [3]. Кедровый стланик имеет жизненную форму стелющегося дерева (рис. 1). Его ветви обладают свойством активного предзимнего полегания под действием мороза [4, 5]. Кедровому стланику характерно как половое размножение с помощью семян, распространяемых кедровкой [6, 7], так и бесполое — через укоренение полегающих ветвей [8, 9]. На большей части ареала кедровый стланик произрастает совместно с другими хвойными видами. Этот преимущественно субарктический и субальпийский вид часто произрастает над верхней границей леса, где он доминирует, в хвойных лесах встречается в подлеске [10–12].

Кедровый стланик обладает высоким по сравнению с другими видами хвойных уровнем генетического разнообразия, что было доказано с помощью исследования аллозимного полиморфизма [13–16]. Исследования внутривидового разнообразия по морфологическим признакам проводились только в природных популяциях. В частности, показано, что кедровый стланик обладает значительной изменчивостью по длине побегов и хвои в зависимости от климатических условий [17] и изменчивостью по

структуре и форме семенных чешуй женских шишек [18]. Данные о высоком генетическом разнообразии кедрового стланика свидетельствуют о том, что доля генотипической изменчивости в общей изменчивости его морфологических признаков может быть весьма велика. Однако никаких исследований по данной проблеме до сих пор не проводилось.

Одним из основных методов изучения внутривидового разнообразия является выращивание потомства вида в однородных почвенно-климатических условиях. Уже почти на протяжении столетия выращивание в однородных условиях растений из популяций разного происхождения позволяет выяснить, насколько географическая и экологическая изменчивость морфологических признаков генетически обусловлена. Для видов с обширными сплошными ареалами часто характерна клинальная изменчивость, связанная с определенными факторами среды [19, 20]. Для видов, имеющих ареалы с контрастными климатическими условиями, характерны другие специфические паттерны генотипической изменчивости, непосредственно связанные с лимитирующими факторами в каждой части ареала [21]. Кедровый стланик имеет необычную для рода *Pinus* жизненную стратегию и структуру ареала, климат которого можно охарактеризовать как контрастный.

Цель работы

Цель работы — выявление различий по морфологическим признакам и устойчивости между семенным потомством кедрового стланика



Рис. 1. Кедровый стланик
Fig. 1. Dwarf Siberian pine

различного географического происхождения, выращенного в однородных почвенно-климатических условиях.

Материалы и методы

Семена собраны в четырех российских популяциях кедрового стланика (рис. 2–6, табл. 1), расположенных далеко друг от друга и охватывающих большую часть климатического разнообразия ареала. Данные по климату в районе эксперимента были предоставлены Томским центром по гидрометеорологии и мониторингу окружающей среды, климатические переменные в районах происхождения семенного материала получены из Агроклиматического атласа мира [22].

Для сбора семян в каждой популяции выбрали 25 деревьев, с каждого из которых было собрано по 5 шишек. Поскольку кедровый стланик часто образует протяженные клоны, выбранные деревья находились на расстоянии не менее 30 м один от другого для того, чтобы избежать сбора образцов с одного клона.

После трехмесячной холодной стратификации смешанные образцы семян из каждой популяции были посеяны в открытый грунт на научном стационаре «Кедр» Института мониторинга климатических и экологических систем СО РАН (Томская область, 56°13' с. ш., 84°52' в. д., высота 80 м н. у. м.). В трехлетнем возрасте сеянцы были пересажены рядами в школьное отделение питомника и выращивались с размещением 30×40 см (рис. 7). За растениями осуществлялся минимальный уход, который заключался в прополке и поливе по мере необходимости.

Было измерено по 30 сеянцев кедрового стланика для каждого экотипа. У 12-летних сеянцев

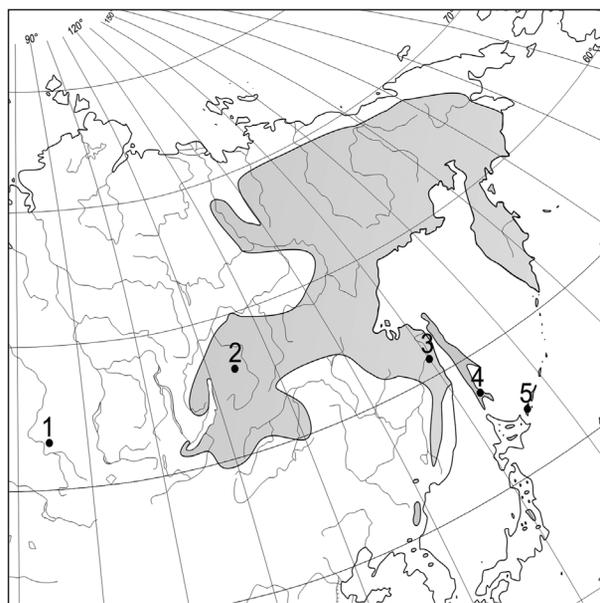


Рис. 2. Ареал кедрового стланика, место исследования: 1 — научный стационар «Кедр»; районы происхождения семян: 2 — Северо-Муйский хребет; 3 — Нижний Амур; 4 — о. Сахалин; 5 — о. Кунашир

Fig. 2. Natural habitat of Dwarf Siberian pine, location of the experiment: 1 — field station «Kedr»; seed origins: 2 — Severomuysk ridge; 3 — Low Amur; 4 — i. Sakhalin; 5 — i. Kunashir

измерили высоту растений и ширину крон, длину ствола и его диаметр на высоте 2 см от поверхности почвы, длину главных годичных побегов за последние 7 лет, длину хвои за последние 3 года, подсчитали общее число боковых ветвей на стволе. Согласно классификации жизненных форм И.Г. Серебрякова [23], кедровый стланик — это стелющееся дерево, поэтому длина ствола и высота сеянца в данном случае имеют различные



Рис. 3. Кедровый стланик на Северо-Муйском хребте
Fig. 3. Dwarf Siberian pine on Severomuysk ridge



Рис. 4. Кедровый стланик на Нижнем Амуре
Fig. 4. Dwarf Siberian pine on the NizhniiAmur



Рис. 5. Кедровый стланик на о. Сахалин (фото С.Н. Горошкевича)
Fig. 5. Dwarf Siberian pine on Sakhalin Island (photo by S.N. Goroshkevich)



Рис. 6. Кедровый стланик на о. Кунашир (фото С.Н. Горошкевича)
 Fig. 6. Dwarf Siberian pine on Kunashir Island (photo by S.N. Goroshkevich)

Т а б л и ц а 1

Географическое положение и климатические характеристики района эксперимента и районов происхождения растительного материала

Geographical position and climatic characteristics of experiment location and origins of plant material

Место исследования и сбора семян	Географические координаты	Высота, м н. у. м.	Сумма активных температур (+10 °С и более), °С	Среднегодовая температура воздуха, °С	Продолжительность безморозного периода, дни	Количество осадков за год, мм	Тип климата
Томск (район эксперимента)	56°13' с. ш. 84°52' в. д.	90	1850	-0,6	110–120	568	Континентально-циклонический
Северо-Муйский хребет	56°10' с. ш. 113°30' в. д.	900	400	-5,0	до 60	900	Резко-континентальный
Нижний Амур	51°17' с. ш. 139°13' в. д.	100	1450	-0,8	до 120	692	Муссонный
о. Сахалин	47°30' с. ш. 142°30' в. д.	800	1700	+2,8	180	815	То же
о. Кунашир	44°20' с. ш. 145°40' в. д.	150	1700	+4,8	189	1319	«←»

значения. Высота измерялась как расстояние от поверхности почвы до высшей точки сеянца. У каждого сеянца отмечали наличие или отсутствие морозных повреждений и их степень. Если было повреждено 1–5 побегов, повреждения считали единичными. Если было повреждено 5 побегов и более, повреждения считали слабыми. Если от мороза пострадала целая ветвь, отходящая от ствола, повреждения считали средними. Если погибла часть кроны, то повреждения считали сильными.

С помощью критерия Шапиро — Уилкса было установлено, что все признаки имели нормальное распределение. Для оценки разнообразия между популяциями по этим признакам использовали однофакторный дисперсионный анализ (ANOVA). Если анализ показывал, что совокуп-

ность неоднородна, то экотипы сравнивали между собой с помощью теста Ньюмана — Кейлса. Для визуализации общей дифференциации экотипов провели дискриминантный анализ.

Результаты и обсуждение

Деревья из экотипа о. Сахалин имели более короткие длину и диаметр стволов, более низкую крону и меньше ветвились по сравнению с остальными экотипами (табл. 2). Деревья из экотипа о. Кунашир имели наиболее наклонный ствол и самую широкую крону по сравнению с другими экотипами. Деревья из экотипов Нижнего Амура и Северо-Муйского хребта оказались наиболее близки по морфологическим признакам, между ними не было отмечено значимых различий.



Рис. 7. Ряды сеянцев кедрового стланика разного географического происхождения на научном стационаре «Кедр»: 1 — о. Сахалин; 2 — о. Кунашир; 3 — Северо-Муйский хребет; 4 — Нижний Амур

Fig. 7. Rows of seedlings with different geographical origins in field station Kedr: 1 — i. Sakhalin; 2 — i. Kunashir; 3 — Severomuysk ridge; 4 — Nizhni Amur

Т а б л и ц а 2

**Морфологические признаки (средние значения и стандартные отклонения)
у разных экотипов кедрового стланика в 12-летнем возрасте**

Morphological traits (means and standard deviations) in different ecotypes of Dwarf Siberian pine at the age 12 years

Признаки	о. Кунашир	о. Сахалин	Нижний Амур	Северо-Муйский хребет
Длина ствола, см	116,3 ± 16,7a	67,7 ± 17,4b	117,9 ± 20,5a	118,4 ± 22,7a
Высота дерева, см	97,6 ± 18,3a	61,4 ± 17,1b	109,3 ± 18,6a	109,5 ± 21,3a
Длина ствола/высота дерева	1,21 ± 0,14a	1,11 ± 0,09b	1,08 ± 0,04b	1,08 ± 0,05b
Диаметр ствола, мм	3,6 ± 1,2b	1,9 ± 0,6a	3,5 ± 0,9b	3,5 ± 1,0b
Ширина кроны, см	100,3 ± 36,4a	39,5 ± 16,2c	72,8 ± 19,4b	75,3 ± 18,4b
Число боковых ветвей	20,6 ± 4,9b	11,8 ± 4,3c	24,8 ± 5,0a	24,2 ± 8,3a

Примечание. Значимость (принятый уровень значимости $p < 0,05$) различий между популяциями показана буквами: наличие одинаковой буквы у разных экотипов означает отсутствие значимых различий между ними по данному признаку.

Характер динамики роста годовых побегов у всех экотипов был схож, однако деревья из экотипа о. Сахалин в разные годы имели в 1,3...2,6 раза меньшую длину годовых побегов по сравнению с остальными экотипами (рис. 8). По длине хвои были отмечены слабые различия между экотипами (рис. 9). Максимальная длина хвои в 10-летнем возрасте была у экотипа о. Кунашир, в 11-летнем — у экотипа Северо-Муйского хребта, в 12-летнем возрасте различий не было.

Сравнение экотипов одновременно по всем измеренным признакам с помощью дискриминантного анализа показало их довольно слабую дифференциацию между собой (рис. 10). Экотипы о. Кунашир и о. Сахалин были наиболее дифференцированы, тогда как экотипы Северо-Муйского хребта и Нижнего Амура были практически

неразделимы. Наибольшая корреляция первого канонического корня (Root 1) наблюдалась с длиной (0,745) и высотой дерева (0,725), а также с числом ветвей (0,624), а для второго канонического корня (Root 2) — с шириной кроны (0,550).

Морозные повреждения были отмечены у всех экотипов. Наибольшая доля пострадавших от мороза деревьев принадлежала экотипу Нижнего Амура: единичные морозные повреждения имели 90 % деревьев. Большинство деревьев из экотипа Северо-Муйского хребта (80 %) также имели единичные морозные повреждения, а два дерева погибли от сильных повреждений. У экотипа о. Кунашир менее половины деревьев имели морозные повреждения: 15 % — единичные, 7 % — слабые и 3 % имели средние повреждения.

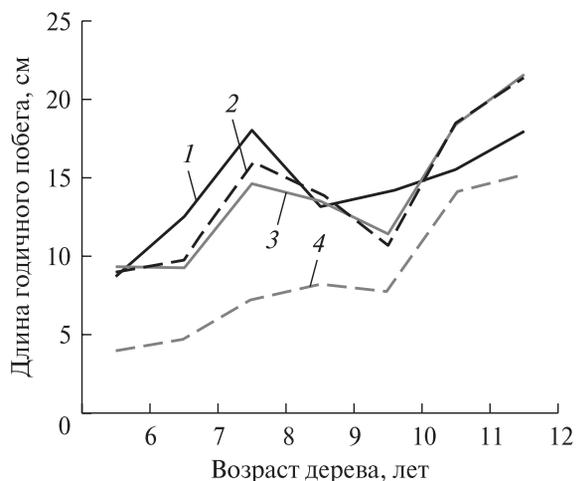


Рис. 8. Динамика годовых приростов у экотипов кедрового стланика: 1 — о. Кунашир; 2 — Северо-Муйский хребет; 3 — Нижний Амур; 4 — о. Сахалин

Fig. 8. Dynamics of annual shoot growth in Siberian dwarf pine ecotypes: 1 — i. Kunashir; 2 — Severomuysk ridge; 3 — Nizhni Amur; 4 — i. Sakhalin

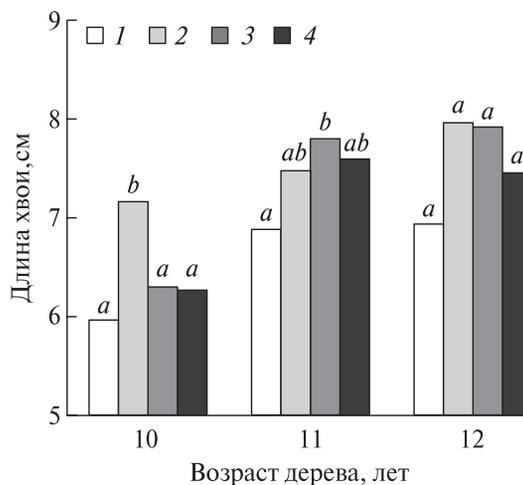


Рис. 9. Длина хвои у экотипов кедрового стланика в возрасте дерева 10, 11 и 12 лет: 1 — о. Кунашир; 2 — Северо-Муйский хребет; 3 — Нижний Амур; 4 — о. Сахалин; наличие одинаковой буквы у разных экотипов означает отсутствие значимых различий между ними по данному признаку ($p < 0,05$)

Fig. 9. Needle length in Dwarf Siberian pine ecotypes at the age 10, 11 and 12 years: 1 — i. Kunashir; 2 — Severomuysk ridge; 3 — Nizhni Amur; 4 — i. Sakhalin; means associated with a different letter are statistically different ($p \leq 0,05$)

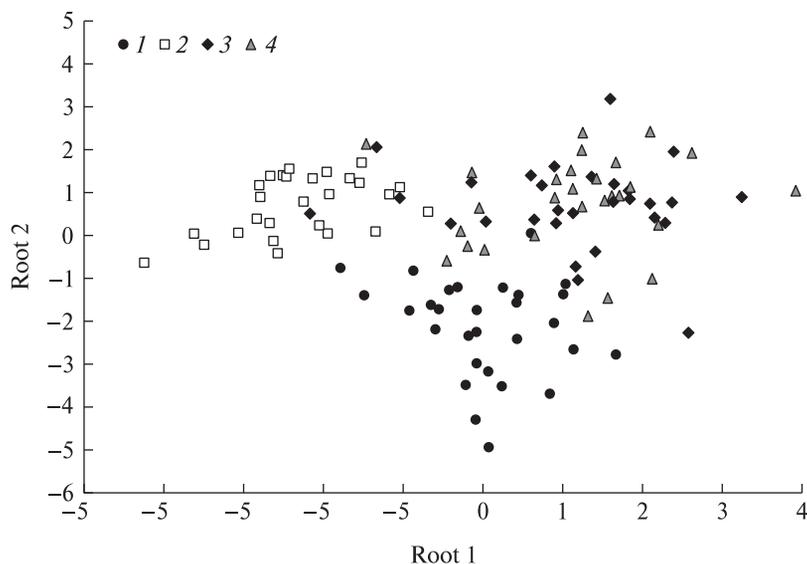


Рис. 10. Дифференциация экотипов кедрового стланика в плоскости канонических корней, полученных в ходе дискриминантного анализа: 1 — о. Кунашир; 2 — о. Сахалин; 3 — Северо-Муйский хребет; 4 — Нижний Амур

Fig. 10. Differentiation of Dwarf Siberian pine ecotypes in the plane of canonical roots obtained after discriminant analysis: 1 — i. Kunashir; 2 — i. Sakhalin; 3 — Severomuysk ridge; 4 — Nizhni Amur

Наиболее устойчивыми оказались деревья из экотипа о. Сахалин: 15 % из них имели единичные и 7 % — средние морозные повреждения.

В рамках данного эксперимента по выращиванию кедрового стланика *ex situ* впервые были получены результаты, позволяющие выделить генотипический компонент в изменчивости его морфологических признаков. Огромный ареал

кедрового стланика с широким спектром климатических условий, а также самая высокая генетическая изменчивость среди видов семейства *Pinaceae* [24–27] предполагают его сильную внутривидовую дифференциацию по морфологическим признакам. Исследования в районах естественного местообитания кедрового стланика показали, что его внутривидовая изменчивость

по морфологическим признакам довольно велика. Длина побегов и хвои у деревьев из популяций на востоке ареала в 1,2...1,5 раза меньше, чем на западе [28]. Длина годового прироста кедрового стланика в горах значительно уменьшалась с увеличением высоты на 10...50 м н. у. м., в зависимости от рельефа [29]. В работах, рассматривающих разнообразие кедрового стланика по морфологическим признакам, характеризующим размеры и форму шишек, семенных чешуй и семян, также был показан высокий уровень его внутривидовой изменчивости [30].

Хотя для данного эксперимента все исследованные экотипы были перемещены на запад, климатические характеристики районов их происхождения сильно различались между собой, а также существенно отличались от таковых в районе проведения эксперимента. Наиболее близкими к району эксперимента по температурному режиму были климатические условия Нижнего Амура, хотя этот район имеет другой тип климата. Район Северо-Муйского хребта обладал наименьшей теплообеспеченностью. Районы происхождения островных экотипов имели более мягкие климатические условия, чем район проведения эксперимента. Однако при выращивании в одинаковых условиях деревья из экотипа Нижнего Амура по исследованным признакам были очень схожи с деревьями из экотипа Северо-Муйского хребта, имели средние показатели роста и ветвления. Максимальные различия наблюдались между двумя наиболее восточными островными экотипами из муссонного климата — о. Сахалин и о. Кунашир.

Поскольку сеянцы были выращены за пределами видového ареала, можно было ожидать проявления их плохой адаптации к местным условиям. Популяции, произрастающие в районах с муссонным климатом, сформировались в условиях длинного безморозного периода, поэтому они рано начинали рост, а также могли не успеть закончить формирование терминальной почки до наступления осенних заморозков в районе эксперимента. Действительно, деревья всех экотипов в новых условиях в той или иной степени повреждались морозом. Наиболее значительные повреждения ожидаемо имели экотипы из муссонного климата. Однако, по доле поврежденных деревьев лидировал экотип Северо-Муйского хребта из самого холодного климата с наиболее коротким безморозным периодом. Возможно, это происходило по причине более раннего начала роста деревьев у этого экотипа, чем у остальных, поскольку для этого им требуется накопление меньшей суммы активных температур. В связи с этим начавшие рост побеги становятся уязвимыми для поздних весенних заморозков и гибнут после начала роста.

Мы не обнаружили какой-либо корреляции исследованных признаков с климатическими характеристиками места происхождения семян. В естественных популяциях такие связи, как правило, довольно хорошо выражены. Например, в Японии была показана сильная связь температурных условий местообитания и различных показателей продуктивности кедрового стланика [31], а в Китае скорость роста деревьев в южных популяциях кедрового стланика оказалась выше, чем в северных [32]. Это свидетельствует о том, что специфические климатические условия конкретных районов, в которых формировались экотипы, не являются единственным фактором внутривидовой дифференциации кедрового стланика. Значительное влияние на дифференциацию экотипов могло оказать их происхождение из разных рефугиумов. Подобное влияние ранее было показано для кедра сибирского [33], а также для сосны горной (*Pinus mugo Turra*) [34].

Выводы

Экотипы кедрового стланика в возрасте 12 лет в целом обладали небольшой изменчивостью при выращивании в условиях юга Западной Сибири по высоте и ширине крон, длине и диаметру стволов, длине годовых побегов и хвои, а также по интенсивности ветвления. Наименьшими значениями признаков обладали деревья из экотипа о. Сахалин, остальные экотипы были слабо дифференцированы по большинству признаков. При этом именно два островных экотипа имели наибольшие отличия.

Деревья всех экотипов имели морозные повреждения, но большинство повреждений оказались незначительными. Причиной этого, вероятно, было раннее начала роста кедрового стланика по сравнению с местными видами хвойных, что способствовало уязвимости побегов для поздних весенних заморозков.

Особенности дифференциации экотипов по морфологическим признакам показывают, что с большой вероятностью на нее повлияло происхождение экотипов из разных рефугиумов.

Исследование выполнено по гранту Российского научного фонда № 23-26-00077.

Список литературы

- [1] Syring J., Farrell K., Businsky R., Cronn R., Liston A. Widespread genealogical nonmonophyly in species of *Pinus* subgenus *Strobus* // *Systematic Biology*, 2007, v. 56, pp. 163–181. <https://doi.org/10.1080/10635150701258787>
- [2] Mirov N.T. The genus *Pinus*. New York: The Ronald Press Company, 1967, 602 p.
- [3] Richardson D.M. Ecology and Biogeography of *Pinus*. Cambridge University Press, 1998, 527 pp.

- [4] Гроссет Г.Э. Кедровый стланик. М.: Изд-во Московского общества испытателей природы, 1959. 140 с.
- [5] Моложников В.Н. Кедровый стланик горных ландшафтов Северного Прибайкалья. Л.: Наука, 1975, 203 с.
- [6] Saito S. On signs of the Japanese nutcracker's behavior in seed dispersal of *Pinus pumila* // Transactions of the Japanese Forestry Society, Hokkaido Branch, 1982, v. 31, pp. 155–157.
- [7] Kajimoto T., Onodera H., Ikeda Sh., Daimaru H., Seki T. Seedling establishment of Subalpine Stone Pine (*Pinus pumila*) by nutcracker (*Nucifraga*) seed dispersal on Mt. Yumori, Northern Japan // Arctic and Alpine Research, 1998, v. 30, v. 4, pp. 408–417.
- [8] Okitsu S., Ito K. Vegetation dynamics of the Siberian dwarf pine (*Pinus pumila* Regel) in the Taisetsu mountain range, Hokkaido, Japan // Vegetatio, 1984, v. 58, pp. 105–113.
- [9] Kajimoto T. Dynamics and dry matter production of below ground woody organs of *Pinus pumila* trees growing on the Kiso mountain range in central Japan // Ecological Research, 1992, v. 7, pp. 333–339.
- [10] MacDonald G.M., Kremenetski K.V., Beilman D.W. Climate change and the northern Russian treeline zone // Philosophical Transactions of the Royal Society B: Biological Sciences, 2008, v. 363, iss. 1501, pp. 2285–2299. <https://doi.org/10.1098/rstb.2007.2200>
- [11] Okuda M., Sumida A., Ishii H., Vetrova V.P., Hara T. Establishment and growth pattern of *Pinus pumila* under a forest canopy in central Kamchatka // Ecological Research, 2008, v. 23, pp. 831–840. <https://doi.org/10.1007/s11284-007-0445-1>
- [12] Takahashi K., Hirosawa T., Morishima R. How the timberline formed: altitudinal changes in stand structure and dynamics around the timberline in central Japan // Annals of Botany, 2012, v. 109, iss. 6, pp. 1165–1174. <https://doi.org/10.1093/aob/mcs043>
- [13] Политов Д.В., Крутовский К.В., Алтухов Ю.П. Характеристика генофондов популяций кедровых сосен по совокупности изоферментных локусов // Генетика, 1992. Т. 28. № 1. С. 93–114.
- [14] Goncharenko G.G., Padutov V.E., Silin A.E. Allozyme variation in natural populations of Eurasian pines. I. Population structure genetic variation and differentiation in *Pinus pumila* (Pall.) Regel from Chukotsk and Sakhalin // Silvae Genetica, 1993, v. 42, iss. 4–5, pp. 237–253.
- [15] Tani N., Tomaru N., Araki M., Ohba K. Genetic diversity and differentiation in populations of Japanese stone pine (*Pinus pumila*) in Japan // Canadian J. of Forest Research, 1996, v. 26, iss. 8, pp. 1454–1462.
- [16] Малюченко О.П. Генетическая дифференциация кедрового стланика *Pinus pumila* (Pall.) Regel в Прибайкалье // Экология и генетика популяций. Йошкар-Ола: Периодика Марий Эл, 1998. С. 38–45.
- [17] Takahashi K. Effects of climatic conditions on shoot elongation of alpine dwarf pine (*Pinus pumila*) at its upper and lower altitudinal limits in central Japan // Arctic, Antarctic, and Alpine Research, 2003, v. 35, pp. 1–7. [https://doi.org/10.1657/1523-0430\(2003\)035%0351:EOCCOS%2.0.CO;2](https://doi.org/10.1657/1523-0430(2003)035%0351:EOCCOS%2.0.CO;2)
- [18] Ветрова В.П., Савенкова Ю.В. Изменчивость количественных признаков семенных чешуй и шишек кедрового стланика // Лесоведение, 2009. № 1. С. 42–51.
- [19] Soliani C., Azpilicueta M.M., Arana M.V., Marchelli P. Clinal variation along precipitation gradients in Patagonian temperate forests: unravelling demographic and selection signatures in three *Nothofagus* spp. // Annals of Forest Science, 2020, v. 77, atc. 4. <https://doi.org/10.1007/s13595-019-0908-x>
- [20] Tyrmä J.S., Vuosku J., Acosta J.J., Li Z., Sterck L., Cervera M.T., Savolainen O., Pyhäjärvi T. Genomics of clinal local adaptation in *Pinus sylvestris* under continuous environmental and spatial genetic setting // G3: Genes, Genomes, Genetics, 2020, v. 10, iss. 8, pp. 2683–2696. <https://doi.org/10.1534/g3.120.401285>
- [21] Rehfeldt G.E., Jaquish B.C., Saenz-Romero C., Joyce D.G., Leites L.P., St Clair J.B., Lopez-Upton J. Comparative genetic responses to climate in the varieties of *Pinus ponderosa* and *Pseudotsuga menziesii*: reforestation // Forest Ecology and Management, 2014, v. 324, pp. 147–157. <https://doi.org/10.1016/j.foreco.2014.02.041>
- [22] Агроклиматический атлас мира / под ред. И.А. Гольдберг. М.; Л.: Гидрометеоиздат, 1972. 145 с.
- [23] Серебряков И.Г. Экологическая морфология растений. Жизненные формы покрытосеменных и хвойных. М.: Высшая школа, 1962. 378 с.
- [24] Крутовский К.В., Политов Д.В., Алтухов Ю.П. Межвидовая генетическая дифференциация кедровых сосен Евразии по изоферментным локусам // Генетика, 1990. Т. 26. № 4. С. 694–707.
- [25] Krutovskii K.V., Politov D.V., Altukhov Yu.P. Study of genetic differentiation and phylogeny of stone pine species using isozyme loci // Proceedings of International workshop on subalpine stone pines and their environment: The status of our knowledge. USDA Forest Service Intermountain Research Station Ogden, Utah, 1994, pp. 19–30.
- [26] Politov D.V., Krutovskii K.V. Phylogenetics, genogeography and hybridization of 5-needle pines in Russia and neighboring countries // Five-needle pine species: genetic improvement, disease resistance, and conservation, Proceedings of IUFRO Working Party, Medford, OR, 2001. USDA Forest Service, Rocky Mountain Research Station, Colorado, 2004, pp. 85–97.
- [27] Наконечная О.В., Холина А.Б., Корень О.Г., Janeček V., Kohutka A., Gebauer R., Журавлев Ю.Н. Характеристика генофондов трех популяций *Pinus pumila* (Pall.) Regel на границах ареала // Генетика, 2010. Т. 46. № 12. С. 1609–1618.
- [28] Горошкевич С.Н. Попов А.Г. Структура побегов у российских видов *Pinus* из группы *Cembrae* (*Pinaceae*) // Ботанический журнал, 2004. Т. 89. № 7. С. 1077–1092.
- [29] Takahashi K. Effect of climatic conditions on shoot elongation of Alpine Dwarf pine (*Pinus pumila*) at its upper and lower altitudinal limits in central Japan // Arctic, Antarctic, and Alpine Research, 2003, v. 35, iss. 1, pp. 1–7.
- [30] Vetrova V.P. Geometric morphometric analysis of shape variation in the cone-scales of *Pinus pumila* (Pall.) Regel (*Pinaceae*) in Kamchatka // Botanica Pacifica, 2013, v. 2, iss. 1, pp. 19–26.
- [31] Kajimoto T., Kurachi N., Chiba Y., Utsugi H., Ishizuka M. Effects of external factors on growth and structure of *Pinus pumila* scrub in Mt. Kinpu, Central Japan // Climate Change and Plants in East Asia, 1996, pp. 149–156.
- [32] Yang J., Zhang Q., Song W., An Y., Wang X. Divergent response of *Pinus pumila* growth to climate warming at different latitudes and in different simulation predictions // Frontiers in Forests and Global Change, 2022, v. 5. <https://doi.org/10.3389/ffgc.2022.1075100>
- [33] Shuvaev D.N., Ibe A.A. Genetic structure and postglacial recolonization of *Pinus sibirica* Du Tour in the West Siberian Plain, inferred from nuclear microsatellite markers // Silvae Genetica, 2021, v. 70, iss. 1, pp. 70–109. <https://doi.org/10.2478/sg-2021-0008>
- [34] Zukowska W.B., Boratynska K., Wachowiak W. Comparison of range-wide chloroplast microsatellite and needle trait variation patterns in *Pinus mugo* Turra (dwarf mountain pine) // iForest, 2017, v. 10, pp. 250–258. <https://doi.org/10.3832/ifor1860-009>

Сведения об авторах

Иволина Галина Валериевна  — канд. биол. наук, ст. науч. сотр. ФГБУН «Институт мониторинга климатических и экологических систем Сибирского отделения Российской академии наук», galina_biology@mail.ru

Жук Евгения Анатольевна — канд. биол. наук, ст. науч. сотр. ФГБУН «Институт мониторинга климатических и экологических систем Сибирского отделения Российской академии наук», eazhuk@yandex.ru

Поступила в редакцию 22.06.2023.

Одобрено после рецензирования 14.11.2023.

Принята к публикации 09.02.2024.

DWARF SIBERIAN PINE CULTIVATION OF DIFFERENT GEOGRAPHICAL PROVENANCE IN WESTERN SIBERIA

G.V. Ivolina , **E.A. Zhuk**

Institute of monitoring of climatic and ecological systems SB RAS, 10/3, Akademicheskii av., 634055, Tomsk, Russia

galina_biology@mail.ru

The article presents the results of the experiment on growing Dwarf Siberian pine (*Pinus pumila* (Pall.) Regel) in homogeneous soil and climatic conditions in the south of Tomsk region are presented. Intraspecific differences in tree height, trunk length and slope, crown width and number of lateral branches, length of annual shoots and needles are shown on the example of Dwarf Siberian pine seed progeny from four districts with different climatic conditions. Differences between ecotypes in the degree of frost damage are revealed. Possible reasons for the differences between ecotypes are indicated.

Keywords: intraspecies variation, growth, ecotype, *Pinus pumila*

Suggested citation: Ivolina G.V., Zhuk E.A. *Opyt vyrashchivaniya kedrovogo stlanika raznogo geograficheskogo proiskhozhdeniya v usloviyakh Zapadnoy Sibiri* [Dwarf Siberian pine cultivation of different geographical provenance in Western Siberia]. *Lesnoy vestnik / Forestry Bulletin*, 2024, vol. 28, no. 6, pp. 18–27. DOI: 10.18698/2542-1468-2024-6-18-27

References

- [1] Syring J., Farrell K., Businsky R., Cronn R., Liston A. Widespread genealogical nonmonophyly in species of *Pinus* subgenus *Strobus*. *Systematic Biology*, 2007, v. 56, pp. 163–181. <https://doi.org/10.1080/10635150701258787>
- [2] Mirov N.T. The genus *Pinus*. New York: The Ronald Press Company, 1967, 602 p.
- [3] Richardson D.M. Ecology and Biogeography of *Pinus*. Cambridge University Press, 1998, 527 pp.
- [4] Grosset G.E. *Kedrovyy stlanik* [Siberian dwarf pine] M.: Izd-vo Moskovskogo obshchestva ispytateley prirody, 1959. 140 p.
- [5] Molozhnikov V.N. *Kedrovyy stlanik gornyykh landshaftov Severnogo Pribaykal'ya* [Siberian dwarf pine in mountain landscapes of Northern Pribaikalie]. Leningrad: Nauka, 1975, 203 p.
- [6] Saito S. On signs of the Japanese nutcracker's behavior in seed dispersal of *Pinus pumila*. *Transactions of the Japanese Forestry Society, Hokkaido Branch*, 1982, v. 31, pp. 155–157.
- [7] Kajimoto T., Onodera H., Ikeda Sh., Daimaru H., Seki T. Seedling establishment of Subalpine Stone Pine (*Pinus pumila*) by nutcracker (*Nucifraga*) seed dispersal on Mt. Yumori, Northern Japan. *Arctic and Alpine Research*, 1998, v. 30, v. 4, pp. 408–417.
- [8] Okitsu S., Ito K. Vegetation dynamics of the Siberian dwarf pine (*Pinus pumila* Regel) in the Taisetsu mountain range, Hokkaido, Japan. *Vegetatio*, 1984, v. 58, pp. 105–113.
- [9] Kajimoto T. Dynamics and dry matter production of below ground woody organs of *Pinus pumila* trees growing on the Kiso mountain range in central Japan. *Ecological Research*, 1992, v. 7, pp. 333–339.
- [10] MacDonald G.M., Kremenetski K.V., Beilman D.W. Climate change and the northern Russian treeline zone. *Philosophical Transactions of the Royal Society B: Biological Sciences*, 2008, v. 363, iss. 1501, pp. 2285–2299. <https://doi.org/10.1098/rstb.2007.2200>
- [11] Okuda M., Sumida A., Ishii H., Vetrova V.P., Hara T. Establishment and growth pattern of *Pinus pumila* under a forest canopy in central Kamchatka. *Ecological Research*, 2008, v. 23, pp. 831–840. <https://doi.org/10.1007/s11284-007-0445-1>
- [12] Takahashi K., Hirokawa T., Morishima R. How the timberline formed: altitudinal changes in stand structure and dynamics around the timberline in central Japan. *Annals of Botany*, 2012, v. 109, iss. 6, pp. 1165–1174. <https://doi.org/10.1093/aob/mcs043>
- [13] Politev D.V., Krutovskiy K.V., Altukhov Yu.P. *Kharakteristika genofondov populyatsiy kedrovyykh sosen po sovokupnosti izofermentnykh lokusov* [Characteristics of the gene pools of stone pine populations according to the complex of isoenzyme loci]. *Genetika*, 1992, v. 28, iss. 1, pp. 93–114.
- [14] Goncharenko G.G., Padutov V.E., Silin A.E. Allozyme variation in natural populations of Eurasian pines. I. Population structure genetic variation and differentiation in *Pinus pumila* (Pall.) Regel from Chukotsk and Sakhalin. *Silvae Genetica*, 1993, v. 42, iss. 4–5, pp. 237–253.

- [15] Tani N., Tomaru N., Araki M., Ohba K. Genetic diversity and differentiation in populations of Japanese stone pine (*Pinus pumila*) in Japan. *Canadian J. of Forest Research*, 1996, v. 26, iss. 8, pp. 1454–1462.
- [16] Malyuchenko O.P. *Geneticheskaya differentsiatsiya kedrovogo stlanika Pinus pumila (Pall.) Regel v Pribaykal'e* [Genetic differentiation of Siberian dwarf pine *Pinus pumila* (Pall.) Regel in Pribajkalia]. *Ekologiya i genetika populyatsiy*. Yoshkar-Ola: Periodika Mariy El, 1998, pp. 38–45.
- [17] Takahashi K. Effects of climatic conditions on shoot elongation of alpine dwarf pine (*Pinus pumila*) at its upper and lower altitudinal limits in central Japan. *Arctic, Antarctic, and Alpine Research*, 2003, v. 35, pp. 1–7. [https://doi.org/10.1657/1523-0430\(2003\)035\[0001:EOCCOS\]2.0.CO;2](https://doi.org/10.1657/1523-0430(2003)035[0001:EOCCOS]2.0.CO;2)
- [18] Vetrova V.P., Savenkova Yu.V. *Izmenchivost' kolichestvennykh priznakov semennykh cheshuy i shishek kedrovogo stlanika* [Variability of quantitative characteristics in seed scales and cones of Siberian dwarf pine]. *Lesovedenie*, 2009, v. 1, pp. 42–51.
- [19] Soliani C., Azpilicueta M.M., Arana M.V., Marchelli P. Clinal variation along precipitation gradients in Patagonian temperate forests: unravelling demographic and selection signatures in three *Nothofagus* spp. *Annals of Forest Science*, 2020, v. 77, atc. 4. <https://doi.org/10.1007/s13595-019-0908-x>
- [20] Tyrmi J.S., Vuosku J., Acosta J.J., Li Z., Sterck L., Cervera M.T., Savolainen O., Pyhäjärvi T. Genomics of clinal local adaptation in *Pinus sylvestris* under continuous environmental and spatial genetic setting. *G3: Genes, Genomes, Genetics*, 2020, v. 10, iss. 8, pp. 2683–2696. <https://doi.org/10.1534/g3.120.401285>
- [21] Rehfeldt G.E., Jaquish B.C., Saenz-Romero C., Joyce D.G., Leites L.P., St Clair J.B., Lopez-Upton J. Comparative genetic responses to climate in the varieties of *Pinus ponderosa* and *Pseudotsuga menziesii*: reforestation. *Forest Ecology and Management*, 2014, v. 324, pp. 147–157. <https://doi.org/10.1016/j.foreco.2014.02.041>
- [22] *Agroklimaticheskij atlas mira* [Agroclimatic atlas of the world]. Pod red. I.A. Gol'dberg. Moscow–Leningrad: Gidrometioizdat, 1972, 145 p.
- [23] Serebryakov I.G. *Ekologicheskaya morfologiya rasteniy. Zhiznennye formy pokrytozemnykh i khvoynnykh* [Ecological morphology of plants. Life forms of angiosperms and conifers.]. Moscow: Vysshaya shkola, 1962, 378 p.
- [24] Krutovskiy K.V., Politov D.V., Altukhov Yu.P. *Mezhvidovaya geneticheskaya differentsiatsiya kedrovyykh sosen Evrazii po izofermentnym lokusam*. *Genetica*, 1990, v. 26, iss. 4, pp. 694–707.
- [25] Krutovskii K.V., Politov D.V., Altukhov Yu.P. Study of genetic differentiation and phylogeny of stone pine species using isozyme loci. *Proceedings of International workshop on subalpine stone pines and their environment: The status of our knowledge*. USDA Forest Service Intermountain Research Station Ogden, Utah, 1994, pp. 19–30.
- [26] Politov D.V., Krutovskii K.V. Phylogenetics, genogeography and hybridization of 5-needle pines in Russia and neighboring countries. Five-needle pine species: genetic improvement, disease resistance, and conservation, *Proceedings of IUFRO Working Party*, Medford, OR, 2001. USDA Forest Service, Rocky Mountain Research Station, Colorado, 2004, pp. 85–97.
- [27] Nakonechnaya O.V., Kholina A.B., Koren' O.G., Janeček V., Kohutka A., Gebauer R., Zhuravlev Yu.N. *Kharakteristika genofondov trekh populyatsiy Pinus pumila (Pall.) Regel na granitsakh areala* [Characteristics of gene pools of three *Pinus pumila* (Pall.) Regel populations at the range margins]. *Genetika*, 2010, v. 46, iss. 12, pp. 1609–1618.
- [28] Goroshkevich S.N., Popov A.G. *Struktura pobegov u rossiyskikh vidov Pinus iz gruppy Cembrae (Pinaceae)* [Shoot structure in Russian *Pinus* species from group *Cembrae* (*Pinaceae*)]. *Botanicheskiy zhurnal*, 2004, v. 89, iss. 7, pp. 1077–1092.
- [29] Takahashi K. Effect of climatic conditions on shoot elongation of Alpine Dwarf pine (*Pinus pumila*) at its upper and lower altitudinal limits in central Japan // *Arctic, Antarctic, and Alpine Research*, 2003, v. 35, iss. 1, pp. 1–7.
- [30] Vetrova V.P. Geometric morphometric analysis of shape variation in the cone-scales of *Pinus pumila* (Pall.) Regel (*Pinaceae*) in Kamchatka // *Botanica Pacifica*, 2013, v. 2, iss. 1, pp. 19–26.
- [31] Kajimoto T., Kurachi N., Chiba Y., Utsugi H., Ishizuka M. Effects of external factors on growth and structure of *Pinus pumila* scrub in Mt. Kinpu, Central Japan // *Climate Change and Plants in East Asia*, 1996, pp. 149–156.
- [32] Yang J., Zhang Q., Song W., An Y., Wang X. Divergent response of *Pinus pumila* growth to climate warming at different latitudes and in different simulation predictions // *Frontiers in Forests and Global Change*, 2022, v. 5. <https://doi.org/10.3389/ffgc.2022.1075100>
- [33] Shuvaev D.N., Ibe A.A. Genetic structure and postglacial recolonization of *Pinus sibirica* Du Tour in the West Siberian Plain, inferred from nuclear microsatellite markers // *Silvae Genetica*, 2021, v. 70, iss. 1, pp. 70–109. <https://doi.org/10.2478/sg-2021-0008>
- [34] Zukowska W.B., Boratynska K., Wachowiak W. Comparison of range-wide chloroplast microsatellite and needle trait variation patterns in *Pinus mugo* Turra (dwarf mountain pine) // *iForest*, 2017, v. 10, pp. 250–258. <https://doi.org/10.3832/ifor1860-009>

The research was funded by the Russian Science Foundation Grant No. 23-26-00077.

Authors' information

Ivolina Galina Valer'evna  — Cand. Sci. (Biology), Senior Researcher, Institute of Monitoring of climatic and ecological systems SB RAS, galina_biology@mail.ru

Zhuk Evgeniya Anatol'evna — Cand. Sci. (Biology), Senior Researcher, Institute of monitoring of climatic and ecological systems SB RAS, eazhuk@yandex.ru

Received 22.06.2023.

Approved after review 14.11.2023.

Accepted for publication 09.02.2024.

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

ЗАПАСЫ И ФИКСАЦИЯ УГЛЕРОДА ЧЕРНИКИ ОБЫКНОВЕННОЙ *VACCINIUM MYRTILLUS* L. (ERICACEAE) В СРЕДНЕТАЕЖНЫХ ЕЛЬНИКАХ

В.В. Тужилкина

ФГБУН «Институт биологии Коми научного центра Уральского отделения Российской академии наук»
(ИБ ФИЦ Коми НЦ УрО РАН), Россия, 167982. г. Сыктывкар, ул. Коммунистическая, д. 28

tuzhilkina@ib.komisc.ru

Представлены материалы исследований по определению надземной массы и запасов углерода черники (*Vaccinium myrtillus* L.) в коренных еловых лесах подзоны средней тайги Республики Коми. Показано, что надземная фитомасса черники в чернично-сфагновом и черничном сообществах составляет 21,0 и 30,6 г/м², в том числе углерода 10,3 и 15,0 г/м² соответственно. Установлено, что в исследуемых ельниках черничных на долю черники приходится 50 и 58 % общей надземной фитомассы растений травяно-кустарничкового яруса. Рассмотрены также некоторые экологические аспекты фотосинтетической фиксации диоксида углерода листьями *V. myrtillus* в ельнике чернично-сфагновом. Установлено, что летом в течение дневного периода суток интенсивность фотосинтеза в большой степени зависит от фотосинтетически активной солнечной радиации. Отмечается положительная связь фотосинтеза листьев с температурой воздуха в течение дня. Установлена отрицательная корреляция между скоростью поглощения диоксида углерода и относительной влажностью воздуха. Выявлены диапазоны оптимальных параметров среды (фотосинтетически активной солнечной радиации) и температуры воздуха, в пределах которых проявляются наивысшие в летний период значения фотосинтетической активности растения. Полученные данные можно использовать для прогнозных моделей динамики органического вещества и углерода в таежных экосистемах при изменении климата и других внешних воздействиях на лесные сообщества.

Ключевые слова: *Vaccinium myrtillus*, фитомасса, углерод, фотосинтез, ельники, средняя тайга

Ссылка для цитирования: Тужилкина В.В. Запасы и фиксация углерода черники обыкновенной *Vaccinium myrtillus* L. (Ericaceae) в среднетаежных ельниках // Лесной вестник / Forestry Bulletin, 2024. Т. 28. № 6. С. 28–36. DOI: 10.18698/2542-1468-2024-6-28-36

К настоящему времени зафиксировано увеличение концентрации диоксида углерода в атмосфере и, возможно, связанное с ним потепление климата. Поэтому получение новых и уточнение известных компонентов регионального и глобального циклов углерода составляет актуальную исследовательскую задачу.

Одним из наиболее важных компонентов биосферы, участвующим в круговороте углерода, является лес [1]. Существенное значение для регулирования углеродного баланса атмосферы имеют бореальные леса [2–5]. На территории Республики Коми сохранились коренные еловые леса, которые признаны неотъемлемым компонентом природных экосистем. Это источник лесозаготовок и эталон биосистем, функционирующий в состоянии динамического равновесия [6], одновременно несущий средообразующую функцию.

В регулировании содержания углерода в лесных экосистемах принимают участие все компоненты фитоценоза, что необходимо учитывать [7–9]. В накоплении органического вещества и углеродном цикле лесных экосистем в целом максимально задействованы растения напочвенного

покрова, которые также служат крупными индикаторами условий местообитания. Однако изучению участия растений напочвенного покрова в биологическом круговороте углерода лесных экосистем не уделяется должное внимание [8]. Вклад растений травяно-кустарничкового яруса в общий круговорот углерода в сосновых и еловых лесах может достигать 45...50 % [10–12]. В свою очередь, одно из первых мест среди растительности нижнего яруса занимают широко распространенные в бореальных лесах кустарнички рода *Vaccinium*, в том числе черника (*V. myrtillus*), относимая к основным ресурсным видам. Черника широко используется, в частности в лечебных целях, в побочном лесопользовании, фармацевтической промышленности, а также активно участвует в биогеохимическом круговороте элементов [13], выполняет восстановительную функцию после негативного антропогенного воздействия на лесные экосистемы [12]. Черника *V. myrtillus* — один из доминантов среднетаежных еловых лесов. Данные по количественной и функциональной характеристике черники лесных сообществ таежной зоны немногочисленны и противоречивы [12, 14–16]. Исследования запасов органического вещества и углерода в ассимилирующих их

органах и экологических основ фиксации углерода растением следует проводить как для понимания ресурсного потенциала лесной растительности, так и для моделирования круговорота углерода в таежных экосистемах, поскольку для лесной экологии и лесоведения такое направление работ имеет первостепенное значение.

Цель работы

Цель работы — определение надземной фитомассы, органического углерода, оценка влияния экологических факторов на фотосинтетическую фиксацию диоксида углерода черники обыкновенной (*Vaccinium myrtillus* L) в среднетаежных ельниках черничных Республики Коми.

Объекты и методы

Исследования проводили на территории Ляльского (62°17' с. ш. и 50°40' в. д.) лесозоологического стационара ИБ ФИЦ Коми НЦ УрО РАН, расположенного в подзоне средней тайги таежной зоны. Стационар расположен на границе прохладного и умеренно-прохладного климатических районов [17]. Объекты изучения — сообщества коренных ельников черничного и чернично-сфагнового типов.

Ельник черничный расположен на очень пологом юго-восточном склоне увалов и холмов, произрастает на типичной подзолистой почве на суглинках [18]. Древостой ельника сформирован елью сибирской (*Picea obovata*) и пихтой сибирской (*Abies sibirica* Ledeb); редко встречается сосна обыкновенная (*Pinus sylvestris* L.). Травяно-кустарничковый ярус имеет синузильное строение, его образуют 16 видов растений, среди которых доминируют такие виды, как черника обыкновенная (*Vaccinium myrtillus* L.), брусника обыкновенная (*Vaccinium vitis-idaea* L.), линнея северная (*Linnaea borealis* L.), седмичник европейский (*Trientalis europaea* L.), кислица обыкновенная (*Oxalis acetosella* L.), майник двулистный (*Majanthemum bifolium* L.), костяника обыкновенная (*Rubus saxatilis* L.), грушанка круглолистная (*Pyrola rotundifolia* L.). Проективное покрытие яруса варьирует от 50 до 60 %. Моховой покров почти сплошной, образован *Hylocomium splendens* (Hedw) Br, Sch et Gmb), *Pleurozium schreberi* (Brid) Mitt, встречаются также *Dicranum polyzetum* (Mich.) Sw, *Polytrichum commune* Hedw и *Sphagnum* sp.

Ельник чернично-сфагновый располагается на довольно ровной площади, произрастает на торфянисто-подзолисто-глеевой супесчаной почве, подстилаемой суглинками [6]. В весенне-летнее время почва почти постоянно находится в переувлажненном состоянии. Древесный ярус состоит из ели сибирской (*P. obovata*), березы

пушистой (*B. pubescens*), сосны обыкновенной (*P. sylvestris*). В составе фитоценоза имеется примесь пихты сибирской (*A. sibirica*). Травяно-кустарничковый покров с проективным покрытием 60...70 % представлен 20 видами, доминируют хвощ лесной (*Equisetum sylvaticum*), осока шаровидная (*Carex globularis*), черника (*V. Myrtillus*), брусника (*V. vitis-idaea*), линнея северная (*Linnaea borealis*), майник двулистный (*Majanthemum bifolium*), седмичник европейский (*Trientalis europaea*), кислица обыкновенная (*Oxalis acetosella*), костяника (*Rubus acticus*). Моховой ярус имеет проективное покрытие 80...90 %, образован *Sphagnum* sp., *Pleurozium schreberi*, *Hylocomium splendens*, *Dicranum polyzetum*, встречается *Polytrichum commune*.

В еловых сообществах в ценотическом и ресурсном отношении выделяют кустарнички рода *Vaccinium* (*V. myrtillus* и *V. vitis-idea*) [19].

Для определения надземной массы черники обыкновенной (*V. myrtillus*) закладывались учетные площадки (повторность 40-кратная) размером 500 см². Зеленая часть растения срезалась, разбиралась, высушивалась и взвешивалась. Пересчет органического вещества фитомассы кустарничка на углерод осуществляли с помощью переводного коэффициента, полученного нами ранее методом газовой хроматографии на автоматическом анализаторе ANA-1500 фирмы Carbo Erba (Италия). Концентрация углерода в листьях *V. myrtillus* составляла 49,1 % абсолютно сухого вещества [20].

Эксперименты по изучению фотосинтеза *V. myrtillus* проводились в июне и июле в ельнике чернично-сфагновом в светлое время суток. Фотосинтетический газообмен листьев измеряли на интактных побегах с помощью газоанализатора Li Cor-6400 (Li Cor, США), с одновременной регистрацией параметров среды. Оптимальными диапазонами фотосинтеза считали область факторов среды, в которой скорость ассимиляции диоксида углерода достигала более 80 % своего максимального значения [21].

Статистическую обработку полученных данных проводили на персональном компьютере с использованием пакета программ Microsoft EXCEL-2010 (лицензия ИБ ФИЦ Коми НЦ УрО РАН). В табл. 1 указаны среднеарифметические значения и их ошибки от среднего значения.

Результаты и обсуждение

Фитомасса. Растения травяно-кустарничкового яруса, в частности *V. myrtillus*, в лесных сообществах вносят определенный вклад в накопление органической массы. По различным оценкам общая биомасса всех органов черники варьирует в широком диапазоне (от 8 до 576 г/м²),

Т а б л и ц а 1

Запасы фитомассы и углерода в растениях нижних ярусов еловых лесов

The phytomass and carbon sequestration in the lower layer plants of spruce forests

Жизненная форма, вид	Тип леса			
	Черничный		Чернично-сфагновый	
	фитомасса, г/м ²	содержание углерода, г/м ²	фитомасса, г/м ²	содержание углерода, г/м ²
Кустарнички	43,6 ± 1,8	21,9 ± 0,9	28,2 ± 1,2	14,1 ± 0,4
черника (<i>Vaccinium myrtillus</i>)	30,6 ± 1,1	15,0 ± 0,8	21,0 ± 1,2	10,3 ± 0,6
брусника (<i>Vaccinium vitis idaea</i>)	13,0 ± 0,9	6,9 ± 0,5	7,2 ± 0,7	3,8 ± 0,3
Травы	9,0 ± 0,6	3,8 ± 0,2	13,3 ± 0,9	5,7 ± 0,5
Мхи	100 ± 0,2	44,1 ± 4,3	15,0 ± 12,9	66,1 ± 5,2
Итого:	152,6 ± 13,5	69,8 ± 5,3	191,5 ± 14,2	85,9 ± 6,0

в зависимости от условий местообитания [16, 22]. Согласно модели, разработанной П.В. Фроловым [12] для кустарничкового яруса сосняков южного Подмосковья, средняя биомасса *V. myrtillus* при стационарных условиях составляет 0,047 кг/м².

Надземная масса кустарничков в изучаемых черничных типах еловых сообществ составляет 21,0...30,6 г/м² (см. табл. 1). Близкие данные получены ранее [10, 14, 23, 24] для среднетаежных спелых ельников. На долю *V. myrtillus* приходится 58 % в ельнике черничном и 50 % в чернично-сфагновом еловом фитоценозе относительно общей надземной массы растений травяно-кустарничкового яруса, которая составляет 52,6 и 41,5 г/м² соответственно. Фитомасса трав и кустарничков в еловых лесах невысокая, поскольку активно проявляется средообразующая функция эдификатора ели [25, 26]. Кроме того на видовом составе, структуре и продуктивности напочвенного покрова сказываются водно-воздушный и питательный режимы почв. Ограничивающее влияние на развитие трав и кустарничков в ельниках оказывают повышенная кислотность и водный режим почв [10]. Такие обстоятельства формируют благоприятные условия для развития мхов.

В структуре биомассы живого напочвенного покрова еловых лесов приоритет остается за растениями мохового яруса, которые по накоплению органического вещества и углерода превосходят растения травяно-кустарничкового яруса. В исследованных фитоценозах масса мхов существенно превышает массу трав и кустарничков (см. табл. 1). В ельнике черничном они составляют 65,5, а на болотно-подзолистой почве в ельнике чернично-сфагновом — 78,3 % общей надземной массы напочвенного покрова.

Углерод фитомассы. Для оценки продукционных процессов растений и баланса углерода в лесных экосистемах необходимы данные по содержанию углерода в различных органах рас-

тений и фракциях фитомассы. Известно, что количество углерода, поглощенное растением, пропорционально количеству массы, продуцируемой им. Согласно нашим данным [20], концентрация органического углерода в листьях черники составляет 49,1, брусники — 53,4, мхах — 44,8 % абсолютно сухой массы. Основную массу углерода аккумулируют растения яруса мхов. Запасы органического углерода надземной фитомассы травяно-кустарничкового яруса составляет 25,7 в ельнике черничном и 19,8 г/м² в чернично-сфагновом. В ельнике черничном на долю черники приходится 58,4, брусники — 26,8, на травянистые растения — 14,8 % количества углерода растений травяно-кустарничкового яруса. В ельнике чернично-сфагновом накапливаемая фитомассой растений доля органического углерода составляет: черника — 52,0, брусника — 19,2, травы — 28,8 % запаса углерода яруса кустарничков и трав. Вклад *V. myrtillus* в образование углерода надземной массой неодинаков. Запасы органического углерода черники в чернично-сфагновом сообществе в 1,5 раза ниже, чем в черничном.

Фотосинтетическая фиксация диоксида углерода. Одним из важнейших компонентов биогенного цикла углерода является фотосинтетическая фиксация диоксида углерода растениями. В связи с этим нами проведено исследование фотосинтетической активности *V. myrtillus* — составляющей углеродного цикла растения. Фотосинтетический газообмен ассимиляционного аппарата измеряли летом в чернично-сфагновом ельнике в течение двух лет, а также наблюдали дневную динамику поглощения диоксида углерода в летний период (конец июня начале июля).

Скорость поглощения диоксида углерода листьями черники в течение дня изменялась от 0,90 до 5,11 мкмоль/м²·с в зависимости от факторов внешней среды. Среднедневная величина интенсивности видимого фотосинтеза изменяется в пределах 1,75...1,86 мкмоль/м²·с (2,76...3,57 мг/дм²·ч).

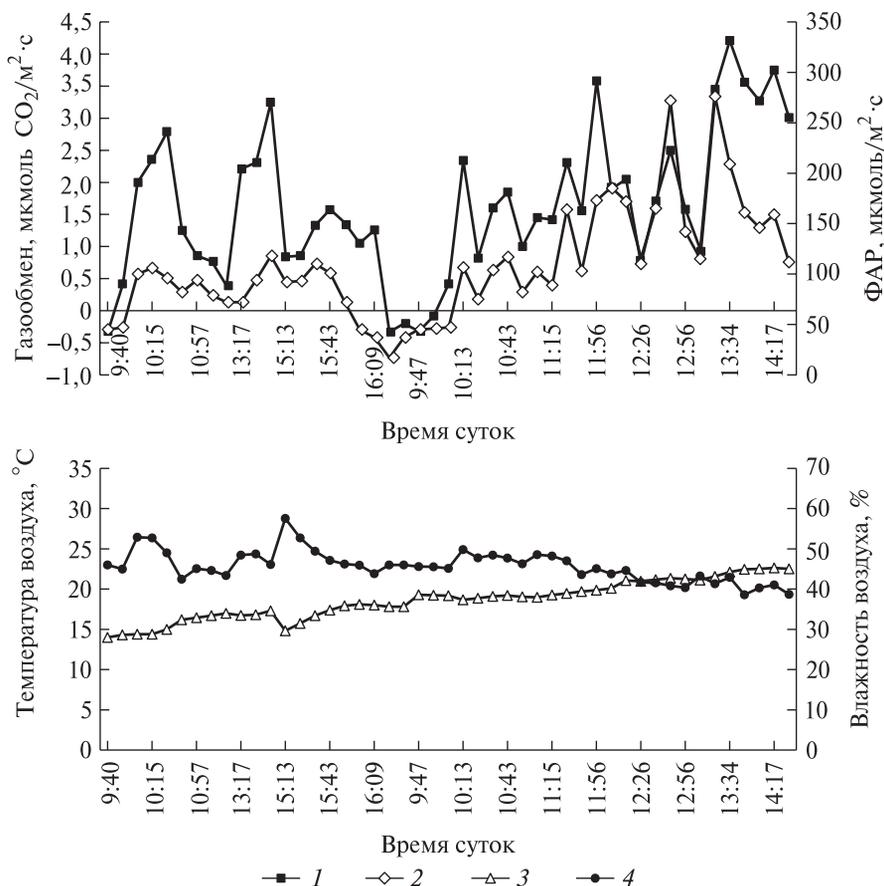


Рис. 1. Дневные изменения фотосинтетического газообмена (1) *Vaccinium myrtillus*, фотосинтетически активной солнечной радиации (ФАР) (2), температуры (3) и влажности воздуха (4) в ельнике чернично-сфагновом от 25.07. — 26.07.2006 г.
Fig. 1. Daily changes in CO₂ — gas exchange (1) of *Vaccinium myrtillus*, PAR (2), temperature (3), air humidity (4) in blueberry-sphagnum spruce forest at 25.07. — 26.07. 2006

Т а б л и ц а 2

Связь интенсивности фотосинтеза *Vaccinium myrtillus* с экологическими факторами
Relationship between photosynthesis intensity of *Vaccinium myrtillus* and environmental factors

Показатель	25–26 июня 2006 г.			4 июля 2007 г.		
	Освещенность (ФАР), мкмоль/м ² ·с	Температура воздуха, %	Влажность воздуха, %	Освещенность (ФАР), мкмоль/м ² ·с	Температура воздуха, %	Влажность воздуха, %
Коэффициент уравнения регрессии <i>a</i>	0,01	0,04	-0,07	0,01	0,03	0,06
<i>b</i>	0,39	1,01	5,15	1,00	1,36	5,13
Коэффициент корреляции, <i>r</i>	0,66*	0,47*	-0,29	0,80*	0,15	-0,54*
Достоверность коэффициента корреляции, <i>t</i>	7,4	3,9	2,1	10,7	0,75	5,71

*Достоверно при уровне значимости $p \leq 0,05$.

Для выявления особенностей ассимиляционной деятельности черники, произрастающей в лесных сообществах, служат дневные и суточные изменения фотосинтеза (рис. 1, 2) [27]. Степень влияния отдельных факторов среды на процесс

усвоения диоксида углерода проявляется по-разному. Связь между скоростью его поглощения и интенсивностью фотосинтетически активной солнечной радиацией (ФАР) характеризуется довольно высоким коэффициентом корреляции (табл. 2).

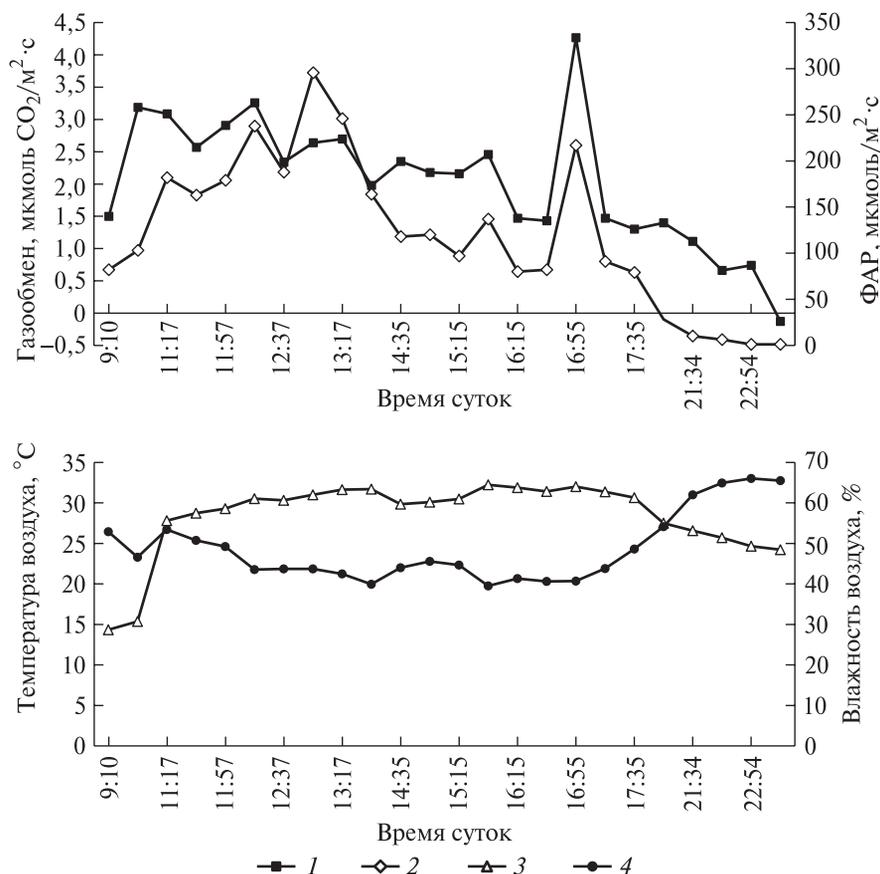


Рис. 2. Дневная динамика интенсивности видимого фотосинтеза (1) *Vaccinium myrtillus*, фотосинтетически активной солнечной радиации (ФАР) (2), температуры (3), влажности воздуха (4) в ельнике чернично-сфагновом, от 04.07.2007 г.

Fig. 2. Daily dynamics of apparent photosynthesis (1) of *Vaccinium myrtillus*, PAR (2), temperature (3), air humidity (4) in blueberry-sphagnum spruce forest at 04.07.2007

В дни с небольшой облачностью связь между фотосинтезом и освещенностью ослабевает. Отмечается положительная связь с температурой воздуха. Линейный характер зависимости фотосинтеза от солнечной радиации и температуры воздуха установлен нами [28] также для хвой ели сибирской в исследуемом ельнике. Летом в жаркие дни наблюдается отрицательная корреляция между скоростью поглощения CO₂ и относительной влажностью воздуха, что свидетельствует об ограничении фотосинтетического процесса при достаточно низкой влажности воздуха.

Наряду с изучением изменений фотосинтетической ассимиляции диоксида углерода в течение дня рассмотрены также максимальные значения дневных интенсивностей этого процесса. Показатель позволяет охарактеризовать потенциальные возможности ассимиляционной деятельности растений в конкретных условиях произрастания [21, 29, 30]. Измерения фотосинтеза листьев черники в летний период показали, что максимальная скорость фотосинтеза в изучаемом ельнике составила 5,11 мкмоль/м²·с и достигалась при освещенности 220 мкмоль/м²·с.

Оптимальным для усвоения CO₂ был диапазон ФАР 124...220 мкмоль/м²·с (рис. 3). Скорость фотосинтеза при интенсивности освещения 100...230 мкмоль/м²·с составляет 60 % максимальной величины. Некоторые исследователи [31] отмечают, что для фотосинтеза кустарничков черники и брусники оптимальна полная освещенность. Диапазон оптимальных температур варьировал в интервале от 21 до 25 °С. Черника способна поглощать диоксид углерода с интенсивностью 60...80 % относительно максимальной при температуре воздуха 15...27 °С. Скорость усвоения CO₂ снижается при температуре около 35 °С.

Дневная фиксация диоксида углерода *V. myrtillus* в ельнике чернично-сфагновом изменяется в пределах 20...25 мг на 1 дм² поверхности листьев. В малооблачную погоду дневная продуктивность фотосинтеза черники может увеличиться в 2 раза. Близкие данные по дневной продуктивности фотосинтеза кустарничка получены К.Ф. Старостиной [15] в еловом сообществе южной тайги.

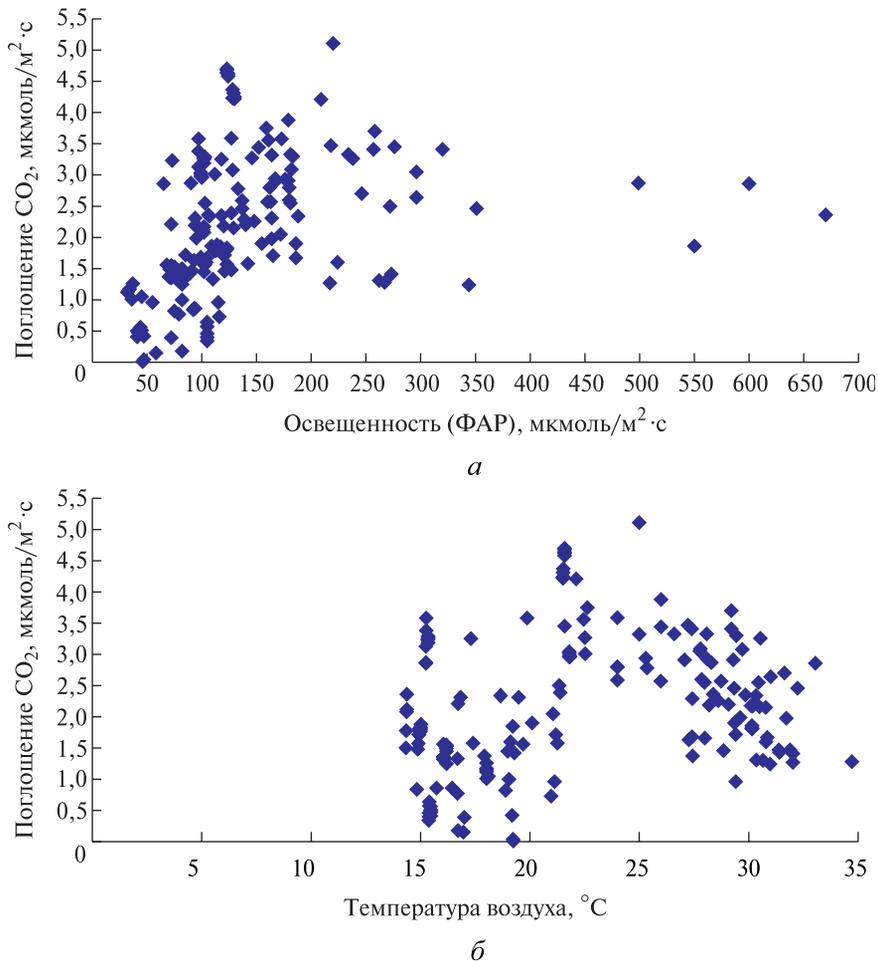


Рис. 3. Влияние солнечной радиации (ФАР), (а) и температуры воздуха (б) на скорость видимого фотосинтеза *Vaccinium myrtillus* в период активной вегетации
Fig. 3. Influence of solar radiation (PAR), (a), air temperature (б) on the rate of photosynthesis of *Vaccinium myrtillus* during the active vegetation period

Выводы

В среднетаежных ельниках черничных Республики Коми надземные части кустарничка *Vaccinium myrtillus* L. накапливают 21,0...30,6 г/м² органического вещества, в том числе углерода 10,3...15,0 г/м², в зависимости от почвенно-экологических условий. В черничном типе леса, развитом на автоморфных почвах, запасы органической массы и содержание углерода *Vaccinium myrtillus* в 1,5 раза выше по сравнению с еловым насаждением, произрастающим на полугидроморфных почвах.

Ассимиляционный аппарат *V. myrtillus* в еловых сообществах способен поглощать диоксид углерода со скоростью до 4,8...5,1 мкмоль/м²·с. Характер усвоения CO₂ в процессе фотосинтеза определяется экологическими условиями. Установлено, что в активный период вегетации поглощение CO₂ в большей степени зависит от освещенности. Оптимальным для фиксации CO₂ (углерода) является диапазон фотосинте-

тически активной солнечной радиации (ФАР) 124...220 мкмоль/м²·с. Выявлена положительная связь видимой интенсивности фотосинтеза с температурой воздуха. Корреляция между фотосинтетической активностью листьев и влажностью воздуха отрицательная. Полученные данные можно использовать при расчете балансовых характеристик углеродного цикла в среднетаежных еловых фитоценозах.

Работа выполнена в рамках темы НИР «Зональные закономерности динамики структуры и продуктивности первичных и антропогенно измененных фитоценозов лесных и болотных экосистем европейского Северо-Востока России» (122040100031-8).

Список литературы

- [1] Одум Ю.П. Экология. Т. 1. М.: Мир, 1986. С. 126–144.
- [2] Уткин А.И. Биологическая продуктивность лесов (методы изучения и результаты) // Лесоведение и лесоводство. Т. 1. Итоги науки и техники. М.: Изд-во ВИНТИ, 1975. С. 9–190.

- [3] Bonan G.B., Shugart H.H. Environmental forests and ecological processes in boreal forests // *Annual Review of Ecology & Systematics*, 1989, v. 20, pp. 1–28.
- [4] Malhi Y., Baldocchi D.D., Jarvis P.G. The carbon balance of tropical, temperate and boreal forests // *Plant, Cell & Environment*, 1999, no. 22, pp. 715–740.
- [5] Goodale C.L., Apps M.J., Birdsey R.A., Field C.B., Heath L.S., Houghton R.A., Jenkins J.C., Kohlmaier G.H., Kurz W., Liu S., Nabuurs G.-J., Nilsson S., Shvidenko A.Z. Forests carbon sinks in the Northern Hemisphere // *Ecological Application*, 2002, v. 12, no. 3, pp. 891–899.
- [6] Коренные еловые леса Севера: биоразнообразие, структура, функции / под ред. К.С. Бобковой, Э.П. Галенко. СПб.: Наука, 2006. 337 с.
- [7] Карпов В.Г., Старостина К.Ф. Новые экспериментальные данные о механизмах регуляции видового состава и строения нижних ярусов биогеоценозов темнохвойной тайги // *Механизмы взаимодействия растений в биогеоценозах тайги*. Л.: Наука, 1969. С. 146–199.
- [8] Прокушкин С.Г., Абаимов А.П., Прокушкин А.С., Масыгина О.В. Биомасса напочвенного покрова и подлеска в листовенных лесах криолитозоны Средней Сибири // *Сибирский экологический журнал*, 2006. № 2. С. 131–139.
- [9] Базилевич Н.И., Титлянова А.А. Биотический круговорот на пяти континентах: азот и зольные элементы в природных экосистемах. Новосибирск: Изд-во СО РАН, 2008. 381с.
- [10] Бобкова К.С. Биологическая продуктивность хвойных лесов европейского северо-востока. Л.: Наука, 1987. 156 с.
- [11] Пристова Т.А., Манов А.В., Загирова С.В. Продукция органического вещества и аккумуляция углерода в напочвенном покрове еловых и березовых фитоценозов в предгорьях Приполярного Урала // *Теоретическая и прикладная экология*, 2018. № 2. С. 54–61.
- [12] Фролов П.В. Моделирование популяций кустарничков в лесных экосистемах и их вклад в динамику углерода и азота: автореф. дис. ... канд. биол. наук: 03.02.08. М., 2020. 22 с.
- [13] Титлянова А.А. Биологический круговорот азота и зольных элементов. Новосибирск: Наука, 1979. 149с.
- [14] Тужилкина В.В. Фитомасса нижних ярусов растительности зеленомошных типов леса. Сыктывкар: Труды Коми филиала АН СССР, 1977. № 32. С. 85–92.
- [15] Старостина К.Ф. Особенности фотосинтеза кустарничков и трав // *Факторы регуляции экосистем еловых лесов*. Л.: Наука, 1983. С. 238–250.
- [16] Mäkipää R. Response patterns of *Vaccinium myrtillus* and *Vaccinium vitis-idaea* along nutrient gradients in boreal forests // *J. of Vegetation Science*, 1999, v. 10, no. 1, pp. 17–26.
- [17] Агроклиматические ресурсы Коми АССР. Л.: Гидрометеиздат, 1973. 135с.
- [18] Биопродукционный процесс в лесных экосистемах Севера. СПб.: Наука, 2001. 278 с.
- [19] Лесное хозяйство и лесные ресурсы Республики Коми. М.: Дизайн. Информация. Картография, 2000. 512 с.
- [20] Бобкова К.С., Тужилкина В.В. Содержание углерода и калорийность органического вещества в лесных экосистемах Севера // *Экология*, 2001. № 1. С. 69–71.
- [21] Суворова Г.Г., Щербатюк А.С., Янькова Л.С., Копылова Л.Д. Максимальная интенсивность фотосинтеза ели сибирской и лиственницы сибирской в Прибайкалье // *Лесоведение*, 2003. № 6. С. 58–65
- [22] Полянская Т.А. Популяционное разнообразие компонентов травяно-кустарничкового яруса лесных сообществ Национального парка «Марий Чодра»: автореф. дис. ... канд. биол. наук. Йошкар-Ола, 2001.
- [23] Тужилкина В.В. Структура фитомассы и запасы углерода в растениях напочвенного покрова еловых лесов на северо-востоке европейской России // *Растительные ресурсы*, 2012. Т. 48. № 1. С. 44–50.
- [24] Бобкова К.С. Биологическая продуктивность // *Биопродукционный процесс в лесных экосистемах Севера*. СПб.: Наука, 2001. С. 52–68.
- [25] Карпов В.Г. Экспериментальная фитоценология темнохвойной тайги. Л.: Наука, 1969. 335 с.
- [26] Карпов В.Г., Ахминова М.П., Патриевская Г.Ф. Факторы, регулирующие состав и численность популяций кустарничков и трав // *Факторы регуляции экосистем еловых лесов*. Л.: Наука, 1983. С. 217–267.
- [27] Галенко Э.П. Радиационный режим в заболоченном старовозрастном ельнике подзоны средней тайги // *Лесоведение*, 2010. № 5. С. 20–30.
- [28] Тужилкина В.В., Галенко Э.П. Экологические основы фотосинтетической фиксации углекислоты хвоей ели в фитоценозах Севера // *Лесоведение*, 2019. № 5. С. 1–12.
- [29] Вознесенский В.Л. Фотосинтез пустынных растений. Л.: Наука, 1977. 256 с.
- [30] Слемнев Н.Н. Особенности фотосинтетической деятельности растений Монголии: эволюционные, экологические и физиологические аспекты // *Физиология растений*, 1996. Т. 43. № 2. С. 418–436.
- [31] Kulmala L., Launiainen S., Pumpanen J., Lankreijer H., Lindroth A., Hari P., Vesala T. H₂O and CO₂ fluxes at the floor of a boreal pine forest. *Tellus B // Chemical and Physical Meteorology*, 2008, v. 60 (2), pp. 167–178.
DOI: <http://doi.org/10.1111/j.1600-0889.200700327.x>

Сведения об авторе

Тужилкина Валентина Васильевна — канд. биол. наук, ст. науч. сотр. ФГБУН «Институт биологии Коми научного центра Уральского отделения Российской академии наук» (ИБ ФИЦ Коми НЦ УрО РАН), tuzhilkina@ib.komisc.ru

Поступила в редакцию 05.12.2023.

Одобрено после рецензирования 27.08.2024.

Принята к публикации 05.10.2024.

BLUEBERRY (*VACCINIUM MYRTILLUS* L. ERICACEAE) STOCKS AND CARBON SEQUESTRATION IN MIDDLE-TAIGA SPRUCE FORESTS

V.V. Tuzhilkina

Institute of Biology, Komi Scientific Center, Ural Branch of the Russian Academy of Sciences, 28, Communist st, 167982, Syktyvkar, Russia

tuzhilkina@ib.komisc.ru

The paper deals with the aboveground mass and carbon sequestration of blueberry in native spruce forests of the Komi Republic middle taiga subzone. The aboveground phytomass of blueberry in blueberry–sphagnum and blueberry communities make up 21,0 and 30,6, including carbon 10,3 and 15,0 g/m², respectively. The blueberry accounts for 50 % and 58 % of the total aboveground phytomass of plants of the grass-shrub layer in the studied blueberry spruce forests. The author also considers some ecological aspects of photosynthetic carbon dioxide fixation by blueberry leaves in blueberry-sphagnum spruce forest. In summer during daylight hours, the intensity of photosynthesis largely depends on photosynthetically active solar radiation (PAR). There is a stable positive dependence of photosynthetic activity of leaves during the day and air temperatures. The correlation between the CO₂ absorption rate and relative humidity is negative. The diapasons of optimal environmental parameters (PAR intensity and air temperatures) have been identified within limits of which the highest photosynthetic activity values of plant in summer period are measured. The data obtained can be used for predictive models of the dynamics of organic matter and carbon in taiga ecosystems under both climate change and external impacts on forest communities.

Keywords: blueberry, phytomass, carbon, photosynthesis, spruce forests, middle taiga

Suggested citation: Tuzhilkina V.V. *Massa, zapasy i fiksatsiya ugleroda cherniki Vaccinium myrtillus L. (Ericaceae) v srednetaeshnykh el'nikakh* [Blueberry (*Vaccinium myrtillus* L. Ericaceae) stocks and carbon sequestration in middle-taiga spruce forests]. *Lesnoy vestnik / Forestry Bulletin*, 2024, vol. 28, no. 6, pp. 28–36. DOI: 10.18698/2542-1468-2024-6-28-36

References

- [1] Odum Yu.P. *Ekologiya* [Ecology]. T. 1. Moscow: Mir, 1986, pp. 126–144.
- [2] Utkin A.I. *Biologicheskaya produktivnost' lesov (metody izucheniya i rezul'taty)* [Biological productivity of forests (methods of study and results)]. *Lesovedenie i lesovodstvo* [Forest science and forestry]. T. 1. Itogi nauki i tekhniki [The results of science and technology]. Moscow: VINITI, 1975, pp. 9–190.
- [3] Bonan G.B., Shugart H.H. Environmental forests and ecological processes in boreal forests. *Annual Review of Ecology & Systematics*, 1989, v. 20, pp. 1–28.
- [4] Malhi Y., Baldocchi D.D., Jarvis P.G. The carbon balance of tropical, temperate and boreal forests. *Plant, Cell & Environment*, 1999, no. 22, pp. 715–740.
- [5] Goodale C.L., Apps M.J., Birdsey R.A., Field C.B., Heath L.S., Houghton R.A., Jenkins J.C., Kohlmaier G.H., Kurz W., Liu S., Nabuurs G.-J., Nilsson S., Shvidenko A.Z. Forests carbon sinks in the Northern Hemisphere. *Ecological Application*, 2002, v. 12, no. 3, pp. 891–899.
- [6] *Korennyye elovye lesa Severa: bioraznoobrazie, struktura, funktsii* [Indigenous spruce forests of the North: biodiversity, structure, functions]. Eds. K.S. Bobkova, J.P. Galenko. St. Petersburg: Nauka [Science], 2006, 337 p.
- [7] Karpov V.G., Starostina K.F. *Novyye eksperimental'nye dannyye o mekhanizmaxh regulyatsii vidovogo sostava i stroeniya nizhnikh yarusov biogeotsenozov temnokhvoynoy taygi* [New experimental data on the mechanisms of regulation of species composition and structure of the lower tiers of biogeocenoses in dark coniferous taiga]. *Mekhanizmy vzaimodeystviya rasteniy v biogeotsenozakh taygi* [Mechanisms of plant interaction in taiga biogeocenoses]. Leningrad: Nauka [Science], 1969, pp. 146–199.
- [8] Prokushkin S.G., Abaimov A.P., Prokushkin A.S., Masyagina O.V. *Biomassa napochvennogo pokrova i podleska v listvennichnykh lesakh kriolitozony Sredney Sibiri* [Biomass of ground cover and undergrowth in larch forests of the permafrost zone of Central Siberia]. *Sibirskiy ekologicheskiy zhurnal* [Siberian ecological J.], 2006, no. 2, pp. 131–139.
- [9] Bazilevich N.I., Titlyanova A.A. *Bioticheskiy krugovorot na pyati kontinentakh: azot i zol'nye elementy v prirodnykh ekosistemakh* [Biotic cycling on five continents: nitrogen and ash elements in natural ecosystems]. Novosibirsk: SO RAN, 2008, 381 p.
- [10] Bobkova K.S. *Biologicheskaya produktivnost' khvoynykh lesov evropeyskogo severo-vostoka* [Biological productivity of coniferous forests of the European Northeast]. Leningrad: Nauka [Science], 1987, 156 p.
- [11] Pristova T.A., Manov AV., Zagirova S.V. *Produktsiya organicheskogo veshchestva i akkumulyatsiya ugleroda v napochvennom pokrove elovykh i berezovykh fitotsenozov v predgor'yakh Pripolyarnogo Urala* [Production of organic matter and carbon accumulation in the ground cover of spruce and birch phytocenoses in the foothills of the Subpolar Urals]. *Teoreticheskaya i prikladnaya ekologiya* [Theoretical and applied ecology], 2018, no. 2, pp. 54–61.
- [12] Frolov P.V. *Modelirovanie populyatsiy kustarnichkov v lesnykh ekosistemakh i ikh vklad v dinamiku ugleroda i azota* [Modeling shrub populations in forest ecosystems and their contribution to carbon and nitrogen dynamics]: Abstr. Diss.Cand. Sci. (Biology). 03.02.08. Moscow, 2020, 22 p.
- [13] Titlyanova A.A. *Biologicheskiy krugovorot azota i zol'nykh elementov* [Biological cycling of nitrogen and ash elements]. Novosibirsk: Nauka [Science], 1979, 149 p.
- [14] Tuzhilkina V.V. *Fitomassa nizhnikh yarusov rastitel'nosti zelenomoshnykh tipov lesa* [Phytomass of the lower layers of green

- moss forest types]. Tr. Komi filiala AN SSSR [Tr. Komi Branch of the Academy of Sciences of the USSR], 1977, v. 32, pp. 85–92.
- [15] Starostina K.F. *Osobennosti fotosinteza kustarnichkov i trav* [Regulatory factors of ecosystems of spruce forests]. Leningrad: Nauka [Science], 1983, pp. 238–250.
- [16] Mäkipää R. Response patterns of *Vaccinium myrtillus* and *Vaccinium vitis-idaea* along nutrient gradients in boreal forests. *J. of Vegetation Science*, 1999, v. 10, no. 1, pp. 17–26.
- [17] *Agroklimaticheskie resursy Komi ASSR* [Agro-climatic resources of the Komi ASSR]. Leningrad: Gidrometeoizdat, 1973, 135 p.
- [18] *Bioproduktsionnyy protsess v lesnykh ekosistemakh Severa* [Bioproduction process in the forest ecosystems of the North]. St. Petersburg: Nauka [Science], 2001, 278 p.
- [19] *Lesnoe khozyaystvo i lesnye resursy Respubliki Komi* [Forestry and forest resources of the Komi Republic]. Moscow: Dizayn. Informatsiya. Kartografiya, 2000, 512 p.
- [20] Bobkova K.S., Tuzhilkina V.V. *Soderzhanie ugleroda i kaloriynost' organicheskogo veshchestva v lesnykh ekosistemakh Severa* [Carbon content and calorie content of organic matter in forest ecosystems of the North]. *Ekologiya* [Ecology], 2001, no. 1, pp. 69–71.
- [21] Suvorova G.G., Shcherbatyuk A.S., Yan'kova L.S., Kopylova L.D. *Maksimal'naya intensivnost' fotosinteza eli sibirskoy i listvennitsy sibirskoy v Pribaykal'e* [Maximum intensity of photosynthesis of Siberian spruce and Siberian larch in the Baikal region]. *Lesovedenie* [Forestry], 2003, no. 6, pp. 58–65.
- [22] Polyanskaya T.A. *Populyatsionnoe raznoobrazie komponentov travyano-kustarnichkovogo yarusa lesnykh soobshchestv Natsional'nogo parka «Mariy Chodra»* [Population diversity of the components of the herb-shrub layer of forest communities of the National Park «Mariy Chodra»]. Dis. Cand. Sci. (Biology). Yoshkar-Ola, 2001, 24 p.
- [23] Tuzhilkina V.V. *Struktura fitomassy i zapasy ugleroda v rasteniyakh napochvennogo pokrova elovykh lesov na severo-vostoke evropeyskoy Rossii* [Phytomass Structure and Carbon Stocks in Ground Cover Plants of Spruce Forests in the North-East of European Russia]. *Rastitel'nye resursy* [Plant resources], 2012, v. 48 (1), pp. 44–50.
- [24] Bobkova K.S. *Biologicheskaya produktivnost'* [Biological productivity]. *Bioproduktsionnyy protsess v lesnykh ekosistemakh Severa* [Bioproduction process in forest ecosystems of the North]. St. Petersburg: Nauka [Science], 2001, pp. 52–68.
- [25] Karpov V.G. *Eksperimental'naya fitotsenologiya temnokhvoynoy taygi* [Experimental phytocenology of the dark coniferous taiga]. Leningrad: Nauka. [Science], 1969, 336 p.
- [26] Karpov V.G., Akhminova M.P., Patrievskaya G.F. *Faktory, reguliruyushchie sostav i chislennost' populyatsiy kustarnichkov i trav* [Factors regulating the composition and population size of shrubs and grasses]. *Faktory regulyatsii ekosistem elovykh lesov* [Regulatory factors of spruce forest ecosystems]. Leningrad.: Nauka [Science], 1983, pp. 217–267.
- [27] Galenko E.P. *Radiatsionnyy rezhim v zabolochennom starovozrastnom el'nike podzony sredney taygi* [Radiation regime in a swampy old-growth spruce forest in the middle taiga subzone]. *Lesovedeniye* [Forestry], 2010, no. 5, pp. 20–30.
- [28] Tuzhilkina V.V., Galenko E.P. *Ekologicheskie osnovy fotosinteticheskoy fiksatsii uglekisloty khvoey eli v fitotsenozakh Severa* [Ecological basis of photosynthetic fixation of carbon dioxide by spruce needles in phytocenoses of the North]. *Lesovedeniye* [Forestry], 2019, no. 5, pp. 1–12.
- [29] Voznesenskiy V.L. *Fotosintez pustynnykh rasteniy* [Photosynthesis of desert plants]. Leningrad: Nauka [Science], 1977, 256 p.
- [30] Tuzhilkina V.V., Galenko E.P. *Ekologicheskie osnovy fotosinteticheskoy fiksatsii uglekisloty khvoey eli v fitotsenozakh Severa* [Features of photosynthetic activity of plants in Mongolia: evolutionary, ecological and physiological aspects]. *Fiziologiya rasteniy* [Plant physiology], 1996, v. 43, no. 2, pp. 418–436.
- [31] Kulmala L., Launiainen S., Pumpanen J., Lankreijer H., Lindroth A., Hari P., Vesala T. H₂O and CO₂ fluxes at the floor of a boreal pine forest. *Tellus B. Chemical and Physical Meteorology*, 2008, v. 60 (2), pp. 167–178.
DOI: <https://doi.org/10.1111/j.1600-0889.200700327.x>

The study was carried out within the framework of the research topic «Zonal regularities of structure and productivity dynamics of primary and anthropogenically altered phytocenoses in forest and swamp ecosystems of the European North-East of Russia» (122040100031-8).

Author's information

Tuzhilkina Valentina Vasil'evna — Cand. Sci. (Biology), Senior Researcher of the Institute of Biology of Komi Scientific Centre of the Ural branch of the Russian Academy of Sciences, tuzhilkina@ib.komisc.ru

Received 05.12.2023.

Approved after review 27.08.2024.

Accepted for publication 05.10.2024.

ИСТОРИЯ РАЗВИТИЯ ТЕРРИТОРИИ ЩЕЛКОВСКОГО УЧЕБНО-ОПЫТНОГО ЛЕСХОЗА МОСКОВСКОЙ ОБЛАСТИ

О.В. Кормилицына[✉], В.В. Бондаренко

ФГБОУ ВО «Московский государственный технический университет имени Н.Э. Баумана (национальный исследовательский университет)» (Мытищинский филиал), Россия, 141005, Московская обл., г. Мытищи, ул. 1-я Институтская, д. 1

ovkorm@bmstu.ru

Представлены материалы исследований по истории развития современной территории Щелковского учебно-опытного лесхоза Московской области за 170 лет (1766–1936 гг.). Проанализированы сохранившиеся планово-картографические материалы разных лет, а также уникальные документы, посвященные становлению лесного хозяйства после 1917 г. Выявлены изменения территории в зависимости от форм собственности и направлений использования. Прослежена динамика качественного состояния земель лесного фонда на этой территории в связи с изменяющимися целями и условиями хозяйствования. По полученным данным дана оценка причин произошедших изменений в состоянии лесных насаждений в пределах Щелковского учебно-опытного лесхоза за малоизученный период перехода от частного к государственному лесопользованию.

Ключевые слова: Щелковский учебно-опытный лесхоз, динамика земель лесного фонда, частное и государственное лесопользование

Ссылка для цитирования: Кормилицына О.В., Бондаренко В.В. История развития территории Щелковского учебно-опытного лесхоза Московской области // Лесной вестник / Forestry Bulletin, 2024. Т. 28. № 6. С. 37–51. DOI: 10.18698/2542-1468-2024-6-37-51

На территории Щелковского учебно-опытного лесхоза расположены уникальные природные объекты, изучением которых занимаются несколько поколений ученых разных специальностей. Она расположена в пределах двух физико-географических районов — Клинско-Дмитровской моренно-эрозионной возвышенности и Приклязьменской наклонной равнины, благодаря чему сформировалось большое разнообразие геологических и гидрологических условий, почвообразующих пород и почв, типов леса и видового состава флоры и фауны. По целевому назначению все леса отнесены к защитным лесам следующих категорий: леса, выполняющие функции защитных природных и иных объектов; ценные леса, в т. ч. имеющие научное или историческое значение. В границах земель лесного фонда выделены шесть особо охраняемых природных территорий.

Длительные исследования на постоянных и временных пробных площадях проводятся сотрудниками различных кафедр университета. Накоплен и обобщен значительный объем исследований лесных и урбанизированных экосистем, однако многие результаты могут быть существенно дополнены и уточнены информацией об истории развития этой территории, постоянно трансформирующейся под воздействием человеческой деятельности.

Цель работы

Цель работы — оценка причин изменений состояния земель лесного фонда и факторов, влияющих на лесопользование, в пределах современной территории Щелковского учебно-опытного лесхоза в историческом аспекте.

Материалы и методы

В исследованиях использованы планово-картографические материалы лесоустройства 2018–2019 гг. и архивные материалы Центрального государственного архива Московской области (ЦГАМО).

Были проанализированы архивные документы более 160 томов дел 28 фондов, относящихся непосредственно к теме исследования и охватывающих период 1917–1936 гг. Они содержали стенограммы и протоколы производственных совещаний сотрудников лесного хозяйства; акты обследований и передачи бывших имений в ведение государственных структур; оценочные ведомости и планы лесных участков и лесосек по уездам; сведения о распределении лесов по лесничествам и отчеты об их работе.

В процессе исследования особое внимание уделялось проектам планов восстановления лесного хозяйства; ведомостям инвентаризации лесокультурных питомников; годовым санитарным обзорам лесов, а также отводе и передаче площадей гослесфонда различным организациям. В результате анализа полученной информации

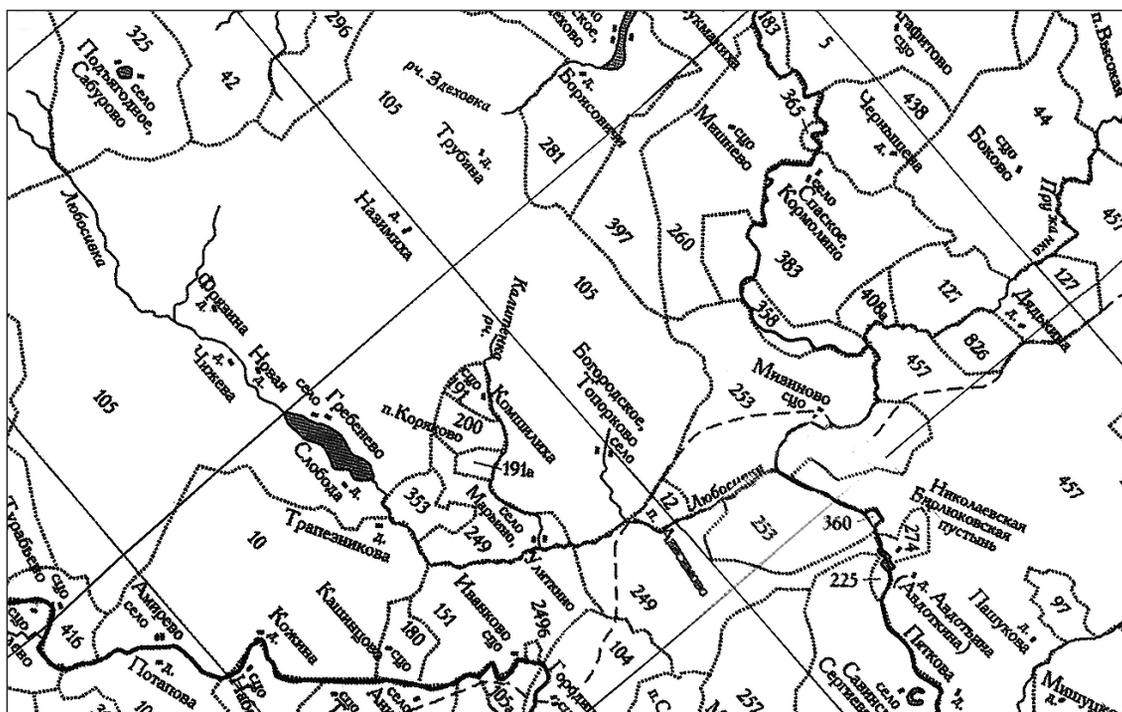


Рис. 1. Землевладения Богородского уезда Московской губернии 1766–1770 гг. [3] на современной территории Щелковского учебно-опытного лесхоза (фрагмент)

Fig. 1. Land property of Bogorodsky division, Moscow Governorate, 1766-1770. [3] on the present-day territory of the Shchelkovo educational and experimental forestry (fragment)

удалось восстановить основные направления деятельности лесного хозяйства в течение периода его становления после 1917 г. и оценить результаты планомерной работы по улучшению состояния лесов изучаемой территории.

Редактирование, анализ и визуализация геопространственной информации проводились с использованием геоинформационной системы NextGIS. Это позволило установить особенности распределения землевладений во второй половине XVIII века и сопоставить полученные данные с информацией о лесном фонде Щелковского учебно-опытного лесхоза. Последующий анализ пространственных изменений территории по видам целевого использования земель дает возможность оценить некоторые возможные причины текущего состояния лесов.

Результаты и обсуждение

Территория Щелковского учебно-опытного лесхоза имеет достаточно продолжительную и богатую историю, которая тесно связана с развитием всей страны. Письменные свидетельства об этой территории начали появляться с конца XVIII в., с периода генерального межевания, т. е. установления границ отдельных владений и отграничения их от государственных (казенных) земель. Основой для межевания стал манифест «О генеральном размежевании земель всей Империи» от 19 сентября 1765 года, изданный импе-

ратрицей Екатериной II, согласно которому было принято действительное состояние землевладений в существующих на тот момент границах. Генеральное межевание проводилось во второй половине XVIII и первой половине XIX вв. в 35 губерниях России. Для каждого уезда были составлены генеральные планы, а также своеобразный земельный кадастр — Экономические примечания, в которых приводились статистические сведения о населении, земельных угодьях, хозяйстве, дикой природе (пустошей, лесов) по каждому землевладению и уезду в целом [1, 2].

В 2004 г. по имеющимся документам генерального межевания советский и российский историк-картограф В.С. Кусов провел работу по историко-картографическому описанию земель Московской губернии. По результатам его работы были изданы 15 ретроспективных карт, составленных на основе межевых геометрических планов, собранных в ходе генерального межевания Московской губернии 1766–1770 гг. и краткие описания этих земель [3].

С помощью современных картографических материалов (планов участков лесничеств лесостроительства 2018–2019 гг.) и карты землевладений Богородского уезда Московской губернии, составленной В.С. Кусовым, были установлены владельцы и границы их землевладений на современной территории Щелковского учебно-опытного лесхоза (рис. 1).

Таким образом, во второй половине XVIII в. на исследуемой территории числилось 82 владельца. Среди них были генералы, полковники, майоры, капитаны, подпоручики, ротмистры, тайные, статские, коллежские и надворные советники, коллежские асессоры, отставные офицеры. Наиболее известны из них генерал-аншефы Я.А. Брюс (1730–1791) и С.К. Нарышкин (1710–1775), генерал-фельдмаршал А.И. Шувалов (1711–1771), князя С.В. Вяземский (1744–1799), Н.И. Одоевский (1739–1798), А.Н. Волконский (1720–1781), граф А.П. Бестужев-Рюмин (1693–1766).

Самыми крупными землевладельцами, каждому из которых принадлежало примерно 5,5 тыс. десятин (около 6000 га) земли, были Д.М. Голицын (1721–1793) князь, дипломат, благотворитель, М.В. Балк (1724–1792), вдова генерал-поручика, камергера П.Ф. Балка, и ее племянник Ф.П. Балк (1744–1787), камер-юнкер, Коллегия экономии синодального правления (1726–1786) — особое государственное учреждение, созданное для управления и сбором казенных доходов с земельных владений духовных лиц и учреждений.

Коллегия экономии синодального правления получила земли в результате проведения по указу императрицы Екатерины II реформы 1764 г. — секуляризации церковных и монастырских земельных владений в пользу государства. Коллегии были переданы землевладения Свято-Троицкой Сергиевой лавры (основная часть), а также частично земли Суздальского архиерейского дома, Крутицкого архиерейского дома, Рождественского девичьего монастыря, Чудова монастыря.

Кроме того, согласно манифесту «О высочайше дарованных разным сословиям милостях по случаю заключения мира с Портою Оттоманской» от 17 марта 1775 года, изданному императрицей Екатериной II, разным сословиям было разрешено заниматься производством и мелкой торговлей, а в начале XIX в. крестьянам официально позволялось устраивать мануфактуры, вести розничную и оптовую торговлю. Постепенно реализация указанных возможностей привела к перераспределению видов деятельности и направлений использования земель.

Исследуемая территория относилась к Богородскому уезду Московской губернии. Большая часть населения этого уезда занималась «...работами на фабриках и заводах, а также выделкою мануфактурных товаров у себя. Хлебопашеством жители занимаются не охотно, так как плохое качество земли не дает должного вознаграждения» [4, 5]. Во многих деревнях наблюдался активный рост крестьянских надомных предприятий, на которых использовался преимущественно труд членов семьи и родственников основателя такого предприятия. Например, в 1796 г. в деревнях

Гребневского имения Бибиковых функционировало 41 крестьянское шелкоткацкое предприятие с общим количеством более 367 ручных ткацких станков [6].

Накануне отмены крепостного права, в 1860 г., в границах современной территории Щелковского учебно-опытного лесхоза состав землевладельцев существенно изменился. Согласно описаниям помещичьих имений в 100 душ и свыше, в то время было зарегистрировано девять крупных землевладельцев среди которых встречались не только дворяне, но и купцы. Им принадлежало около половины всей площади современной территории Щелковского учебно-опытного лесхоза. Наиболее крупными землевладельцами были графиня А.Ф. Закревская (1799–1879), урожденная графиня Толстая, граф П.П. Шувалов (1819–1900), крупный землевладелец, камергер, Ф.Ф. Пантелеев, коллежский регистратор и его супруга В.М. Пантелева купеческого происхождения [7].

По данным Статистического отделения Московской губернской земской управы (1898–1900 гг.) в Богородском уезде преобладали частные леса. Управление частными лесами в то время осуществлялось собственниками [8]. Упрощенные планы лесного хозяйства имели единичные владельцы. Рубка леса велась беспорядочно и часто опустошительно. Лесовосстановление осуществлялось естественным путем. Лесокультурные работы проводились крайне редко. Уникальным объектом искусственного лесовосстановления, связанным с именем ученого-лесовода М.К. Турского и сохранившимся до настоящего времени, является Никольская лесная дача [9]. Отметим, что лесоводственный мониторинг в Никольской лесной даче ведется уже на протяжении 140 лет [10].

В конце XIX — начале XX вв. лесистость территории Московской губернии составляла 41,3 %. Наиболее лесистыми были северная и северо-восточная ее части — это Богородский (53,3 %) и Клинский (49,9 %) уезды, где преобладали хвойные насаждения. В Богородском уезде они составляли 54 %. Наиболее распространенными древесными породами в этих уездах были сосна обыкновенная (*Pinus sylvestris* L.), ель европейская (*Picea abies* (L.) H.Karst.) и береза бородавчатая (*Betula pendula* Roth). Сосновые леса образовывали сплошные насаждения на повышенных участках, на песчаных холмах и водоразделах, еловые насаждения были приурочены к участкам на суглинистых и глинистых почвах, расположенных, как правило, в пониженных элементах рельефа, иногда в долинах рек. Несмотря на высокую лесистость территории Богородского уезда, почти четвертая часть (24 %) этих лесов была представлена молодняками естественного

происхождения, которые сформировались на заброшенных пашнях бывших дворянских владений.

Небольшая доля частных лесов принадлежала крестьянам и составляла 16,8 % общей площади частных лесов уезда. В Богородском уезде это были бывшие крепостные крестьяне, принадлежавшие до крестьянской реформы 1861 г. помещикам. На одного помещичьего крестьянина приходилось всего 1,3 га наделных лесных угодий (лесных насаждений, мелколесья и площадей, занятых кустарником). Бывшие государственные (казенные) крестьяне были обеспечены лесными угодьями лучше. На одну душу приходилось 3,4 га лесных угодий. Крестьянские леса в это время представляли собой сильно изреженные лиственные молодняки или молодняки лиственных пород с небольшим участием хвойных пород, часто поврежденные скотом. Крестьяне характеризовали свой лес как «жердь», «в оглоблю», «заросль», «прутья», реже «дровяник». Лесокультурные работы в таких лесах не проводились [8].

В 1883 г. все казенные леса Московской губернии находились в ведении Московско-Тверского и Владимирско-Рязанского управлений земледелия и государственных имуществ при Министерстве государственных имуществ Российской империи. Леса Московско-Тверского управления независимо от границ уездов подразделялись на 12 лесничеств: Саввинское, Московское, Дмитровское, Погонно-Лосино-Островское, Раменское, Троицко-Слободское, Долголуговое, Клинское, Грибановское, Богородское, Павловское и Серпуховское.

На долю казенных лесов в Богородском уезде приходилось 10,9 %, уездные леса занимали 26,4 %. Они находились в ведении уездного ведомства, осуществлявшего управление имуществом императорской семьи. Вся уездная лесная площадь на территории Московской губернии была разделена на шесть имений, в состав которых входили лесные дачи из разных уездов. Так, например, в Первое Карповское имение входили лесные дачи из Богородского и Бронницкого уездов; в Пятнадцатое Пушкинское имение входили лесные дачи из Московского, Богородского и Дмитровского уездов. Казенные и уездные леса существенно отличались от лесов других собственников — в них проводились лесокультурные работы, осуществляли посадки сосны и ели, поэтому в этих лесах преобладали хвойные породы.

После 1917 г. и принятия законов о земле лесные земли перешли в ведение и распоряжение главного и местных земельных комитетов: губернских, уездных и волостных [11]. Эти комитеты получили все права и обязанности, принадлежавшие ранее Управлению земледелия и государственных имуществ. А спустя всего лишь

полгода, 27 мая 1918 г. (по новому стилю), был принят Декрет «О лесах», согласно которому все леса были признаны всенародным достоянием.

В число приоритетных задач входило: определение общих технических основ ведения лесного хозяйства; поднятие уровня лесохозяйственных и лесных знаний; организация распределения и производства лесных продуктов. Заведывание лесами планировалось осуществлять с помощью особых технических лесных органов местной Советской власти под контролем и руководством Центрального Управления Лесов Республики. В губернских земельных управлениях были созданы губернские лесные отделы, которые подчинялись непосредственно Центральному управлению лесов. 4 июня 1918 г. на коллегии Народного комиссариата земледелия РСФСР функции, возлагаемые Декретом «О лесах» на Центральное Управление Лесов Республики, были переданы в Центральный лесной отдел [12].

Позднее, в мае 1919 г., в губернских земельных отделах были организованы губернские лесные подотделы, которые руководствовались указаниями Коллегии земельного отдела в пределах директив Центрального лесного отдела. В свою очередь, в уездных земельных отделах также создали уездные лесные подотделы, подчинявшиеся губернским подотделам [13].

Основными территориальными единицами лесоправления (низовым звеном), как и в дореволюционный период, были лесничества, вплоть до осени 1929 г. [14]. Они поступали в ведение местных земельных комитетов, находящихся в управлении уездных и волостных Советов депутатов (Совдепов). Все текущие вопросы решались в Совете лесничества. В Совет лесничества входили лесничие, помощники лесничего, делопроизводитель и другие «по избранию»: представители от волостного Совдепа, представитель от лесного подотдела уездного Совдепа, делегаты от лесной стражи лесничества. Заседания Совета лесничества планировались не менее одного раза в месяц [15].

Нормативно-правовые акты 1917–1918 гг., относящиеся к сфере лесного хозяйства, поражают масштабами и скоростью принимаемых решений. Первая ревизия лесов Московской губернии (первичный учет лесов) была проведена уже в летне-осенний период 1918 г. тремя лесоустроительными партиями, в состав которых входило 30 топографов и таксаторов. По результатам этой работы было выявлено, что на территории Московской губернии на 1918 г. числилось 1118 лесных дач, которые распределялись между 73 лесничествами.

Начиная с 1924 г. в Московской губернии функционировало уже 93 лесничества. Однако

в связи с острым топливным кризисом с октября 1918 г. работы по планомерному обследованию лесов были прекращены. Лесоустроительные партии работали по отводу лесосек [16].

С 1918 г. началась большая работа по передаче и учету бывших частных лесов. В апреле 1918 г. Центральным управлением лесов Наркомзема во все лесные подотделы уездных и волостных совдепов Московской губернии были направлены разъяснительные письма о планируемых мероприятиях по передаче и учету бывших частных лесов. Коллегией Наркомзема 12 мая 1918 г. была разработана специальная Инструкция (правила) передачи лесов в «общенародный фонд», созданный Наркомземом 23 апреля 1918 г. На заседании лесного подотдела Московского губернского комиссариата земледелия, состоявшегося 29 августа 1918 г., был утвержден состав комиссии, время начала работы, порядок и акт приемки лесов (опись имущества). В состав комиссии были включены следующие специалисты: «технические приемщики» (лесничие, их помощники, таксаторы и др.; волостной землемер-инструктор; один или два представителя волостной советской власти; прежний владелец леса или его представитель; представители сельской советской власти; представители трудовых коллективов (при включении в лесной фонд насаждений из крестьянских наделов); заинтересованные и «сведущие лица». В акте учитывались имеющиеся документы, планы, лесохозяйственный инвентарь, постройки, заводы, бараки, количество и качество заготовленных дров и лесоматериалов бывших владельцев. Кроме того, были осмотрены и намечены лесные участки, пригодные для отвода лесосеки в текущем году.

Работа по приемке частных лесов и перевод их в государственный фонд проводилась с некоторыми трудностями. Не во всех уездах для выполнения таких работ было достаточное количество необходимых специалистов. Сохранение кадров относилось к одной из главнейших задач молодого советского государства. 5 апреля 1918 г. было издано «Предписание всем Советам о недопустимости увольнения лесных специалистов» за подписью председателя Совета Народных Комиссаров В. Ульянова (Ленина) [17].

В ЦГАМО сохранился журнал заседания лесотехнической коллегии Богородского уездного лесного подотдела земельного отдела от 18 ноября 1918 г., в котором главным препятствием к успешной работе являлся «недостаток в уезде «технических сил». В этом журнале отмечено следующее: «На семь лесничеств, имеющих быть в уезде осталось только три местных и два помощника. Некому исполнять на местах, где лесничества не организованы поручения Лесного

подотдела, да и в лесничествах где мало сил почти невозможно принимать частновладельческие дачи ибо не хватает на это сил» [18].

В свою очередь, лесной подотдел Московского губернского комиссариата земледелия отправлял соответствующие запросы в Центральный лесной отдел. В ответ предлагалось использовать лесных специалистов соседних лесничеств, однако и они не имели возможности оказать помощь, поскольку в собственных лесничествах работы было настолько много, что «лесничие и их товарищи с крайним трудом с ней справляются» [19]. Действительно, работы по выселению бывших помещиков и «других нетрудовых землепользователей» из принадлежавших им ранее имений, а значит, и деятельности по устройству бывших частных лесов, было очень много. Ее планировалось закончить только к 01.08.1926 г. [20].

В результате присоединения частных лесов площадь государственных лесов Московской губернии увеличилась, поэтому организовывались новые самостоятельные лесничества, а старые границы лесничеств пересматривались. В 1918 г. на совещании лесничих Московского уезда было принято решение образовывать лесничества применительно к административному делению волостей [21].

7 ноября 1918 г. стало считаться датой создания Щелковского лесничества Щелковской волости Богородского уезда Московской губернии. Основным организатором и первым лесничим Щелковского лесничества был В.И. Третьяков. Руководитель лесничества и его решения приобрели официальную значимость – на документах появился угловой штамп (рис. 2).

В ЦГАМО сохранился протокол торжественного заседания рабочих и служащих Щелковского лесничества от 7 ноября 1923 г., посвященного 6-летней годовщине революции 1917 г. На этом заседании присутствовало 37 сотрудников лесничества, лесничий Щелковского лесничества, председатель рабочкома (рабочего комитета профсоюза рабочих лесничества), заведующий и его заместитель по Московскому уездному земельному управлению, заведующий Щелковского волостного земельного отдела, начальник милиции 7-го района Московского уезда. Приведем цитату из поздравления рабочкома, обращенного к первому лесничему Щелковского лесничества — В.И. Третьякову: «Уважаемый Виктор Иванович! К большой нашей радости день пятилетнего существования Щелковского лесничества, выпал как раз в то время, когда рабочие и крестьяне России празднуют Великий день Октябрьских Событий. В этот Великий Пролетарский день рабочие с замиранием сердца делятся воспоминаниями своего шестилетнего освобождения от ига

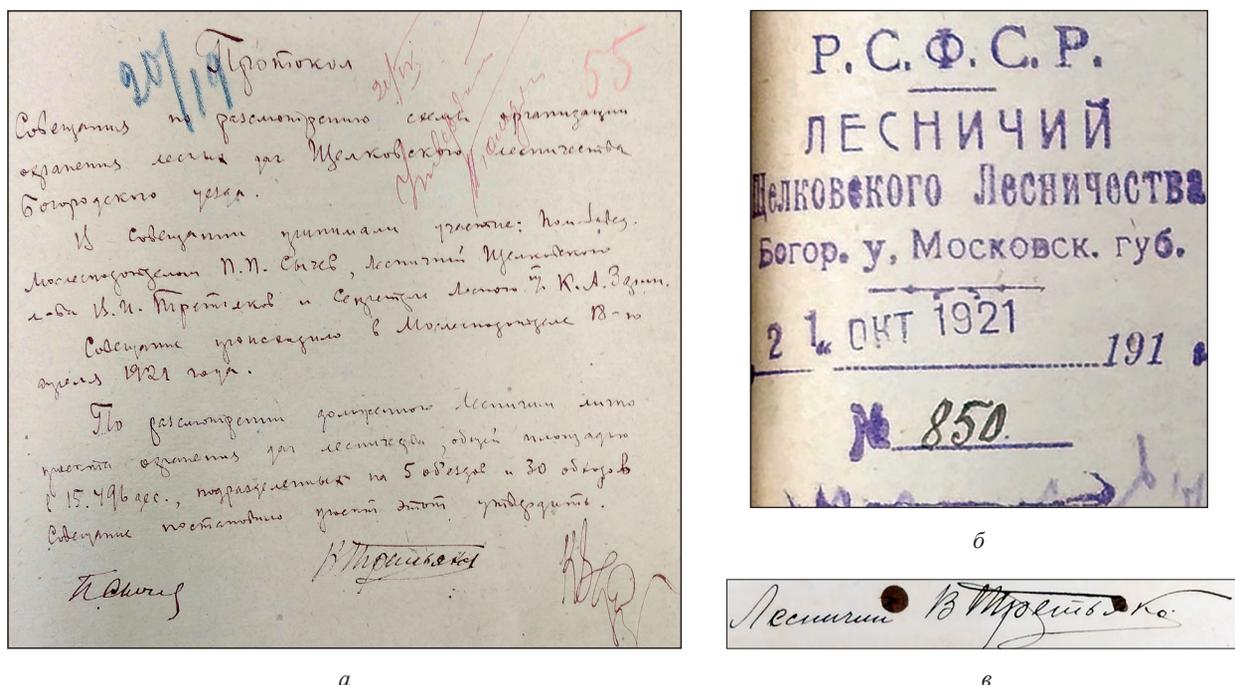


Рис. 2. Документы Щелковского лесничества в 20-е годы XX в.: *а* — протокол совещания Мослесподотдела от 18 апреля 1921 года по рассмотрению схемы организации охранения лесных дач Щелковского лесничества Богородского уезда; *б* — угловой штамп на исходящих документах Щелковского лесничества; *в* — личная подпись первого лесничего Щелковского лесничества В.И. Третьякова)

Fig. 2. Documents of the Shchelkovo forestry in the 1920s: *a* — corner stamp on the outgoing documents of the Shchelkovo forestry; *б* — minutes of the meeting of the Moslespodotdel from 18 April 1921 on the consideration of the scheme of organisation of the protection of forest cottages of the Shchelkovo forestry of Bogorodsky division; *в* — personal signature of the first forester of the Shchelkovo forestry V.I. Tretyakov)

капитализма, и мы, собравшись здесь попутно с этим празднованием решили отметить памятью пятилетие существования Лесничества и ту громадную работу, которую за указанное время Вы, геройски вынесли на своих плечах, работая в тесном контакте по укреплению Народного лесного хозяйства и защите прав трудящихся. Рабочком Щелковского Лесничества выражает Вам полную Пролетарскую солидарность и выносит товарищескую благодарность за болезненное участие в профессиональной работе» [22].

В.И. Третьяков проработал на должности лесничего 6 лет (1918–1924 гг.), но в связи с болезнью был вынужден ее оставить и 18 февраля 1924 г., передал дела своему помощнику В.С. Гусеву. С приемо-сдаточным актом В.С. Гусев принял планы и планшеты, находившиеся в это время в лесничестве [22].

Летом 1925 г. в Щелковском лесничестве были проведены полевые работы по устройству трех лесных дач: Гребневской, Сабуровской и Защитной Брюсовской, а к 1927 г. еще и Заречной (рис. 3).

К сожалению, до настоящего времени сохранились материалы лесоустройства только по четырём лесным дачам из 12 существовавших в то время отдельных лесных дач.

В период с 1917 по 1921 гг. произошло первое административно-территориальное изменение Московской губернии, заключавшееся в разукрупнении и образовании новых уездов [23].

В 1919 г. в результате административной реорганизации территории Богородского уезда была образована Щелковская волость (слиянием двух существовавших ранее волостей — Гребневской и Осеевской). Центром волости стала деревня Щелково, которая с 1925 г. получила статус города. В 1921 г. Щелковская волость была передана в Московский уезд.

Таким образом, территория современного Щелковского учебно-опытного лесхоза располагалась в двух уездах: Богородском и Московском. Часть лесхоза, расположенная на территории Щелковской волости, относилась к Московскому уезду, а северо-восточная часть осталась в составе Богородского уезда — на территории Аксеновской волости с местоположением волостного исполкома в с. Фряново, а также Ивановской волости, включавшей в себя такие поселения, как Воря-Богородское, Душеновское, Огудневское, Петровское и др. [24].

В 1923 г. был принят первый Лесной кодекс РСФСР [25]. Согласно этому новому документу леса страны образовывали Единый государственный

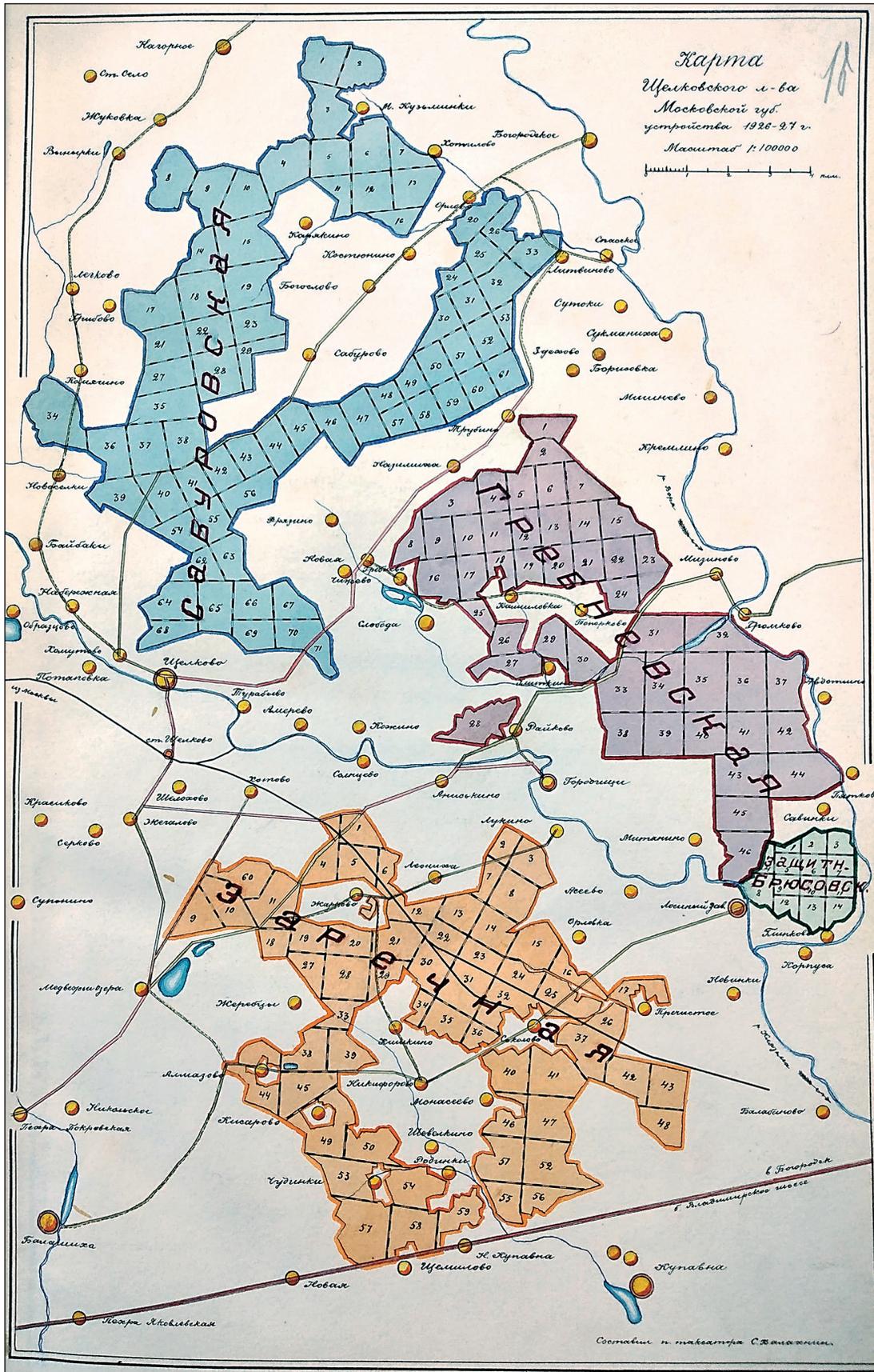


Рис. 3. Карта Шелковского лесничества Московской губернии устройства 1926–1927 гг.
 Fig. 3. Map of the Shchelkovo forestry, Moscow Governorate, 1926–1927

лесной фонд. В лесном фонде выделили леса местного и общегосударственного значения. Ведение хозяйства в лесах государственного значения осуществлялось Народным комиссариатом земледелия РСФСР. Леса местного значения были переданы в бессрочное пользование губернским земельным органам: земельным обществам, сельскохозяйственным коммунам и артелям, другим объединениям трудовых землепользователей, а также отдельным землепользователям [26]. Московским лесным отделом в уездные земельные отделы была разослана: Инструкция о передаче местных лесов № 277 от 09.10.1923 г. и дополнение к ней № 407 от 13.10.1923 г. В результате этих преобразований бывшие крестьянские леса стали относиться к лесам местного значения [27].

С 1923 г. государственный лесной фонд Московского уезда подразделялся на девять лесничеств — Московское, Кучинское, Сходненское, Хлебниковское, Лобненское, Бедняковское, Северное, Пушкинское, Щелковское и три дополнительных учебных лесничества — Лосиноостровское, Измайловское и Мытищинское, находившихся в ведении Московского лесного института и под управлением Московского областного земельного отдела [28].

В 1929 г. взамен существующих лесничеств и лесозаготовительных органов народных комиссариатов земледелия «организуются крупные советские лесные» хозяйства — лесхозы и «лесопромышленные хозяйства» — леспромхозы [29]. Наблюдение и контроль за правильным ведением лесного хозяйства в лесхозах и леспромхозах осуществлялись также Наркомземом и региональными земельными органами. Лесхозы и леспромхозы стали подразделяться на участки: учлесхозы и учлеспромхозы. С июля 1936 г. управление лесхозами осуществлялось конторами этих лесхозов, которые являлись административно-планово-техническими центрами лесхозов и непосредственно подчинялись территориальному управлению лесоохраны и лесонасаждений.

В 1932 г. для руководства лесной и лесоперерабатывающей промышленностью был образован Народный комиссариат лесной промышленности Советского Союза [30]. Щелковский леспромхоз, согласно постановлению Совета Народных Комиссаров Союза ССР от 19 января 1933 г., вошел в систему хозяйственных объединений Народного комиссариата лесной промышленности Советского Союза — Мослеспром [31]. С 1933 по 1936 гг. Мослеспром руководил всеми предприятиями лесной промышленности, лесоснабжением Московской области (лесозаготовительными работами, лесопилением, деревообработкой, мебельной и лесохимической промышленностью). Щелковский леспромхоз подчинялся непосредственно

государственному промышленному тресту местного значения — Рязанскому Государственному тресту лесной и деревообрабатывающей промышленности «Рязлестрест».

С августа 1934 г. все леса Московской области разделились на леса местного и промышленного значения. Леса промышленного значения оставались в ведении Народного комиссариата лесной промышленности Советского Союза, а остальные — передавались в ведение Московского областного исполнительного комитета [32]. С сентября 1934 г. охрана лесов непромышленного (местного) значения была передана Народному комиссариату внутренних дел Союза Советских Социалистических Республик (НКВД СССР).

В 1934 г. лесной фонд Щелковского района, за исключением лесов специального назначения, был передан в ведение райлесхоза [34]. Лесной фонд райлесхоза состоял из 16 бывших лесных дач гослесфонда и 142 участков лесов местного значения. В то время лесной фонд Щелковского райлесхоза был подразделен на пять производственных участков (учлесхозов): Щелковский (61 квартал), Фряновский (99 кварталов), Огудневский (175 кварталов), Трубинской (106 кварталов) и Свердловский (85 кварталов).

Заготовка древесины производилась в основном на территории Фряновского, Огудневского и Трубинского производственных участков. Утверждение плана заготовки древесины проходило на заседаниях исполнительного комитета Щелковского райсовета депутатов трудящихся. Протоколы заседаний исполнительного комитета Щелковского райсовета депутатов трудящихся хранятся в архивном управлении администрации Щелковского муниципального района Московской области. Большая часть заготавливаемой древесины использовалась местными организациями, колхозами и населением, меньшую — сплавляли по рекам Мелёжа и Воря. Древесина по р. Воря поступала в гавань с. Лосино-Петровское, далее ее направляли на выгрузку с помощью электрической лебедки. Лесосплав древесины по обеим рекам не превышал 30...40 тыс. м³ в год. По р. Мелёжа осуществлялся молевой сплав древесины за пределы района.

Огудневский учлесхоз осуществлял торфоразработки. Добытый торф вывозился по узкоколейке к железнодорожной станции Софрино.

На Щелковском и Свердловском производственных участках заготовка древесины не проводилась, с этих участков она поступала только после мероприятий по уходу за лесом.

С декабря 1934 г. леса, расположенные в 50-километровой зоне вокруг Москвы, были признаны лесами особого значения и предназначались исключительно для лесопаркового хозяйства [35].

Поскольку эта зона имела фиксированное расположение — 50 км от границ Москвы, девять из 19 лесхозов Московской области полностью вошли в ее состав. В Щелковском лесхозе граница 50-километровой зоны прошла по р. Дубёнка.

В июле 1936 г. постановлением Центрального Исполнительного Комитета и Совета Народных Комиссаров СССР № 35 были выделены водоохранные зоны, включая лесные массивы, расположенные в бассейнах крупных рек. Таким образом, в пределах 20-километровой полосы по обоим берегам верхнего течения р. Волги, ее притоков, в том числе р. Клязьмы, до г. Коврова, была выделена водоохранная зона и установлены особые правила ведения лесного хозяйства. Управление лесами возлагалось на образованное Главное управление лесоохраны и лесонасаждений при Совете Народных Комиссаров СССР [36].

В октябре 1936 г. постановлением Всесоюзного Центрального Исполнительного Комитета и Совета Народных Комиссаров РСФСР эти леса были объявлены особо охраняемым лесным фондом, а вырубки или повреждения деревьев на этой территории влекли за собой административную, а иногда и уголовную ответственность [37].

Согласно указанным выше постановлениям, с 1936 г. леса Щелковского райлесхоза подразделялись на следующие категории: водоохранные леса; лесопарки I очереди; лесопарки II очереди. К водоохраным лесам относились лесные площади, расположенные вдоль рек на расстоянии 1 км по обеим сторонам от рек Клязьмы, Вори, Дубёнки и 0,5 км от остальных мелких речек и ручьев Щелковского района. К лесопаркам I очереди относились лесные участки на расстоянии до 2 км от фабрик, заводов, санаториев, домов отдыха, рабочих поселков, крупных поселений и вдоль железных дорог. Все остальные лесные площади, за исключением приписных лесов (леса специального назначения), относились к лесопарковым лесам II очереди.

Дальнейшая история территории данного лесхоза изучена в большей степени и связана с производственной, исследовательской и учебной деятельностью на его территории.

В настоящем исследовании отражены изменения территории Щелковского учебно-опытного лесхоза за несколько исторических эпох. Полученные результаты помогут найти ответы на многие вопросы современных исследователей, пытающихся оценить динамику лесного фонда и причины изменения его состояния.

Выводы

Исследования территории Щелковского учебно-опытного лесхоза за период с 1765 по 1936 гг. показали наличие нескольких основных фак-

торов, повлиявших на современное состояние лесного фонда. Пользование и управление данной территорией происходило в условиях разных форм собственности: от частных крупных землевладельцев, в том числе императорской семьи, помещиков, купцов, крестьян, казенных министерств и ведомств, до социалистических форм собственности.

Искусственное лесовосстановление и уход за лесом осуществлялся крайне редко и в основном за счет естественного возобновления. Собственники использовали лесные угодья для заготовки дров, охоты и сбора недревесной продукции леса. Нередко зарастающие лесом участки вновь возвращались в сельскохозяйственный оборот, а затем снова зарастали лесом. В связи с этим в почвенном профиле под старовозрастными насаждениями можно обнаружить признаки сельскохозяйственного использования. Кроме того, лесные земли подвергались воздействию скота, выпас которого нередко проводился бесконтрольно. Наличие на исследуемой территории значительных болотных комплексов способствовало развитию торфодобычи с последующим использованием торфа в качестве промышленного топлива для текстильных мануфактур. Позднее места добычи торфа заполнились водой, что снизило уровень подземных вод и давало возможность посадки лесных культур на прилегающих участках.

После 1917 г. вновь созданные органы государственной власти предприняли титанические усилия по лесоустройству разрозненных и находящихся в сильно угнетенном состоянии лесных насаждений, а также осуществили мероприятия по лесовосстановлению и уходу за лесом. Решая задачи не только лесного хозяйства, но и регулирования водного режима рек, в созданной 50-километровой зеленой зоне вокруг Москвы были разработаны принципы и внедрены приемы лесопаркового хозяйства. Вместе с тем за пределами 50-километровой зоны шли работы по заготовке леса, что требовало активного развития искусственного лесовосстановления.

В результате на территории Щелковского учебно-опытного лесхоза сформировалась сложная пространственная структура лесных ландшафтов, изучение которых не может происходить в отрыве от истории их формирования.

Список литературы

- [1] Милов Л.В. Исследование об «Экономических примечаниях» к Генеральному межеванию (К истории русского крестьянства и сел. хозяйства второй половины XVIII в.). М.: Изд-во Московского университета, 1965. 312 с.
- [2] Герман И.Е. История русского межевания. М.: Типо-литография В. Рихтер, 1907. 307 с.

- [3] Кусов В.С. Земли Московской губернии в XVIII веке. Карты уездов. Описания землевладений. В 3 т. Т. 1. М.: Московия, 2004. 315 с.
- [4] Справочная книжка Московской губернии: (описание уездов) / сост. по офиц. сведениям управляющим Канцелярию московского губернатора А. П. Шрамченко. М.: Губернская типография, 1890. 420 с.
- [5] Сведения о селениях и жителях Московской губернии. В 13 ч. Ч. 1. Богородский уезд. М.: Типо-литография Ф.И. Рубанова, 1873. 351 с.
- [6] Послыхин А.Ю. История усадьбы Гребнево. М.: Книга и бизнес, 2013. 344 с.
- [7] Приложение к трудам редакционных комиссий для составления положения о крестьянах, выходящих из крепостной зависимости. Сведения о помещичьих имениях. В 6 т. Т. 2. Извлечение из описаний имений по Велико-российским губерниям. Извлечение из описей помещичьих имений в 100 душ и свыше. Московская губерния. СПб.: Типография В. Безобразова и Комп., 1860. С. 6–7.
- [8] Московская губерния по местному обследованию. 1898–1900 гг. В 4 т. Т. 2. Материалы для определения доходности земель. Вып. 2-й. Лес, усадьба, выгон. Условия сельского хозяйства в отдельных уездах. М.: Товарищество «Печатня С.П. Яковлева», 1903. 296 с.
- [9] Турский М.К. Устройство Никольской лесной дачи владения товарищества Вознесенской мануфактуры. М.: Типография М.Г. Волчанинова, б. М.Н. Лаврова и К°, 1886. 117 с.
- [10] Мерзленко М.Д., Мельник П.Г. Опыт лесоводственного мониторинга в Никольской лесной даче. М.: МГУЛ, 2015. 112 с.
- [11] Положение о земельных комитетах и инструкция земельным комитетам. О земельных комитетах и об урегулировании ими сельско-хозяйственных отношений. 4 декабря 1917 года. Опубликовано в № 31 Газеты Временного Рабочего и Крестьянского Правительства от 13 декабря 1917 года // Собрание узаконений и распоряжений рабочего и крестьянского правительства за 1917–1918 гг. М., 1942. С. 93–103. URL: <https://docs.historyrussia.org/ru/nodes/348006-polozhenie-o-zemelnyh-komitetah-i-instruktsiya-zemelnyim-komitetam-o-zemelnyh-komitetah-i-ob-uregulirovanii-imi-selsko-hozyaystvennyh-otnosheniy-4-dekabrya-1917-goda#mode/inspect/page/1> (дата обращения 10.01.2024).
- [12] Тяпкин М.О. Деятельность государства по охране лесов в 1917–1929 гг.: сборник документов. Барнаул: Барнаульский юридический институт Министерства внутренних дел Российской Федерации, 2017. URL: https://бюи.мвд.рф/upload/site130/document_journal/Tyapkin.pdf (дата обращения 11.01.2024).
- [13] Постановление Народного Комиссариата Земледелия. О Земельных Отделах Губернских, Уездных и Волостных Исполнительных Комитетов (Положение) // Опубликовано в Голосе Трудового Крестьянства № 100 от 13 мая, № 101 от 14 мая и № 102 от 15 мая 1919 года // Собрание узаконений и распоряжений рабочего и крестьянского правительства за 1919 г. М., 1943. С. 369–389. URL: <https://docs.historyrussia.org/ru/nodes/349211-postanovlenie-narodnogo-komissariat Zemledeliya-o-zemelnyh-otdelah-gubernskih-uezdnyh-i-volostnyh-ispolnitelnyh-komitetov-polozhenie#mode/inspect/page/21> (дата обращения 12.01.2024)
- [14] Колданов В.Я. Очерки истории советского лесного хозяйства. М.: Экология, 1992. 254 с.
- [15] Постановления, циркуляры и распоряжения Центрального лесного управления Наркомата земледелия, МГЗО и лесного подотдела МГЗО по организации лесничеств в Московской губернии, снабжении древесиной государственных и общественных организаций Московской губернии с приложениями. 01.09.1917 – 16.01.1919 // Проект организации лесничеств. С. 34. ЦГАМО. Ф. 4997 Оп. 1 Д. 1.
- [16] Материалы обследования МРКИ лесного хозяйства Московской губернии / Постановления, циркуляры, протоколы, доклады, акты, переписка и т. д. / 01.11.1923 – 31.03.1925 / Ф. 165 Московская рабоче-крестьянская инспекция и Московская контрольная комиссия г. Москва 1919–1929 гг. / Акт. С. 107. ЦГАМО. Ф. 165. Оп. 1 Д. 647.
- [17] Совет народных комиссаров (СНК). 5 апреля. Предписание всем Советам о недопустимости увольнения лесных специалистов // Подлинник, 1 л.; печать: Комиссариат земледелия. Коллегия земледелия. Фотомеханическое воспроизведение в журнале «Леса Республики» № 2, 15 апреля 1918 г. «Земля» № 6, 1 мая 1918 г., стр. 3. URL: <https://docs.historyrussia.org/ru/nodes/14643#mode/inspect/page/1> (дата обращения 12.01.2024).
- [18] Протоколы заседаний Совета Московского губернского отдела союза лесоводов и лесотехнической коллегии Богородского уездного лесного отдела. 18.11.1918 – 08.02.1919 / Ф. 4997 Земельный отдел Моссовета г. Москва 1917–1929 гг. // Журнал заседания Лесотехнической Коллегии Богородского Уездного Лесного подотдела Земельного отдела от 18-го ноября 1918-го года. С. 1. ЦГАМО. Ф. 4997. Оп. 1. Д. 57.
- [19] Протоколы заседаний съездов лесных работников Богородского, Дмитровского и Серпуховского уездов. Копии. 26.05.1919 – 24.01.1921 / Ф. 4997 Земельный отдел Моссовета г. Москва 1917–1929 гг. / Заседание Лесных специалистов Богородского уезда 13-го, 14-го мая 1919 г. ЦГАМО. Ф. 4997. Оп. 1 Д. 230.
- [20] Документы о выселении бывших помещиков и использовании их земельных угодий и имуществ в Московской губернии / протоколы, проекты, ведомости, сведения, переписка / 03.04.1926 – 09.11.1927 / Ф. 4997 Земельный отдел Моссовета г. Москва 1917–1929 гг. ЦГАМО. Ф. 4997. Оп. 1 Д. 1760.
- [21] Протоколы совещаний лесничих Московского уезда. 22.04.1918 – 28.01.1919 / Ф. 4997 Земельный отдел Моссовета г. Москва 1917–1929 гг. / Протокол Совещания лесничих Московского уезда при Московском Уездном Лесном отделе, состоявшегося 4-го июня 1918 г. ЦГАМО. Ф. 4997. Оп. 1 Д. 63.
- [22] Переписка с Щелковским лесничеством по личному составу. Имеются сведения о личном составе лесничества. 10.09.1920 – 09.02.1924 / Ф. 4997 Земельный отдел Моссовета г. Москва 1917–1929 гг. / Протокол торжественного заседания рабочих и служащих Щелковского лесничества в день 6-ти летней годовщины Октябрьской Революции 7 ноября 1923 г. ЦГАМО. Ф. 4997. Оп. 2 Д. 321.
- [23] Справочник по административно-территориальному делению Московской губернии (1917–1929 гг.) / отв. ред. Кобяков А.А. М.: Главное архивное управление при Совете министров СССР: Архивное управление Мособлсполкома, 1980. 554 с.
- [24] Территориальное и административное деление Союза ССР на 1-е января 1925 г. / Нар. комиссариат внутр. дел. Стат. бюро. М.: Тип. МКХ им. Ф.Я. Лаврова, 1925–26. 359 с.

- [25] Постановление Президиума Всероссийского Центрального Исполнительного Комитета. О введении в действие Лесного Кодекса, принятого II сессией X созыва 7-го июля 1923 г. 25 июля 1923 г. / Опубликовано в № 170 Известий Всероссийского Центрального Исполнительного Комитета Советов от 31 июля 1923 г. / Собрание узаконений и распоряжений Рабочего и Крестьянского правительства за 1923 г. № 41-60. Отдел первый. С. 1041-1050. URL: <https://docs.historyrussia.org/ru/nodes/381749-postanovlenie-prezidiuma-vserossiyskogo-tsentralnogo-ispolnitelnogo-komiteta-o-vvedenii-v-deystvie-lesnogo-kodeksa-prinyatogo-ii-sessiei-x-sozyva-7-go-iyulya-1923-g-25-iyulya-1923-g> (дата обращения 15.01.2024).
- [26] Постановление Совета народных комиссаров РСФСР от 30 декабря 1927 года «Об утверждении положения о лесах местного значения». URL: https://e-ecolog.ru/docs/iv045mPsS4cNePC4_6EAc (дата обращения 16.01.2024).
- [27] Постановления, циркуляры и распоряжения Центрального лесного управления Наркомата земледелия, МГЗО и лесного подотдела МГЗО по организации лесничеств в Московской губернии, снабжении древесиной государственных и общественных организаций Московской губернии с приложениями. 01.09.1917 – 16.01.1919. / Доклад. ЦГАМО. Ф. 4997. Оп. 1. Д. 1.
- [28] Постановления, циркуляры и распоряжения Центрального лесного управления Наркомата земледелия, МГЗО и лесного подотдела МГЗО по организации лесничеств в Московской губернии, снабжении древесиной государственных и общественных организаций Московской губернии с приложениями. 01.09.1917 – 16.01.1919. / Акт. С. 407. ЦГАМО. Ф. 4997. Оп. 1. Д. 1.
- [29] Постановление Экономического совета. Об утверждении положения о советских лесных хозяйствах (лесхозах) и о советских лесопромышленных хозяйствах (леспромхозах). 5 декабря 1929 г. / Собрание узаконений и распоряжений рабоче-крестьянского правительства РСФСР, 1929 г. URL: <https://docs.historyrussia.org/ru/nodes/389968> (дата обращения 18.01.2024).
- [30] Постановление Центрального Исполнительного Комитета и Совета Народных Комиссаров // Об образовании народных комиссариатов тяжелой, легкой и лесной промышленности. 5 января 1932 г. / Опубликовано в № 6 Известий ЦИК Союза ССР и ВЦИК от 6 января 1932 г. / Собрание законов и распоряжений Рабоче-Крестьянского Правительства СССР за 1932 г. № 1-49. Отдел первый. М.: ОГИЗ-Сов. законодательство, 1932. С. 3. URL: <https://docs.historyrussia.org/ru/nodes/396559-postanovlenie-tsentralnogo-ispolnitelnogo-komiteta-i-soveta-narodnyh-komissarov-ob-obrazovanii-narodnyh-komissariatov-tyazheloy-legkoy-i-lesnoy-promyshlennosti-5-yanvarya-1932-g#mode/inspect/page/1> (дата обращения 20.01.2024).
- [31] Постановление Совета народных комиссаров. Об организации в системе Народного комиссариата лесной промышленности Союза ССР хозрасчетных объединений: Дальлеспром, Востсиблеспром, Мослеспром. 19 января 1933 г. / Собрание законов и распоряжений рабоче-крестьянского правительства, 1933 г. URL: <https://docs.historyrussia.org/ru/nodes/352551-postanovlenie-soveta-narodnyh-komissarov-ob-organizatsii-v-sisteme-narodnogo-komissariata-lesnoy-promyshlennosti-soyuza-ssr-hozraschetnyh-obedineniy-dallesprom-vostsiblesprom-moslesprom-19-yanvarya-1933-g#mode/grid/page/1> (дата обращения 24.01.2024).
- [32] Постановление Совета народных комиссаров. О реорганизации лесного хозяйства Московской области. 22 августа 1934 г. / Собрание законов и распоряжений рабоче-крестьянского правительства, 1934 г. С. 663-664. URL: <https://docs.historyrussia.org/ru/nodes/353353-postanovlenie-soveta-narodnyh-komissarov-v-organizatsii-lesnogo-hozyaystva-moskovskoy-oblasti-22-avgusta-1934-g#mode/grid/page/1> (дата обращения 25.01.2024).
- [33] Постановление Совета народных комиссаров. Об охране лесов и лесоразведении. 21 сентября 1934 г. № 2218 / Собрание законов и распоряжений рабоче-крестьянского правительства, 1934 г. С. 725. URL: <https://docs.historyrussia.org/ru/nodes/353388-postanovlenie-soveta-narodnyh-komissarov-ob-ohrane-lesov-i-lesorazvedeniya-21-sentyabrya-1934-g#mode/grid/page/1> (дата обращения 08.02.2024).
- [34] План организации лесного хозяйства в Щелковском лесхозе. Том I. Том II. 01.01.1936 – 31.12.1942. / 7139 Московское управление лесного хозяйства Министерства лесного хозяйства РСФСР 1929–1965 гг. / Постановление Мособлисполкома от 20.11.1934 г. ЦГАМО. Ф. 7139. Оп. 1. Д. 60.
- [35] План организации лесного хозяйства 50-ти километровой зеленой зоны г. Москвы. 01.01.1940 – 31.12.1940. Ф. 7139 Московское управление лесного хозяйства Министерства лесного хозяйства РСФСР 1929–1965 гг. ЦГАМО. Ф. 7139. Оп. 1. Д. 102.
- [36] Постановление Центрального Исполнительного Комитета и Совета Народных Комиссаров. Об образовании Главного Управления лесоохраны и лесонасаждений при совете Народных Комиссаров Союза ССР и о выделении водоохранной зоны. 2 июля 1936 г. № 66/1162 / Собрание законов и распоряжений Рабоче-Крестьянского правительства СССР за 1936 г. № 32-65. Отдел первый. М.: Гос. изд-во Сов. законодательство, 1936. С. 518–521. URL: <https://docs.historyrussia.org/ru/nodes/400484-postanovlenie-tsentralnogo-ispolnitelnogo-komiteta-i-soveta-narodnyh-komissarov-ob-obrazovanii-glavnogo-upravleniya-lesoohrany-i-lesonasazhdeniy-pri-sovete-narodnyh-komissarov-soyuza-ssr-i-o-vydelenii-vodoohrannoy-zony-2-iyulya-1936-g-locale-nil-66-1162#mode/inspect/page/1> (дата обращения 12.02.2024).
- [37] Об охране городских, пригородных, парковых, курортных, водоохраных, берегозащитных и почвозащитных лесов. Постановление ВЦИК и СНК РСФСР 20 октября 1936 г. / Законы, указы и постановления 1929–1939 гг. С. 387-388. URL: <https://docs.historyrussia.org/ru/nodes/371962-ob-ohrane-gorodskih-prigorodnyh-parkovyh-kurortnyh-vodoohrannyh-beregozaschitnyh-i-pochvozaschitnyh-lesov-postanovlenie-vtsik-i-snk-rsfsr-20-oktyabrya-1936-g#mode/inspect/page/2> (дата обращения 12.02.2024).

Сведения об авторах

Кормилицына Ольга Васильевна  — канд. с.-х. наук, доцент кафедры лесных культур, селекции и дендрологии, ФГБОУ ВО «Московский государственный технический университет имени Н.Э. Баумана (национальный исследовательский университет)» (Мытищинский филиал), ovkorm@bmstu.ru

Бондаренко Василий Валентинович — канд. биол. наук, доцент кафедры лесных культур, селекции и дендрологии, ФГБОУ ВО «Московский государственный технический университет имени Н.Э. Баумана (национальный исследовательский университет)» (Мытищинский филиал), vvbondarenko@bmstu.ru

Поступила в редакцию 12.03.2024.

Одобрено после рецензирования 07.06.2024.

Принята к публикации 18.10.2024.

HISTORY AND DEVELOPMENT OF SHCHELKOVO (MOSCOW REGION) EDUCATIONAL-EXPERIMENTAL FORESTRY CENTRE

O.V. Kormilitsyna , **V.V. Bondarenko**

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

ovkorm@bmstu.ru

The history and the development of the current territory of the Shchelkovo educational and experimental forestry in the Moscow region for 170 years (1766–1936) is described. The preserved plans and maps of different years, as well as unique documents on forestry formation after the Great October Socialist Revolution of 1917, are analyzed. The changes of the territory depending on the forms of ownership and directions of use are revealed. The dynamics of the qualitative state of the forest on this territory is reviewed in connection with the changing purposes and conditions of management. The conducted research makes it possible find out the reasons of changes in the state of forest on the territory of the Shchelkovo educational and experimental forestry during the little-studied period of transition from private to public forest management.

Keywords: Shchelkovo educational and experimental forestry, dynamics of the qualitative state of forest lands, transition from private to public forest management

Suggested citation: Kormilitsyna O.V., Bondarenko V.V. *Istoriya razvitiya territorii Shchelkovskogo uchebno-opytного leskhozа Moskovskoy oblasti* [History and development of Shchelkovo (Moscow region) educational-experimental forestry centre]. *Lesnoy vestnik / Forestry Bulletin*, 2024, vol. 28, no. 6, pp. 37–51.

DOI: 10.18698/2542-1468-2024-6-37-51

References

- [1] Milov L.V. *Issledovanie ob «Ekonomicheskikh primechaniyakh» k General'nomu mezhevaniyu (K istorii russkogo krest'yanstva i sel. khozyaystva vtoroy poloviny XVIII v.)* [Research about the «Economic notes» to the General land survey: (to the history of the Russian peasantry and village economy in the second half of the 18-th Century)]. Moscow: Izd-vo Moskovskogo universiteta, 1965, 312 p.
- [2] German I.E. *Istoriya russkogo mezhevaniya* [History of Russian land surveying]. Moscow: Tipolitografiya V. Rikhter, 1907, 307 p.
- [3] Kusov V.S. *Zemli Moskovskoy gubernii v XVIII veke. Karty uezdov. Opisaniya zemlevladiy. V 3 t. T. 1.* [Lands of Moscow province in the XVIII century. Maps of districts. Descriptions of land tenure. Vol. 1]. Moscow: Moskoviya, 2004, 315 p.
- [4] *Spravochnaya knizhka Moskovskoy gubernii: (opisanie uezdov). Sost. po ofits. svedeniyam upravlyayushchim Kantselyariyeu moskovskogo gubernatora A. P. Shramchenko* [Reference book of Moscow province: (description of districts). Compiled on official data by the manager of the Office of the Moscow Governor A.P. Shramchenko]. Moscow: Gubernskaya tipografiya, 1890, 420 p.
- [5] *Svedeniya o seleniyakh i zhitelyakh Moskovskoy gubernii. Ch. 1. Bogorodskiy uezd* [Information about villages and inhabitants of Moscow province. Part. 1. Bogorodsky district]. Moscow: Tipolitografiya F.I. Rubanova, 1873, 351 p.
- [6] Poslykhin A.Yu. *Istoriya usad'by Grebnevo* [History of Grebnevo Manor]. Moscow: Kniga i biznes, 2013, 344 p.
- [7] *Prilozhenie k trudam redaktsionnykh komissiy dlya sostavleniya polozheniya o krest'yanakh, vykhodyashchikh iz krepostnoy zavisimosti. Svedeniya o pomeshchich'ikh imeniyakh. T. 2. Izvlechenie iz opisaniy imeniy po Velikorossiyskim guberniyam. Izvlechenie iz opisey pomeshchich'ikh imeniy v 100 dush i svyshe. Moskovskaya guberniya* [Appendix to the works of the editorial commissions for the compilation of regulations on peasants leaving serfdom. Information on landed estates. Vol. 2. Extract from the descriptions of estates in the Great Russian provinces. Extract from descriptions of landed estates of 100 souls and more. Moscow province]. Saint-Petersburg: Tipografiya V. Bezobrazova i Komp., 1860, pp. 6–7.
- [8] *Moskovskaya guberniya po mestnomu obsledovaniyu. 1898–1900 gg. V 4 t. T. 2. Materialy dlya opredeleniya dokhodnosti zemel'. Vyp. 2-y. Les, usad'ba, vygon. Usloviya sel'skogo khozyaystva v otdel'nykh uezdakh* [Moscow province by local survey 1898–1900. Vol. II. Materials for determining the profitability of land. Vol. II. Forests, farmsteads, paddocks. Conditions of agriculture in some districts]. Moscow: Tovarishestvo «Pechatnya S.P. Yakovleva», 1903, 296 p.

- [9] Turskiy M.K. *Ustroystvo Nikol'skoy lesnoy dachi vladeniya tovarishchestva Voznesenskoy manufakturny* [Arrangement of the Nikol'skaya forest dacha of the property of the Voznesenskaya Manufactory partnership]. Moscow: Tipografiya M.G. Volchaninova, b. M.N. Lavrova i K^o, 1886. 117 p.
- [10] Merzlenko M.D., Mel'nik P.G. *Opyt lesovodstvennogo monitoringa v Nikol'skoy lesnoy dache* [Experience of forestry monitoring in Nikol'skaya forest dacha]. Moscow: MSFU, 2015, 112 p.
- [11] *Polozhenie o zemel'nykh komitetakh i instruktsiya zemel'nykh komitetam. O zemel'nykh komitetakh i ob uregulirovani imi sel'sko-khozyaystvennykh otnosheniy. 4 dekabrya 1917 goda* [Regulations on land committees and instructions to land committees. 4 December 1917]. Raspublikovano v № 31 Gazety Vremennogo Rabocheho i Krest'yanskogo Pravitel'stva ot 13 dekabrya 1917 goda // Sobranie uzakoneni i rasporyazheniy rabocheho i krest'yanskogo pravitel'stva za 1917–1918 gg. M., 1942. [Published in No. 31 of the Gazette of the Provisional Workers and Peasants Government of 13 December 1917. Collection of laws and orders of the Workers and Peasants Government 1917–1918. M., 1942]. Available at: <https://docs.historyrussia.org/ru/nodes/348006-polozhenie-o-zemelnyh-komitetah-i-instruktsiya-zemelnykh-komitetam-o-zemelnyh-komitetah-i-ob-uregulirovani-imiselsko-khozyaystvennyh-otnosheniy-4-dekabrya-1917-goda#mode/inspect/page/1> (accessed 10.01.2024).
- [12] Tyapkin M.O. *Deyatel'nost' gosudarstva po okhrane lesov v 1917–1929 gg. sbornik dokumentov* [State activity on forest protection in 1917–1929]: collection of documents]. Barnaul: Barnaul'skiy yuridicheskiy institut Ministerstva vnutrennikh del Rossiyskoy Federatsii [Barnaul Law Institute of the Ministry of Internal Affairs of the Russian Federation], 2017. Available at: https://бюи.мвд.рф/upload/site130/document_journal/Tyapkin.pdf (accessed 11.01.2024).
- [13] *Postanovlenie Narodnogo Komissariata Zemledeliya. O Zemel'nykh Otdelakh Gubernskikh, Uezdnykh i Volostnykh Ispolnitel'nykh Komitetov (Polozhenie)* // [Resolution of the Peoples Commissariat of Agriculture. About the land departments of provincial, district and parish executive committees (Regulations). May 10, 1919]. Raspublikovano v Golose Trudovogo Krest'yanstva № 100 ot 13 maya, № 101 ot 14 maya i № 102 ot 15 maya 1919 goda // Sobranie uzakoneni i rasporyazheniy rabocheho i krest'yanskogo pravitel'stva za 1919 g. M., 1943 [Published in the Voice of the Labor Peasantry No. 100 of May 13, No. 101 of May 14 and No. 102 of May 15, 1919. Collection of laws and orders of the Workers and Peasants Government for 1919. M., 1943]. Available at: <https://docs.historyrussia.org/ru/nodes/349211-postanovlenie-narodnogo-komissariata-zemledeliya-o-zemelnyh-otdelah-gubernskikh-uezdnykh-i-volostnykh-ispolnitelnykh-komitetov-polozhenie#mode/inspect/page/21> (accessed 12.01.2024).
- [14] Koldanov V.Ya. *Ocherki istorii sovetskogo lesnogo khozyaystva* [Sketches of the history of soviet forestry]. Gos. kom. SSSR po lesu, Gl. nauch.-tekhn. upr. [USSR State committee on forests. Main scientific and technical directorate]. Moscow: Ekologiya, 1992, 254 p.
- [15] *Postanovleniya, tsirkulyary i rasporyazheniya Tsentral'nogo lesnogo upravleniya Narkomata zemledeliya, MGZO i lesnogo podotdela MGZO po organizatsii lesnichestv v Moskovskoy gubernii, snabzhenii drevesinoy gosudarstvennykh i obshchestvennykh organizatsiy Moskovskoy gubernii s prilozheniyami. 01.09.1917 – 16.01.1919 // Proekt organizatsii lesnichestv* [Resolutions, circulars and orders of the Central Forestry Department of the Peoples Commissariat of Agriculture, Moscow Provincial Land Department and forest subdivision of Moscow Provincial Land Department about the organization of forestry in Moscow province, supply of timber to state and public organizations of Moscow province with appendices. 01.09.1917 – 16.01.1919. Project of forestry organization]. Moscow: Central State Archive of Moscow Oblast, fond (collection) 4997, opis (inventory) 1, delo (file) 1, p. 34.
- [16] *Materialy obsledovaniya MRKI lesnogo khozyaystva Moskovskoy gubernii. Postanovleniya, tsirkulyary, protokoly, doklady, akty, perepiska i t.d. 01.11.1923 – 31.03.1925*. [Materials of the Moscow Workers and Peasants Inspection survey of forestry in Moscow province. Resolutions, circulars, minutes, reports, acts, correspondence, etc. 01.11.1923 – 31.03.1925]. F. 165 Moskovskaya raboche-krest'yanskaya inspektsiya i Moskovskaya kontrol'naya komissiya g. Moskva 1919–1929 gg. Akt [Moscow Workers and Peasants Inspection and the Moscow Control Commission of Moscow 1919–1929. Act]. Moscow: Central State Archive of Moscow Oblast, fond (collection) 165, opis (inventory) 1, delo (file) 647, p. 107.
- [17] *Sovet narodnykh komissarov (SNK). 5 aprelya. Predpisanie vsem Sovetam o nedopustimosti uvol'neniya lesnykh spetsialistov* [Council of People's Commissars (SNK). April 5. Instruction to all Soviets on the inadmissibility of dismissal of forestry specialists]. Podlinnik, 1. 1.; pechat': Komissariat zemledeliya. Kollegiya zemledeliya. Fotomekhanicheskoe vosproizvedenie v zhurnale «Lesy Respubliki» № 2, 15 aprelya 1918 g. «Zemlya» № 6, 1 maya 1918 g., str. 3. [Original, 1 sheet; published: Commissariat of Agriculture. Collegium of Agriculture. Photomechanical reproduction in «Forests of the Republic» No. 2, April 15, 1918. «Land» No. 6, May 1, 1918]. Available at: <https://docs.historyrussia.org/ru/nodes/14643#mode/inspect/page/1> (accessed 12.01.2024).
- [18] *Protokoly zasedaniy Soveta Moskovskogo gubernskogo otdela soyuza lesovodov i lesotekhnicheskoy kollegii Bogorodskogo uездного lesnogo otdela. 18.11.1918 – 08.02.1919* [Protocols of the sessions of the Council of the Moscow provincial department of the Union of Foresters and the forestry board of the Bogorodsky district forestry department. 18.11.1918 – 08.02.1919]. F. 4997 Zemel'nyy otdel Mossoveta g. Moskva 1917–1929 gg. Zhurnal zasedaniya Lesotekhnicheskoy Kollegii Bogorodskogo Uездного Lesnogo podotdela Zemel'nogo otdela ot 18-go noyabrya 1918-go goda [F. 4997 Land department of the Moscow City Council 1917–1929. Journal of the meeting of the Forestry Board of the Bogorodsky district Forest Subdivision of the Land Department dated November 18, 1918]. Moscow: Central State Archive of Moscow Oblast, fond (collection) 4997, opis (inventory) 1, delo (file) 57, p. 1.
- [19] *Protokoly zasedaniya s'ezdov lesnykh rabotnikov Bogorodskogo, Dmitrovskogo i Serpukhovskogo uездov. Kopii. 26.05.1919 – 24.01.1921*. [Protocols of meetings of congresses and forestry workers of Bogorodsky, Dmitrovsky and Serpukhovsky districts. Copies. 26.05.1919 – 24.01.1921]. F. 4997 Zemel'nyy otdel Mossoveta g. Moskva 1917–1929 gg. Zasedanie Lesnykh spetsialistov Bogorodskogo uездa 13-go, 14-go maya 1919 g. [F. 4997 Land Department of the Moscow City Council of Moscow 1917–1929. Session of the Forestry specialists of Bogorodsky district on May 13, 14, 1919]. Moscow: Central State Archive of Moscow Oblast, fond (collection) 4997, opis (inventory) 1, delo (file) 230.
- [20] *Dokumenty o vyselenii byvshikh pomeshchikov i ispol'zovanii ikh zemel'nykh ugodyi i imushchestv v Moskovskoy gubernii. Protokoly, proekty, vedomosti, svedeniya, perepiska. 03.04.1926 – 09.11.1927* [Documents on the eviction of former landlords

- and the use of their land and property in Moscow province. Protocols, projects, statements, information, correspondence. 03.04.1926 – 09.11.1927]. F. 4997 Zemel'nyy otdel Mossoveta g. Moskva 1917–1929 gg. [F. 4997 Land Department of the Moscow City Council of Moscow 1917–1929]. Moscow: Central State Archive of Moscow Oblast, fond (collection) 4997, opis (inventory) 1, delo (file) 1760.
- [21] *Protokoly soveshchaniy lesnichikh Moskovskogo uyezda. 22.04.1918 – 28.01.1919* [Protocols of sessions of foresters of Moscow district. 22.04.1918 – 28.01.1919] F. 4997. Zemel'nyy otdel Mossoveta g. Moskva 1917–1929 gg. Protokol Soveshchaniya lesnichikh Moskovskogo uyezda pri Moskovskom Uezdom Lesnom otdele, sostoyavshegosa 4-o iyunya 1918 g. [F. 4997 Land Department of the Moscow City Council of Moscow 1917–1929. Protocols of the Session of foresters of the Moscow district at the Moscow District Forestry department, held on June 4, 1918]. Moscow: Central State Archive of Moscow Oblast, fond (collection) 4997, opis (inventory) 1, delo (file) 63.
- [22] *Perepiska s Shelkovskim lesnichestvom po lichnomu sostavu. Imeyutsya svedeniya o lichnom sostave lesnichestva. 10.09.1920 – 09.02.1924* [Correspondence with the Shelkovskoye forestry about the personnel. There is information on the personnel of the forestry. 10.09.1920 – 09.02.1924] F. 4997 Zemel'nyy otdel Mossoveta g. Moskva 1917–1929 gg. Protokol torzhestvennogo zasedaniya rabochikh i sluzhashchikh Shchelkovskogo lesnichestva v den' 6-ti letney godovshchiny Oktyabr'skoy Revolyutsii 7 noyabrya 1923 g. [F. 4997 Land Department of the Moscow City Council of Moscow 1917–1929. Protocol of the ceremonial session of workers and employees of Shchelkovsky forestry on the day of the 6th anniversary of the October Revolution on November 7, 1923]. Moscow: Central State Archive of Moscow Oblast, fond (collection) 4997, opis (inventory) 2, delo (file) 321.
- [23] *Spravochnik po administrativno-territorial'nomu deleniyu Moskovskoy gubernii (1917–1929 gg.) / otv. red. A.A. Kobyakov* [Directory on the administrative-territorial division of Moscow Province (1917–1929). Responsible editor: Kobyakov A.A.]. Moscow: Main Archive Directorate under the USSR Council of Ministers, Archive Directorate of Moscow Regional Executive Committee, 1980, 554 p.
- [24] *Territorial'noe i administrativnoe delenie Soyuzo SSR na 1-e yanvarya 1925 g.* [Territorial and administrative division of the Union of Soviet Socialist Republics on January 1, 1925]. Nar. komissariat vnutr. del. Stat. byuro [Peoples Commissariat of Internal Affairs. Statistical Bureau]. Moscow: Printing House of the Moscow Public Utility Service named F.Y. Lavrov, 1925–26, 359 p.
- [25] *Postanovlenie Prezidiuma Vserossiyskogo Tsentral'nogo Ispolnitel'nogo Komiteta. O vvedenii v deystvie Lesnogo Kodeksa, prinyatogo II sessiei X sozyva 7-go iyulya 1923 g. 25 iyulya 1923 g.* [Resolution of the Presidium of the All-Russian Central Executive Committee. About the enactment of the Forest Code, adopted by the II session of the X convocation on July 7, 1923. July 25, 1923]. Raspublikovano v № 170 Izvestiy Vserossiyskogo Tsentral'nogo Ispolnitel'nogo Komiteta Sovetov ot 31 iyulya 1923 g. Sobranie zakonov i rasporyazheniy Rabocheho i Krest'yanskogo pravitel'stva za 1923 g. № 41–60. Otdel pervyy. S. 1041–1050 [Published in No. 170 of the «Izvestia» of the All-Russian Central Executive Committee of the Soviets of July 31, 1923. Collection of laws and orders of the Workers and Peasants Government for 1923, No. 41–60. Section one]. Available at: <https://docs.historyrussia.org/ru/nodes/381749-postanovlenie-prezidiuma-vserossiyskogo-tsentralnogo-ispolnitelnogo-komiteta-o-vvedenii-v-deystvie-lesnogo-kodeksa-prinyatogo-ii-sessiei-x-sozyva-7-go-iyulya-1923-g-25-iyulya-1923-g> (accessed 15.01.2024).
- [26] *Postanovlenie Soveta narodnykh komissarov RSFSR ot 30 dekabrya 1927 goda «Ob utverzhdenii polozheniya o lesakh mestnogo znacheniya»* [Resolution of the Council of Peoples Commissars of the RSFSR of December 30, 1927 «About approval of the regulation on local forests»]. Available at: https://e-ecolog.ru/docs/iv045mPsS4cNePC4_6EAc (accessed 16.01.2024).
- [27] *Postanovleniya, tsirkulyary i rasporyazheniya Tsentral'nogo lesnogo upravleniya Narkomata zemledeliya, MGZO i lesnogo podotdela MGZO po organizatsii lesnichestv v Moskovskoy gubernii, snabzhenii drevesinoy gosudarstvennykh i obshchestvennykh organizatsiy Moskovskoy gubernii s prilozheniyami. 01.09.1917 – 16.01.1919. Doklad.* [Resolutions, circulars and orders of the Central Forestry Department of the Peoples Commissariat of Agriculture, Moscow Provincial Land Department and forest subdivision of Moscow Provincial Land Department about the organization of forestry in Moscow province, supply of timber to state and public organizations of Moscow province with appendices. 01.09.1917 – 16.01.1919. The Report]. Moscow: Central State Archive of Moscow Oblast, fond (collection) 4997, opis (inventory) 1, delo (file) 1.
- [28] *Postanovleniya, tsirkulyary i rasporyazheniya Tsentral'nogo lesnogo upravleniya Narkomata zemledeliya, MGZO i lesnogo podotdela MGZO po organizatsii lesnichestv v Moskovskoy gubernii, snabzhenii drevesinoy gosudarstvennykh i obshchestvennykh organizatsiy Moskovskoy gubernii s prilozheniyami. 01.09.1917 – 16.01.1919. Akt.* [Resolutions, circulars and orders of the Central Forestry Department of the Peoples Commissariat of Agriculture, Moscow Provincial Land Department and forest subdivision of Moscow Provincial Land Department about the organization of forestry in Moscow province, supply of timber to state and public organizations of Moscow province with appendices. 01.09.1917 – 16.01.1919. The act]. Moscow: Central State Archive of Moscow Oblast, fond (collection) 4997, opis (inventory) 1, delo (file) 1, p. 407.
- [29] *Postanovlenie Ekonomicheskogo soveta. Ob utverzhdenii polozheniya o sovetskikh lesnykh khozyaystvakh (leskhozakh) i o sovetskikh lesopromyshlennykh khozyaystvakh (lespromkhozakh). 5 dekabrya 1929 g.* [Resolution of the Economic Council. About approval of the Regulations about soviet forestry (leskhozoes) and about soviet timber enterprises (lespromkhozoes). 5 December 1929]. Sobranie zakonov i rasporyazheniy raboche-krest'yanskogo pravitel'stva RSFSR, 1929 g [Collection of laws and orders of the Workers and Peasants Government the RSFSR, 1929]. Available at: <https://docs.historyrussia.org/ru/nodes/389968> (accessed 18.01.2024).
- [30] *Postanovlenie Tsentral'nogo Ispolnitel'nogo Komiteta i Soveta Narodnykh Komissarov // Ob obrazovanii narodnykh komissariatov tyazheloy, legkoy i lesnoy promyshlennosti. 5 yanvarya 1932 g.* [Resolution of the Central Executive Committee and Council of Peoples Commissars. About the formation of the Peoples Commissariats of Heavy, Light and Forest Industries. 5 January 1932]. Opublikovano v № 6 Izvestiy TsIK Soyuzo SSR i VTsIK ot 6 yanvarya 1932 g. [Published in No. 6 of the Izvestia of Central Executive Committee of the Union of Soviet Socialist Republics and the All-Russian Central Executive Committee of 6 January 1932]. Sobranie zakonov i rasporyazheniy raboche-krest'yanskogo pravitel'stva SSSR za 1932 g. № 1-49. Otdel pervyy. M.: OGIZ-Sov. Zakonodatel'stvo, 1932 [Collection of laws and orders of the Workers and Peasants Government the RSFSR for 1932. № 1-49. Division one. – Moscow: OGIZ-Sov. legislation, 1932]. Available at: <https://docs.historyrussia.org/ru/nodes/396559-postanovlenie-tsentralnogo-ispolnitelnogo-komiteta-i-soveta-narodnyh-komissa>

- rov-ob-obrazovaniy-narodnykh-komissariatov-tyazhelay-legkoy-i-lesnoy-promyshlennosti-5-yanvarya-1932-g#mode/inspect/page/1 (accessed 20.01.2024).
- [31] *Postanovlenie Soveta narodnykh komissarov. Ob organizatsii v sisteme Narodnogo komissariata lesnoy promyshlennosti Soyuza SSR khozraschetnykh ob'edineniy: Dal'lesprom, Vostsiblesprom, Moslesprom. 19 yanvarya 1933 g.* [Resolution of the Council of Peoples Commissars. About the organization of self-accounting associations in the system of the Peoples Commissariat of the Forest Industry of the USSR: Dallesprom, Vostsiblesprom, Moslesprom. 19 January 1933]. *Sobranie zakonov i rasporyazheniy raboche-krest'yanskogo pravitel'stva, 1933 g.* [Collection of laws and orders of the Workers and Peasants Government, 1933]. Available at: <https://docs.historyrussia.org/ru/nodes/352551-postanovlenie-soveta-narodnykh-komissarov-ob-organizatsii-v-sisteme-narodnogo-komissariata-lesnoy-promyshlennosti-soyuza-ssr-hozraschetnykh-obedineniy-dallesprom-vostsiblesprom-moslesprom-19-yanvarya-1933-g#mode/grid/page/1> (accessed 24.01.2024).
- [32] *Postanovlenie Soveta narodnykh komissarov. O reorganizatsii lesnogo khozyaystva Moskovskoy oblasti. 22 avgusta 1934 g.* [Resolution of the Council of Peoples Commissars. On the reorganisation of forestry in the Moscow region. 22 August 1934]. *Sobranie zakonov i rasporyazheniy raboche-krest'yanskogo pravitel'stva, 1934 g.* [Collection of laws and orders of the Workers and Peasants Government, 1934, p. 663–664]. Available at: <https://docs.historyrussia.org/ru/nodes/353353-postanovlenie-soveta-narodnykh-komissarov-o-reorganizatsii-lesnogo-hozyaystva-moskovskoy-oblasti-22-avgusta-1934-g#mode/grid/page/1> (accessed 25.01.2024).
- [33] *Postanovlenie Soveta narodnykh komissarov. Ob okhrane lesov i lesorazvedenii. 21 sentyabrya 1934 g. № 2218* [Resolution of the Council of Peoples Commissars. About forest protection and afforestation. 21 September 1934 No. 2218]. *Sobranie zakonov i rasporyazheniy raboche-krest'yanskogo pravitel'stva, 1934 g.* [Collection of laws and orders of the Workers and Peasants Government, 1934, p. 275]. Available at: <https://docs.historyrussia.org/ru/nodes/353388-postanovlenie-soveta-narodnykh-komissarov-ob-okhrane-lesov-i-lesorazvedeniya-21-sentyabrya-1934-g#mode/grid/page/1> (accessed 08.02.2024).
- [34] *Plan organizatsii lesnogo khozyaystva v Shchelkovskom leskhoze. Tom I. Tom II. 01.01.1936 – 31.12.1942.* [The Plan of forestry organisation in Shchelkovsky forestry. Volume I. Volume II. 01.01.1936 – 31.12.1942.] *Moskovskoe upravlenie lesnogo khozyaystva Ministerstva lesnogo khozyaystva RSFSR 1929–1965 gg. Postanovlenie Mosoblispolkoma ot 20.11.1934 g.* [Moscow Forestry Department of the Ministry of Forestry of the RSFSR 1929–1965. Resolution of the Moscow Regional Executive Committee of 20.11.1934]. Moscow: Central State Archive of Moscow Oblast, fond (collection) 7139, opis (inventory) 1, delo (file) 60.
- [35] *Plan organizatsii lesnogo khozyaystva 50-ti kilometrovoy zelenoy zony g. Moskvy. 01.01.1940 – 31.12.1940.* [The Plan of forestry organization for the 50 km green zone of Moscow. Moscow. 01.01.1940 – 31.12.1940]. *Moskovskoe upravlenie lesnogo khozyaystva Ministerstva lesnogo khozyaystva RSFSR 1929–1965 gg.* [Moscow Forestry Department of the Ministry of Forestry of the RSFSR 1929–1965]. Moscow: Central State Archive of Moscow Oblast, fond (collection) 7139, opis (inventory) 1, delo (file) 102.
- [36] *Postanovlenie Tsentral'nogo Iсполnitel'nogo Komiteta i Soveta Narodnykh Komissarov. Ob obrazovanii Glavnogo Upravleniya lesookhrany i lesonasazhdeniy pri sovete Narodnykh Komissarov Soyuza SSR i o vydelenii vodookhrannoy zony. 2 iyulya 1936 g. № 66/1162* [Resolution of the Central Executive Committee and the Council of Peoples Commissars. About the formation of the Main Directorate of Forest Protection and Afforestation under the Council of Peoples Commissars of the Union of Soviet Socialist Republics and the allocation of the water protection zone. 2 July 1936, No. 66/1162]. *Sobranie zakonov i rasporyazheniy Raboche-Krest'yanskogo pravitel'stva SSSR za 1936 g. № 32-65. Otdel pervyy* [Collection of laws and orders of the Workers and Peasants Government of the USSR for 1936, No. 32-65. Section one]. Moscow: State Publishing House of Soviet Legislation, 1936, p. 518–521. Available at: <https://docs.historyrussia.org/ru/nodes/400484-postanovlenie-tsentralnogo-ispolnitelnogo-komiteta-i-soveta-narodnykh-komissarov-ob-obrazovanii-glavnogo-upravleniya-lesookhrany-i-lesonasazhdeniy-pri-sovete-narodnykh-komissarov-soyuza-ssr-i-o-vydelenii-vodookhrannoy-zony-2-iyulya-1936-g-locale-nil-66-1162#mode/inspect/page/1> (accessed 12.02.2024).
- [37] *Ob okhrane gorodskikh, prigorodnykh, parkovykh, kurortnykh, vodookhrannykh, beregozashchitnykh i pochvozashchitnykh lesov. Postanovlenie VTsIK i SNK RSFSR 20 oktyabrya 1936 g.* [About the protection of urban, suburban, park, resort, water protection, shore protection and soil protection forests. Resolution of the All-Russian Central Executive Committee and the Council of People's Commissars of the RSFSR 20 October 1936]. *Zakony, ukazy i postanovleniya 1929–1939 gg.* [Laws, decrees and resolutions 1929–1939, p. 387–388]. Available at: <https://docs.historyrussia.org/ru/nodes/371962-ob-okhrane-gorodskikh-prigorodnykh-parkovykh-kurortnykh-vodookhrannykh-beregozaschitnykh-i-pochvozaschitnykh-lesov-postanovlenie-vtsik-i-snk-rsfsr-20-oktyabrya-1936-g#mode/inspect/page/2> (accessed 12.02.2024).

Authors' information

Kormilitsyna Ol'ga Vasil'evna  — Cand. Sci. (Agriculture), Associate Professor, BMSTU (Mytishchi branch), ovkorm@bmstu.ru

Bondarenko Vasilii Valentinovich — Cand. Sci. (Biology), Associate Professor, BMSTU (Mytishchi branch), vvbondarenko@bmstu.ru

Received 12.03.2024.

Approved after review 07.06.2024.

Accepted for publication 18.10.2024.

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

ОПТИМИЗАЦИЯ МЕТОДИКИ КЛОНАЛЬНОГО МИКРОРАЗМНОЖЕНИЯ ПРЕДСТАВИТЕЛЕЙ РОДОВ *HEUCHERA* L. И \times *HEUCHERELLA* H.R.WEHRH., ПЕРСПЕКТИВНЫХ ДЛЯ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ В ОЗЕЛЕНЕНИИ

Н.А. Мамаева[✉], И.Л. Крахмалева, О.И. Молканова

ФГБУН «Главный ботанический сад им. Н.В. Цицина Российской академии наук» (ГБС РАН), Россия, 127276, Москва, Ботаническая ул., д. 4

mamaeva_n@list.ru

Представлены результаты исследования по усовершенствованию методики клонального микроразмножения сортов *Heuchera* L. ('Autumn Leaves', 'Cherry Cola', 'Dew Drops', 'Marmalade') и \times *Heucherella* H.R.Wehrh ('Art Deco', 'Golden Zebra', 'Solar Eclipse', 'Plum Cascade'). Приведен краткий анализ качественного и количественного состава банка *in vitro* представителей родов *Heuchera*, \times *Heucherella* и *Tiarella* L. лаборатории биотехнологии растений ГБС РАН. Установлено, что влияние концентрации 6-бензиламинопурина в составе питательной среды Murashige and Skoog на количественные характеристики микророзеток в структуре их общей изменчивости является доминирующим. При повышении концентрации 6-бензиламинопурина выявлено статистически значимое увеличение коэффициента размножения у всех изученных в эксперименте сортов (за исключением сорта 'Dew Drops'). Отмечено формирование небольшого количества крупных микророзеток на питательной среде Murashige and Skoog с отсутствием регуляторов роста. Зафиксирована наибольшая частота спонтанного ризогенеза на указанной питательной среде у всех изученных сортов. Показано, что предпочтительным является мета-тополлин (относительно тидиазурона) как регулятор роста, альтернативный 6-бензиламинопурина, влияющий на количественные и качественные характеристики микророзеток модельных сортов *Heuchera* и \times *Heucherella*. Зафиксировано наибольшее число жизнеспособных и хорошо развитых микророзеток размером менее 1,0 см, пригодных для использования на этапе собственно микроразмножения, на среде с добавлением тидиазурона.

Ключевые слова: *Heuchera*, \times *Heucherella*, коллекция *in vitro*, морфогенез, регенерационный потенциал, озеленение

Ссылка для цитирования: Мамаева Н.А., Крахмалева И.Л., Молканова О.И. Оптимизация методики клонального микроразмножения представителей родов *Heuchera* L. и \times *Heucherella* H.R.Wehrh., перспективных для использования в озеленении // Лесной вестник / Forestry Bulletin, 2024. Т. 28. № 6. С. 52–63. DOI: 10.18698/2542-1468-2024-6-52-63

Представители родов Гейхера (*Heuchera* L.), Гейхерелла (\times *Heucherella* H.R.Wehrh.) и Тиарелла (*Tiarella* L.) — это корневищные травянистые многолетние растения семейства Камнеломковые (*Saxifragaceae* Juss.). Род *Heuchera* включает в себя от 45 до 48 видов, естественные ареалы которых расположены на территории Северной Америки [1, 2]. Представители рода *Tiarella* распространены преимущественно в Азии и Северной Америке. Таксономия этого рода часто изменяется, поэтому, по данным разных источников, в его составе указывают от 3 до 7 видов [3, 4]. Род \times *Heucherella* — культивируемый: является межродовым гибридным таксоном, созданным в результате гибридизации гейхеры трясуноквидной (*Heuchera* \times *brizoides* hort. ex Lemoine) с тиареллой сердцевидной (*Tiarella cordifolia* L.).

Сорта гейхеры и гейхереллы активно используются в озеленении, однако не так широко рас-

пространены, как пионы, флоксы, хосты, ирисы, лилейники. Это относительно пластичные декоративнолиственные культуры с широкой колористической гаммой окрасок листовых пластинок и очень длительным периодом декоративности — от начала вегетационного периода до осенних заморозков и позже. Комплексом таких характеристик обусловлены их востребованность и перспективы использования в ландшафтном дизайне [5–7].

Несмотря на сходство геномного состава, гейхеры и гейхереллы имеют некоторые биологические различия, влияющие на длительность их беспересадочного периода, который, в свою очередь, определяет возможности их использования в озеленении. Гейхеры более перспективны для объектов, не рассчитанных на длительную эксплуатацию (не более 4 лет), гейхереллы — для ландшафтных композиций, спроектированных на период 5 лет и более [8].

Различные сорта гейхеры и гейхереллы могут применяться в составе широкого спектра ландшафтных композиций. Наиболее перспектив-

ными они считаются при создании контрастных цветочных зон в групповых посадках, миксбордерах, ковровых цветниках, в передней части декоративных бордюров, на берегах водоемов, в альпинариях и рокариях. Самые низкорослые и устойчивые сорта пригодны для выращивания в контейнерной культуре. Кроме того, некоторые сорта гейхеры и гейхереллы можно использовать как комнатные растения и для внутреннего озеленения — декорирования офисных помещений, торговых центров, кафе, ресторанов и др. [9–11]. Обильно цветущие сорта этих культур подходят для срезки.

Лучшими растениями-компаньонами в составе ландшафтных композиций для гейхеры и гейхереллы считаются сорта — представители соответствующих родовых комплексов. Среди других культур рекомендуются такие травянистые многолетники, как брунера, астильба, бадан, лилейник, декоративные злаки, хосты, примулы, ирисы, колокольчики, камнеломки, седумы. Гейхеры и гейхереллы в составе цветников в тенистых зонах объектов ландшафтной архитектуры хорошо сочетаются с папоротниками, купенами, дицентрами и другими тенелюбивыми и теневыносливыми растениями. Кроме того, они совместимы с карликовыми кустарниками. Например, высоко декоративные композиции можно спроектировать с использованием спирей и барбарисов. Визуально очень эффектным может быть сочетание гейхеры и гейхереллы с некрупными по габитусу хвойными породами [12]. Осенью цветнолистные сорта гейхеры и гейхереллы подчеркивают декоративность цветущих безвременников [13].

Одной из возможных сложностей при проектировании ландшафтных композиций является отсутствие необходимого количества высококачественного посадочного материала, поскольку генеративное размножение сортов не обеспечивает генетическую идентичность получаемых растений, а вегетативное — часто характеризуется получением небольшого количества растительного материала. Таким образом, клональное микроразмножение представляется наиболее перспективным способом получения большого количества генетически идентичных растений, являющихся высококачественным посадочным материалом [14, 15]. На наш взгляд, это может быть интересно для создания и реализации проектов в сфере городского озеленения и в ландшафтном дизайне в целом.

Цель работы

Цель работы — усовершенствование методики клонального микроразмножения перспективных для использования в городском озеленении сортов *Heuchera* и *×Heucherella* на этапе собственно микроразмножения.

Материалы и методы

Объекты исследования — восемь сортов *Heuchera* и *×Heucherella* из состава банка асептических культур лаборатории биотехнологии растений Главного ботанического сада имени Н.В. Цицина РАН (ГБС РАН).

Выбор сортов, использованных в эксперименте, обусловлен такими критериями, как разнообразие фенотипических признаков, в том числе декоративных характеристик, устойчивость в культуре и перспективность использования в составе городских ландшафтных композиций.

Heuchera × hybrida сорт ‘Autumn Leaves’ отличается компактной формой куста, которая сохраняется в течение всего периода вегетации. Высокодекоративный. Малотребователен к условиям выращивания. Низкорослый: высота куста не более 25 см, ширина до 40 см. Интенсивность разрастания высокая. Окраска листьев изменяется в течение периода вегетации: весной — красная, летом — с темно-серыми и красно-рубиновыми пятнами, осенью — красно-бордовая. Цветки мелкие, кремовые, соцветие метелка. Зимостойкость высокая (зона морозостойкости (USDA) 4 (от –34 до –29 °C)). Универсальный в использовании: может быть размещен на любых территориях (в садах, парках, скверах, придомовых территориях и т. д.). Применим как для солитерных посадок, так и для сочетания с другими декоративными культурами. Лучшими растениями-компаньонами считаются хосты, ирисы, медуницы, другие сорта гейхеры и гейхереллы. Сорт часто используют в бордюрных посадках и альпинариях.

Heuchera × hybrida сорт ‘Cherry Cola’ считается самым интенсивно окрашенным (по степени проявления красных пигментов) в составе сортового ассортимента своего вида. Часто описывается как уникальный сорт. Высокодекоративный, в основном за счет окраски и формы листовых пластинок. Низкорослый: высота куста не более 20 см, ширина до 30 см. Интенсивность разрастания высокая. Листья средних размеров, округлые, с матовой поверхностью и волнистыми краями; по форме трехгранные, глубококоразрезные. Окраска листьев изменяется в течение периода вегетации: весной доминирует темно-оранжевый оттенок, летом — красноватый, осенью — светло-зеленый. Цветоносы имеют коричневую окраску, их высота в среднем составляет 40 см. Цветки небольшие, с редкой кораллово-красной окраской, что является дополнительной декоративной особенностью сорта. Соцветие метелка. Зимостойкость высокая (зона морозостойкости (USDA) 4 (от –34 до –29 °C)). Рекомендован для использования в групповых посадках, каменистых садах, бордюрах, ратках, а также в составе

рокариев и альпинариев. Прекрасно сочетается с гейхерой 'Green Spice', а также хостами, астильбами и медуницами.

Heuchera × *hybrida* сорт 'Dew Drops' — уникальный сорт с яркими окрасками различных частей растений (листьев и цветков), создающих акцентный контрастный эффект. При правильной агротехнике обильно цветет. Высокодекоративный. Считается малотребовательным относительно условий выращивания. Куст компактный, округлой формы; низкорослый: высота около 30 см, ширина до 40 см. Интенсивность разрастания очень высокая. Листья крупные, округлые, слабофрированные, с зубчатыми краями. Сорт пестролистный: основная окраска — зеленая, рисунок — белые пятна, штрихи, точки, хаотично расположенные на поверхности листовой пластинки; жилки светло-розовые, четко очерченные. Цветоносы — в среднем 40 см. Цветки мелкие, ярко-красные, обеспечивающие, наряду с окраской листьев, дополнительный цветовой контраст, что повышает декоративные характеристики сорта; соцветие рыхлая метелка. Зимостойкость высокая (зона морозостойкости (USDA) 4 (от -34 до -29 °C)). Рекомендован для использования в одиночных или групповых посадках, в составе альпинариев и рокариев, а также на газонах. Подходит для многовидовых миксбордеров, а также для выращивания в контейнерах и вазонах. Может применяться как элемент декорирования балконов, террас и беседок.

Heuchera × *hybrida* сорт 'Marmalade' — один из самых высокорослых в составе сортового ассортимента своего вида. Это сложный гибрид, полученный от скрещивания трех видов гейхеры. Высокодекоративный. Не требователен к условиям выращивания. Интенсивность разрастания очень высокая. Куст раскидистый, округлой формы: высота до 30 см, ширина (по разным данным) от 25 до 50 см. Листья крупные, гофрированные, с изменяющейся в течение периода вегетации окраской: от зеленой (весной) до ярко-коралловой (осенью). Цветоносы сильно облиственные, могут достигать 60 см в высоту. Цветки мелкие, розовые. Засухоустойчивость выше средней, жаростойкость высокая, зимостойкость высокая (зона морозостойкости (USDA) 3 (от -40 до -34 °C)). Подходит для использования в составе миксбордеров, цветников, одиночных или групповых посадок. Может применяться для создания декоративных бордюров.

× *Heucherella* сорт 'Solar Eclipse'. Высокодекоративный. Малотребователен к условиям выращивания. Куст компактный, плотный, некрупный: высота 25...30 см, ширина до 40 см. Интенсивность разрастания высокая. Листья крупные, округлые, слаборассеченные, с плотной структурой,

глянцевые с волнистым краем. Окраска темно-красно-коричневая с лимонно-зеленой каймой, сохраняющаяся в течение всего сезона вегетации. Цветоносы высокие (в среднем 40 см), ровные, прямые. Цветки мелкие, белые, собраны в небольшие рыхлые метелки. Жаростойкость средняя, засухоустойчивость высокая, зимостойкость высокая (зона морозостойкости (USDA) 4 (от -34 до -29 °C)). Рекомендован для использования при проектировании рабаток, бордюров и каменистых садов, подходит для моновидовых посадок.

× *Heucherella* сорт 'Art Deco' — один из наиболее широко распространенных сортов гейхереллы. Высокодекоративный. В целом абсолютно не требователен к условиям выращивания. Низкорослый: высота куста не более 35 см, ширина до 30 см. Интенсивность разрастания очень высокая. Листья крупные, матовые. Листовая пластинка рассеченная. Окраска представлена разными оттенками коричневого цвета, изменяющимися в течение сезона вегетации, с крупными темными жилками. Цветки мелкие, белые, собраны в ажурные метелки. Зимостойкость высокая (зона морозостойкости (USDA) 3 (от -40 до -34 °C)). Рекомендован для использования в бордюрах, а также для вазонов и кашпо.

× *Heucherella* сорт 'Golden Zebra' считается самым ярким и узнаваемым в составе сортового ассортимента своего вида. Высокодекоративный, в основном за счет окраски и формы листовых пластинок. Малотребователен к условиям выращивания. Низкорослый: высота куста не более 25 см, ширина до 35 см. Интенсивность разрастания высокая. Листья некрупные, пальчатые, с зубчатым краем, изменяют окраску в течение сезона вегетации. Желто-зеленые весной, летом желтая окраска становится более интенсивной, осенью проявляются красные пигменты. Рубиново-красная окраска вдоль крупных жилок в процессе вегетации растений не изменяется. Цветоносы высокие (в среднем 45 см). Цветки мелкие, белые, соцветие метелка. Засухоустойчивость выше средней, зимостойкость высокая (зона морозостойкости (USDA) 3 (от -40 до -34 °C)). Рекомендован для использования в миксбордерах, групповых посадках, рокариях и альпинариях, при декорировании берегов водоемов. Также может быть использован в сочетании с ранневесенними луковичными растениями. Подходит для выращивания в контейнерной культуре.

× *Heucherella* сорт 'Plum Cascade' в ассортименте гейхерелл наиболее широко используется в ландшафтном дизайне. Это первый сорт гейхереллы с фиолетово-серебристой окраской листьев. Высокодекоративный. Малотребователен к условиям выращивания. Куст раскидистый, округлой

формы, низкорослый: высота 25...30 см, ширина до 60 см. Интенсивность разрастания очень высокая. Листья крупные, сильно рассеченные, с зубчатым краем, имеют фиолетово-серебряную окраску с хорошо отличимыми темными жилками. Оттенок листьев в течение сезона вегетации может изменяться, в зависимости от погодных условий и используемой агротехники. Черешки длинные, с густым опушением. Цветоносы высотой в среднем 40 см. Цветки светло-розовые, декоративно выглядят на фоне листьев. Соцветие рыхлая метелка. При правильной агротехнике обильно цветет. Засухоустойчивость высокая. Зимостойкость высокая (зона морозостойкости (USDA) 4 (от -34 до -29 °C)). Рекомендован для использования в миксбордерах, группах, рокариях. Достаточно простым вариантом применения сорта в ландшафтных композициях можно считать размещение возле беседок, лавочек, террас и других мест отдыха. Может быть использован в качестве быстро разрастающегося почвопокровного растения в тенистых цветниках, а также для вертикальных или ниспадающих композиций.

В ходе исследования использовали общепринятые и разработанные в лаборатории биотехнологии растений ГБС РАН приемы работы с культурами изолированных тканей и органов растений [16, 17].

При культивировании растений на этапе собственно микроразмножения применяли питательную среду с минеральной основой Murashige and Skoog (MS) [18]. Оценивали влияние концентраций 0,1...0,2 мг/л 6-бензиламинопурина (6-BAР) и различных регуляторов роста — 6-BAР, мета-тополина (mT) и тидиазурина (TDZ) в концентрации 0,5 мг/л на морфометрические показатели микророзеток изучаемых сортов *in vitro*. В качестве контроля использовали среду MS, не содержащую регуляторы роста.

Регенеранты культивировали при температуре 23...25 °C, освещении 1500...2000 лк, фотопериоде 16/8 ч. Через 30 сут. фиксировали три биометрических показателя. В эксперименте по изучению влияния разных концентраций 6-BAР это были число микророзеток (коэффициент размножения) и высота микророзеток. В опыте по определению степени влияния типа регулятора роста фиксировали и третий показатель — число сформированных листьев. В обоих экспериментах также учитывали число оводненных микророзеток и число растений с наличием спонтанно образованных корней.

По высоте образовавшиеся микророзетки были условно подразделены на три группы: 1) низкие — менее 1,0 см; 2) средние — 1,0...1,9 см; 3) высокие — 2,0 см и более.

Исследование проводили в трехкратной повторности: по 10 экплантов в каждой. Для статистической обработки полученных экспериментальных данных применяли дисперсионный анализ [19] и множественный ранговый критерий Дункана [20] с использованием компьютерных программ SPSS Statistics 23 и Microsoft Office Excel 2010 соответственно.

Результаты и обсуждение

Коллекция *in vitro* представителей родов *Heuchera*, *×Heucherella* и *Tiarella* лаборатории биотехнологии растений ГБС РАН в настоящее время насчитывает 29 наименований. В ее составе доминирует родовой комплекс *Heuchera*, представленный сортами, относящимися к двум видам: *H. X hybrida* hort. (19 наименований) и *H. villosa* Michx. (одно наименование). Ассортимент *×Heucherella* насчитывает восемь наименований. Крайне незначительно в коллекции представлен род *Tiarella* (одно наименование).

Большинство сортов в составе банка асептических культур относится к цветнолистным культиварам. Исключение составляют сорта ‘Dew Drops’ и ‘Art Deco’, однако это высокодекоративные и очень устойчивые в культуре сорта. В группе цветнолистных сортов доминируют культивары с красно-коричневой и бордовой окрасками листовых пластинок. Часть сортов (20,6 % общего объема коллекции) характеризуется наличием контрастного рисунка на поверхности листьев. Это такие культивары, как ‘Tiramisu’, ‘Golden Zebra’, ‘Appalachian Trail’ и др. Сорта с окраской листовых пластинок, изменяющейся в течение периода вегетации, составляют 51,7 % общего объема коллекции. К культиварам с наиболее сильной вариабельностью колористических характеристик листьев относятся сорта ‘Autumn Leaves’, ‘Dew Drops’ и ‘Paprika’.

Категория сортов, декоративность которых увеличивается в период цветения, представлена незначительно (10,3 % общего объема коллекции) — это сорта ‘Cherry Cola’, ‘Dew Drops’ и ‘Brass Lantern’.

Таким образом, качественный состав банка *in vitro* лаборатории биотехнологии растений ГБС РАН позволяет осуществлять как комплексное изучение представителей родов *Heuchera* и *×Heucherella*, так и определять параметры изменчивости отдельных биометрических признаков у каждого конкретного сорта.

Представленное в настоящей статье исследование по размножению *in vitro* сортов *Heuchera* и *×Heucherella*, перспективных для использования в составе городских ландшафтных композиций, состоит из двух взаимодополняющих этапов.

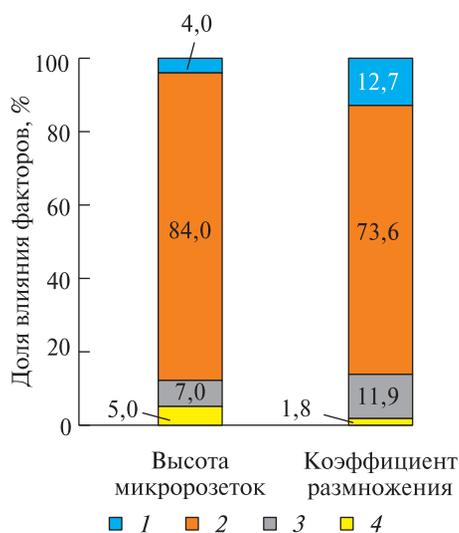


Рис. 1. Доли влияния различных факторов на биометрические показатели исследуемых растений: 1 — сорт (фактор А); 2 — концентрация 6-БАП (фактор В); 3 — взаимодействие АВ; 4 — случайный фактор

Fig. 1. Fractions of influence of different of various factors on the biometric indicators of the studied plants: 1 — cultivar (factor A); 2 — concentrations of 6-BAP (factor B); 3 — AB interaction; 4 — random factor

Первый этап заключался в определении влияния на рост и развитие растений различных концентраций 6-ВАР как одного из наиболее распространенных, часто применяемых и эффективных регуляторов роста [21, 22].

При исследовании 6-ВАР в концентрациях 0,1 и 0,2 мг/л для модельных сортов ‘Autumn Leaves’, ‘Cherry Cola’, ‘Dew Drops’ и ‘Art Deco’, ‘Golden Zebra’, ‘Solar Eclipse’, представляющих, соответственно, родовые комплексы *Heuchera* и *×Heucherella*, выявлены доли влияния различных факторов на исследуемые количественные характеристики микророзеток (рис. 1).

Согласно полученным результатам, как на коэффициент размножения, так и на высоту микророзеток наибольшее влияние оказывает концентрация 6-ВАР: 73,6 и 84,0 % соответственно. Таким образом, генетические особенности культиваров не оказывают существенного влияния ни на один из этих показателей. Доли влияния сортовых особенностей наряду с вкладом от взаимодействия факторов генотип — гормон на коэффициент размножения составляют не более 12,7 и 11,9 %, а на высоту микророзеток — по 4,0 и 7,0 % соответственно.

Для оценки значимости различий между эффектами уровней исследуемых в эксперименте факторов (сортовые особенности и концентрации регулятора роста) на указанные выше количественные характеристики изучаемых сортов *Heuchera* и *×Heucherella* использовали множественный ранговый критерий Дункана (табл. 1).

Анализ изменчивости коэффициента размножения как основополагающего показателя в комплексе количественных характеристик эксплантов позволил установить, что на питательной среде без добавления 6-ВАР все сорта имели наименьший коэффициент размножения. При этом все выявленные различия достоверны на 5%-м уровне значимости. Кроме того, на среде без гормонального компонента для всех культиваров были выявлены статистически значимые увеличение размеров микророзеток и наибольшая частота спонтанного ризогенеза.

В ходе исследования также установлена закономерность, связанная с тем, что повышение концентрации 6-ВАР способствовало увеличению коэффициента размножения у всех модельных сортов вне зависимости от их родовой принадлежности. Подобный эффект выявлен и другими авторами [23, 24]. При этом высота микророзеток в целом изменялась не значительно. Указанные результаты являются количественным выражением установленного ранее (посредством дисперсионного анализа) доминирующего положения этого фактора (концентрации 6-ВАР) в структуре общей изменчивости рассматриваемого признака (см. рис. 1).

Однако, на наш взгляд, в аспекте практической значимости работы наибольший интерес представляет изучение реакции различных сортов на изменение концентрации регулятора роста в составе питательной среды (см. табл. 1). В выборке исследуемых культиваров наибольший коэффициент размножения ($8,1 \pm 1,8$ шт.) выявлен у сорта ‘Dew Drops’ на питательной среде с 0,2 мг/л 6-ВАР, наименьший ($3,0 \pm 1,2$ шт.) у сорта ‘Cherry Cola’ на среде с 0,1 мг/л 6-ВАР. У всех сортов в выборке (за исключением ‘Dew Drops’) при повышении концентрации фитогормона (до 0,2 мг/л) выявлено существенное увеличение коэффициента размножения (рис. 2).

На питательных средах с гормональным компонентом микророзетки наибольших размеров формировали сорта ‘Cherry Cola’ и ‘Solar Eclipse’. При повышении концентрации фитогормона (до 0,2 мг/л) статистически значимое уменьшение размеров микророзеток установлено только у двух сортов: ‘Dew Drops’ (с $1,7 \pm 0,1$ до $1,4 \pm 0,1$ см) и ‘Cherry Cola’ (с $1,9 \pm 0,3$ до $1,7 \pm 0,3$ см). Таким образом, для этих культиваров, согласно результатам эксперимента, лучшим следует признать вариант питательной среды с более низким содержанием 6-ВАР (0,1 мг/л).

Высокая частота спонтанного ризогенеза выявлена у большинства исследуемых культиваров (см. табл. 1). Исключение составляют сорта *Heuchera* ‘Dew Drops’ и ‘Autumn Leaves’, у которых наибольшее образование корней отмечали только на среде с отсутствием регулятора

Т а б л и ц а 1

Влияние концентрации 6-ВАР в составе питательной среды на биометрические показатели изучаемых представителей родов *Heuchera* и *×Heucherella* на этапе собственно микроразмножения

The influence of the concentration of 6-BAP in the nutrient medium on the biometric parameters of the studied representatives of the genus *Heuchera* and *×Heucherella* at the micropropagation stage

Род	Сорт	Концентрация 6-ВАР, мг/л	Высота микророзеток, см	Коэффициент размножения	Частота спонтанного ризогенеза, %
<i>Heuchera</i>	‘Autumn Leaves’	0,0 (контроль)	2,4 ± 0,4 а	1,7 ± 0,7 с	100,0
		0,1	1,6 ± 0,2 b	3,9 ± 1,1 b	0,0
		0,2	1,7 ± 0,2 b	5,5 ± 1,2 а	17,0
	‘Cherry Cola’	0,0 (контроль)	2,9 ± 0,4 а	1,3 ± 0,5 с	100,0
		0,1	1,9 ± 0,3 b	3,0 ± 1,2 b	63,0
		0,2	1,7 ± 0,3 с	4,3 ± 1,8 а	100,0
	‘Dew Drops’	0,0 (контроль)	2,4 ± 0,3 а	1,3 ± 0,7 b	100,0
		0,1	1,7 ± 0,1 b	7,6 ± 1,3 а	0,0
		0,2	1,4 ± 0,1 с	8,1 ± 1,8 а	0,0
<i>×Heucherella</i>	‘Art Deco’	0,0 (контроль)	3,0 ± 0,5 а	1,5 ± 0,6 с	100,0
		0,1	1,6 ± 0,1 b	5,1 ± 1,2 b	100,0
		0,2	1,6 ± 0,2 b	6,8 ± 2,0 а	43,0
	‘Golden Zebra’	0,0 (контроль)	2,9 ± 0,4 а	1,7 ± 0,7 с	100,0
		0,1	1,6 ± 0,2 b	3,4 ± 0,9 b	100,0
		0,2	1,5 ± 0,2 b	5,3 ± 1,4 а	50,0
	‘Solar Eclipse’	0,0 (контроль)	3,3 ± 0,8 а	1,3 ± 0,5 с	100,0
		0,1	1,7 ± 0,3 b	3,8 ± 1,1 b	100,0
		0,2	1,7 ± 0,2 b	6,2 ± 1,7 а	13,0

Примечание. Здесь и далее представлены средние значения и стандартные отклонения (±); средние значения в столбцах, за которыми следуют одинаковые буквы, не имеют существенного отличия друг от друга в соответствии с множественным ранговым критерием Дункана при $P < 0,05$.



Рис. 2. Развитие микророзеток сорта ‘Art Deco’ на этапе собственно микроразмножения на питательных средах с добавлением разных концентраций 6-ВАР: а — 0,0 мг/л; б — 0,1 мг/л; в — 0,2 мг/л (масштаб 1:1,0 см)

Fig. 2. Development of microrosettes of cultivar ‘Art Deco’ at the micropropagation stage on nutrient media supplemented with different concentrations of 6-BAP: а — 0,0 mg/L; б — 0,1 mg/L; в — 0,2 mg/L (Bar = 1,0 cm)

роста; при этом укоренились все растения. На питательных средах с добавлением 6-ВАР сорта *×Heucherella* в целом характеризуются более высокими значениями рассматриваемого признака, чем сорта *Heuchera*. Кроме того, у представителей рода *×Heucherella* отмечена общая закономерность: снижение интенсивности спонтан-

ного ризогенеза при увеличении концентрации регулятора роста в составе питательной среды. Наименьший показатель — 13 % — выявлен у сорта ‘Solar Eclipse’.

В рамках изучаемой выборки сортов обоих родовых комплексов наибольшая частота спонтанного ризогенеза (от 63 до 100 %) зафиксирована

Влияние регуляторов роста в составе питательной среды на количественные характеристики микророзеток сортов ‘Marmalade’ и ‘Plum Cascade’ на этапе собственно микроразмножения

The influence of growth regulators in the nutrient medium on the quantitative characteristics of microrosettes of cultivars ‘Marmalade’ and ‘Plum Cascade’ at the micropropagation stage

Сорт	Тип регулятора роста	Коэффициент размножения	Высота микророзеток, см	Число листьев, шт.	Оводненные микророзетки, %
× <i>Heucherella</i> ‘Plume Cascade’	6-BAР	7,1 ± 1,7 b	2,5 ± 0,4 a	3,7 ± 0,6 b	8,0
	mT	18,1 ± 6,2 a	1,9 ± 0,2 b	3,6 ± 0,5 b	7,1
	TDZ	23,9 ± 9,0 a	0,9 ± 0,2 c	4,5 ± 0,4 a	4,8
<i>Heuchera</i> ‘Marmalade’	6-BAР	5,7 ± 1,6 b	1,2 ± 0,2 a	5,9 ± 1,5 a	0,0
	mT	10,3 ± 4,8 a	1,0 ± 0,1 b	5,2 ± 0,5 a	6,9
	TDZ	7,4 ± 3,5 ab	1,0 ± 0,2 b	5,2 ± 0,6 a	5,8



Рис. 3. Развитие микророзеток сорта ‘Plume Cascade’ на этапе собственно микроразмножения на питательных средах с добавлением: а — 6-BAР; б — mT; в — TDZ (масштаб 1:1,0 см)

Fig. 3. Development of microrosettes of cultivar ‘Plume Cascade’ at the micropropagation stage on nutrient media with the addition of: а — 6-BAР; б — mT; в — TDZ (Bar = 1,0 cm)

у *Heuchera* — сорт ‘Cherry Cola’ на всех использованных в эксперименте вариантах питательных сред. Высокими значениями этого признака также отличаются два сорта ×*Heucherella*: ‘Golden Zebra’ и ‘Art Deco’ — от 50 до 100 % и от 43 до 100 % соответственно. При этом его минимальные значения зафиксированы на средах разной концентрации 6-BAР: у гейхер — это 0,1 мг/л, у гейхерелл — 0,2 мг/л.

Второй этап работы состоял в изучении влияния типа регуляторов роста, альтернативных 6-BAР, на рост и развитие эксплантов, поскольку известно, что для реализации их морфогенетического потенциала выбор оптимального гормона, часто имеет первостепенное значение [25–28].

Установлено влияние 6-BAР, mT, TDZ в концентрации 0,5 мг/л на биометрические показатели растений (табл. 2, рис. 3).

Наименьшие показатели коэффициента размножения у изученных сортов зафиксированы на среде с добавлением 6-BAР. Это согласуется с результатами исследований эффекта применения указанного регулятора роста на других культурах [29–32]. При этом выявлено увеличение коэффициента размножения на средах с добавлением mT и TDZ.

Наибольшее число микророзеток у исследуемых сортов отмечено на средах с добавлением разных регуляторов роста: для ‘Marmalade’ — это mT, а для ‘Plum Cascade’ — TDZ. Однако статистическими методами указанные результаты не подтверждены. Отсутствие существенных различий установлено между коэффициентами размножения на средах, содержащих 6-BAР и TDZ у сорта ‘Marmalade’, на средах с добавлением mT и TDZ — у сорта ‘Plum Cascade’.

Кроме количественной оценки микророзеток на этапе собственно микроразмножения, важным также является качество получаемого растительного материала. Для мониторинга этой компоненты в ходе представленного исследования у эксплантов учитывали три показателя (рис. 4, см. табл. 2).

На наш взгляд, в первую очередь необходимо учитывать размеры микророзеток, поскольку крупные микророзетки наиболее пригодны для использования на этапе укоренения, хотя могут применяться и для собственно микроразмножения. Микророзетки средних размеров наиболее эффективно использовать на этапе собственно микроразмножения, хотя их применение также вполне возможно и на этапе укоренения. Мелкие микро-

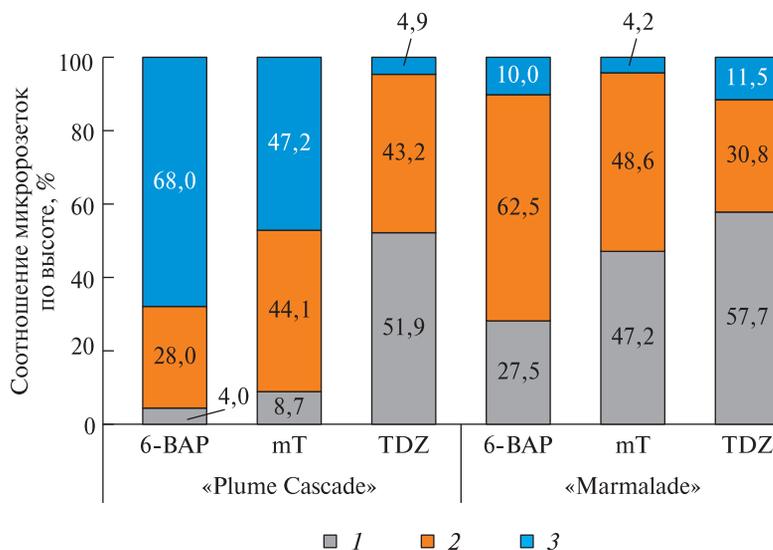


Рис. 4. Вариабельность количества микророзеток различных размеров в зависимости от состава питательной среды у сортов ‘Marmalade’ и ‘Plum Cascade’: 1 — до 1,0 см; 2 — 1,0...1,9 см; 3 — 2,0 см и выше

Fig. 4. Variability in the number of microrosettes of various heights depending on the composition of the nutrient medium in the cultivars ‘Marmalade’ and ‘Plum Cascade’: 1 — up to 1,0 cm; 2 — 1,0...1,9 cm; 3 — 2,0 cm and higher

зетки пригодны в основном как исходный материал для очередного цикла размножения *in vitro* [33].

Согласно результатам статистической обработки экспериментальных данных, у обоих изучаемых сортов высота микророзеток, культивируемых на питательной среде с добавлением 6-ВАР на 5%-м уровне значимости, существенно превышает их размеры на средах с другими регуляторами роста (mT и TDZ). При этом у сорта ‘Plum Cascade’ по данному показателю на средах с различным гормональным составом выявлена бóльшая вариабельность абсолютных значений, чем у сорта ‘Marmalade’. Также отмечено последовательное снижение высоты микророзеток на средах, содержащих 6-ВАР, mT и TDZ. Установленные различия подтверждены на 5%-м уровне значимости. При этом для сорта ‘Marmalade’ подобная тенденция не выявлена.

В ходе исследования наибольшее количество микророзеток размером менее 1,0 см зафиксировано у обоих исследуемых сортов на питательной среде с добавлением 0,5 мг/л TDZ (57,7 % у ‘Marmalade’ и 51,9 % у ‘Plum Cascade’). Существенное различие состоит в том, что у гейхереллы количество мелких микророзеток на питательных средах с добавлением 6-ВАР и mT значительно меньше, чем у гейхеры. При этом мелкие микророзетки на среде с TDZ хорошо сформированы и практически не имеют морфологических аномалий.

Изучена облиственность микророзеток модельных сортов *Heuchera* и *×Heucherella*, выращенных на питательных средах различного гормонального состава. Установлено, что в целом гейхера харак-

теризуется большей облиственностью, чем гейхерелла. Так, у сорта ‘Marmalade’ среднее число листьев по всем вариантам эксперимента составило $5,4 \pm 1,0$ шт., а у сорта ‘Plum Cascade’ — $3,9 \pm 0,6$ шт. При этом различия по числу листьев, сформированных растениями на разных средах, установлены только у сорта ‘Plum Cascade’ (см. табл. 2).

Важным аспектом оценки качества эксплантов является учет наличия и количества оводненных микророзеток, которые, как правило, являются нежизнеспособными [34, 35]. В представленном эксперименте у исследуемых сортов в целом зафиксировано небольшое количество витрифицированных микророзеток. Указанный показатель изменяется в пределах от 4,8 до 8,0 %. При этом в среднем по всем использованным в исследовании вариантам состава питательных сред *Heuchera* сорта ‘Marmalade’ характеризуется меньшей долей оводненных микророзеток (4,2 %), чем *×Heucherella* сорта ‘Plum Cascade’ (6,3 %). Кроме того, у сорта ‘Marmalade’ отмечен вариант питательной среды (MS с 0,5 мг/л 6-ВАР) с отсутствием аномалий развития, что может быть как генетической характеристикой сорта, так и следствием влияния какого-либо случайного (не учтенного в эксперименте) фактора.

Выводы

1. В составе коллекции *in vitro* представителей родов *Heuchera*, *×Heucherella* и *Tiarella* лаборатории биотехнологии растений ГБС РАН, включающей в себя 29 наименований, представлено широкое биоморфологическое разнообразие сортов.

2. На этапе собственно микроразмножения у всех изученных в эксперименте представителей родов *Heuchera* и *×Heucherella* для получения наибольшего коэффициента размножения целесообразно использовать питательную среду MS с добавлением 0,2 мг/л 6-ВАР.

3. На этапе собственно микроразмножения для исследованных сортов при применении в составе питательной среды MS регуляторов роста альтернативных 6-ВАР оптимальным является применение mT в концентрации 0,5 мг/л. При этом коэффициент размножения сорта 'Plum Cascade' можно увеличить на 25 %.

4. На среде MS с 0,5 мг/л TDZ выявлено формирование наибольшего числа жизнеспособных хорошо развитых микророзеток размером менее 1,0 см, пригодных для использования на этапе собственно микроразмножения.

5. Наибольшая интенсивность спонтанного ризогенеза выявлена у эксплантов при культивировании на питательной среде MS без добавления регуляторов роста.

Работа выполнена в рамках государственного задания ГБС РАН (№122042700002-6).

Список литературы

- [1] The world flora online, *Heuchera* L. URL: <https://www.worldfloraonline.org/taxon/wfo-4000017800> (дата обращения 09.10.2023).
- [2] Royal Botanic Gardens, Kew. Plants of the world online, *Heuchera* L. URL: <https://powo.science.kew.org/taxon/urn:lsid:ipni.org:names:30001424-2> (дата обращения 06.10.2024).
- [3] Liu L.X., Du Y.X., Folk R.A., Wang S.Y., Soltis D.E., Shang F.D., Li P. Plastome evolution in Saxifragaceae and multiple plastid capture events involving *Heuchera* and *Tiarella* // *Frontiers in Plant Science*, 2020, v. 11, pp. 361. DOI: 10.3389/fpls.2020.00361
- [4] Royal Botanic Gardens, Kew. Plants of the world online, *Tiarella* L. URL: <https://powo.science.kew.org/taxon/urn:lsid:ipni.org:names:30002940-2> (дата обращения 06.10.2024).
- [5] Баранова О.Г. Представители семейства *Saxifragaceae* в коллекции «Альпийские горки» Ботанического сада Петра Великого БИН РАН // *Проблемы ботаники Южной Сибири и Монголии*, 2023. Т. 22. № 1. С. 26–30. DOI: 10.14258/pbssm.2023005
- [6] Сангулия А.Н. Теневыносливые растения в экспозиции Сухумского ботанического сада // *Биологическое разнообразие. Интродукция растений: сб. науч. ст.* СПб.: Изд-во Первый ИППХ, 2021. С. 148–151. DOI: 10.24412/ci-36598-2021-1-148-151
- [7] Бочкова И.Ю. Цветоводство. Теория и практика. М.: Фитон XXI, 2022. 192 с.
- [8] Heims D., Ware G. *Heucheras* and *Heucherellas*. Portland, Cambridge: Timber Press, 2005, 208 p.
- [9] Исачкин А.В., Крючкова В.А., Шарафутдинов Х.В., Скакова А.Г. Декоративное садоводство с основами ландшафтного проектирования. М.: Инфра-М, 2016. 525 с.
- [10] Константинова Е.А. Цветники и садовые композиции. М.: Фитон+, 2010. 242 с.
- [11] Кузнецова Т.Н. Астильбы, гейхеры, хосты. Нижний Новгород: Слог, 2012. 110 с.
- [12] Титова Н.П. Цветники в вашем саду. М.: ОЛМА-ПРЕСС, 2001. 77 с.
- [13] Немченко Э.П. Многолетние цветы в саду. М.: Фитон+, 2001. 271 с.
- [14] Xu C., Guo H., Wang Zh., Chen Y. Development and comparative analysis of initiation ability in large-scale *Heuchera* propagation using tissue culture versus cuttings // *Scientific Reports*, 2023, v. 13, no. 1, p. 14785. DOI: 10.1038/s41598-023-42001-8
- [15] Ciobanu C., Corina C., Paula O. Tissue culture initiation and plant regeneration in *Heuchera* spp // *J. of Horticulture, Forestry and Biotechnology*, 2023, v. 27, no. 3, pp. 171–176.
- [16] Бутенко Р.Г. Биология клеток высших растений *in vitro* и биотехнология на их основе. М.: ФБК-ПРЕСС, 1999. 160 с.
- [17] Молканова О.И., Королева О.В., Стахеева Т.С., Крахмалева И.Л., Мелешук Е.А. Совершенствование технологии клонального микроразмножения ценных плодовых и ягодных культур для производственных условий // *Достижения науки и техники АПК*, 2018. Т. 32. № 9. С. 66–69. DOI: 10.24411/0235-2451-2018-10915
- [18] Murashige T., Skoog F. Arevised medium for rapid growth and bioassays with tobacco tissue cultures // *Physiol. Plant*, 1962, v. 15, no. 43, pp. 473–497.
- [19] Исачкин А.В., Крючкова В.А. Основы научных исследований в садоводстве. СПб.: Лань, 2020. 420 с.
- [20] Костин В.Н., Тишина Н.А. Статистические методы и модели. Оренбург: ОГУ, 2004. 138 с.
- [21] Van Staden J., Zazimalova E., George E.F. Plant growth regulators II: cytokinins, their analogues and antagonists // George E.F., Hall M.A., Klerk G.-J. D. *Plant Propagation by Tissue Culture: Vol. 1. The Background*. Dordrecht, The Netherlands: Springer, 2008, pp. 205–226.
- [22] Feng J., Shi Y., Yang S., Zuo J. Cytokinins // *Hormone metabolism and signaling in plants*. Eds. J. Li, Ch. Li, S.M. Smith. Elsevier, 2017, pp. 217–238.
- [23] Hosoki T., Kajino E. Shoot regeneration from petioles of coral bells (*Heuchera sanguinea* Engelm.) cultured *in vitro*, and subsequent planting and flowering *ex vitro* // *In Vitro Cellular & Developmental Biology – Plant*, 2003, v. 39, iss. 2, pp. 135–138. DOI: 10.1079/IVP2002363
- [24] Брель Н.Г., Фоменко Т.И., Чижик О.В., Козлова О.Н. Особенности роста гейхеры сортов 'Southern Comfort' и 'Obsidian' в культуре *in vitro* на различных вариантах питательной среды Murasige & Skoog // *Цветоводство: история, теория, практика: Материалы VII Междунар. науч. конф.*, Минск, 24–26 мая 2016 г. Минск: Конфидо, 2016. С. 352–354.
- [25] Nowakowska K., Bodych A., Latkowska M.J., Pacholczak A. The use of tissue cultures in the mass production of *Heuchera* 'Silver Scrolls'. *Annals of Warsaw University of Life Sciences–SGGW // Horticulture and Landscape Architecture*, 2020, no. 41, pp. 5–16. DOI: 10.22630/AHLA.2020.41.1
- [26] Abdalla N., El-Ramady H., Seliem M.K., El-Mahrouk M.E., Taha N., Bayoumi Y., Shalaby T.A., Dobránszki J. An academic and technical overview on plant micropropagation challenges // *Horticultrae*, 2022, v. 8, no. 8, p. 677. DOI: 10.3390/horticultrae8080677
- [27] Молканова О.И., Горбунов Ю.Н., Ширнина И.В., Егорова Д.А. Применение биотехнологических методов для сохранения генофонда редких видов растений // *Ботанический журнал*, 2020. Т. 105. № 6. С. 610–619. DOI: 10.31857/S0006813620030072.
- [28] Mitrofanova I.V., Lesnikova-Sedoshenko N.P., Chelombit S.V., Zhdanova I.V., Ivanova N.N., Mitrofanova O.V. The effect of plant growth regulators on the *in vitro* regeneration capacity in some horticultural crops and rare endangered plant species // *Acta Horticulturae*, 2022, no. 1339, pp. 181–190. DOI: 10.17660/ActaHortic.2022.1339.24
- [29] Saieyahgh H., Wiedow C., Bassett H., Pathirana R. Effect of cytokinins and sucrose concentration on the efficiency of micropropagation of 'Zes006' *Actinidia chinensis* var. *chinensis*, a red-fleshed kiwifruit cultivar // *Plant Cell*

- Tissue and Organ Culture, 2019. v. 138. pp. 1–10. DOI: 10.1007/s11240-019-01597-4
- [30] Kucharska D., Orlikowska T., Maciorowski R., Kunka M., Wójcik D., Pluta S. Application of meta-Topolin for improving micropropagation of gooseberry (*Ribes grossularia*) // *Scientia Horticulturae*, 2020, v. 272, p. 109529. DOI: 10.1016/j.scienta.2020.109529
- [31] Shekhawat M.S., Priyadharshini S., Jogam P., Kumar V., Manokari M. Meta-topolin and liquid medium enhanced *in vitro* regeneration in *Scaevola taccada* (Gaertn.) Roxb // *In Vitro Cellular & Developmental Biology – Plant*, 2021, v. 57, iss. 2, pp. 296–306. DOI: 10.1007/s11627-020-10156-y
- [32] Семенова Д.А., Крахмалева И.Л., Мишанова Е.В., Молканова О.И., Митрофанова И.В. Особенности регенерации перспективных сортов *Actinidia arguta* в культуре *in vitro* // *Таврический вестник аграрной науки*, 2023. № 1(33). С. 93–103. DOI: 10.5281/zenodo.7898485
- [33] Кухарчик Н.В., Кастрицкая М.С., Семенов С.Э., Колбаева Е.В., Красинская Т.А., Волосевич Н.Н., Соловей О.В., Змушко А.А., Божидай Т.Н., Рундя А.П., Малиновская А.М. Размножение плодовых и ягодных растений в культуре *in vitro*. Минск: Белорусская наука, 2016. 235 с.
- [34] Егорова Н.А., Коваленко М.С., Якимова О.В., Платонова Т.В. Развитие эксплантов Чабера горного на начальных этапах микроразмножения *in vitro* // *Бюллетень Государственного Никитского ботанического сада*, 2022. № 144. С. 82–87. DOI: 10.36305/0513-1634-2022-144-82-87
- [35] Тевфик А.Ш., Егорова Н.А. Влияние условий культивирования и гормонального состава питательной среды на микроразмножение *in vitro* тимьяна обыкновенного // *Таврический вестник аграрной науки*, 2019. № 1(17). С. 93–102. DOI: 10.33952/2542-0720-2019-1-17-93-102

Сведения об авторах

Мамаева Наталья Анатольевна — канд. биол. наук, ст. науч. сотр. лаборатории биотехнологии растений, ФГБУН «Главный ботанический сад им. Н.В. Цицина Российской академии наук» (ГБС РАН), mamaeva_n@list.ru

Крахмалева Ирина Леонидовна — мл. науч. сотр. лаборатории биотехнологии растений, ФГБУН «Главный ботанический сад им. Н.В. Цицина Российской академии наук» (ГБС РАН), seglory@bk.ru

Молканова Ольга Ивановна — канд. с.-х. наук, вед. науч. сотр., заведующий лабораторией биотехнологии растений, ФГБУН «Главный ботанический сад им. Н.В. Цицина Российской академии наук» (ГБС РАН), molkanova@mail.ru.

Поступила в редакцию 23.10.2023.

Одобрено после рецензирования 26.08.2024.

Принята к публикации 23.10.2024.

CLONAL MICROPROPAGATION OPTIMIZATION TECHNIQUE FOR GENERA *HEUCHERA* L. AND *×HEUCHERELLA* H.R.WEHRH. PROMISING FOR LANDSCAPING

N.A. Mamaeva, **I.L. Krakhmaleva**, **O.I. Molkanova**

Tsitsin Main Botanical Garden of Russian Academy of Sciences, 4, Botanicheskaya st., 127276, Moscow, Russia

mamaeva_n@list.ru

The results of a study on improving the technique of clonal micropropagation of cultivars *Heuchera* L. ('Autumn Leaves', 'Cherry Cola', 'Dew Drops', 'Marmalade') and *×Heucherella* H.R.Wehrh ('Art Deco', 'Golden Zebra', 'Solar Eclipse', 'Plum Cascade') are presented. A brief analysis of the qualitative and quantitative composition of the *in vitro* bank of representatives of the genera *Heuchera*, *×Heucherella* and *Tiarella* L. in the Laboratory of plant biotechnology of the MBG RAS is given. It was found that the influence of the concentration of 6-benzylaminopurine in the composition of the Murashige and Skoog nutrient medium on the quantitative characteristics of microrosettes in the structure of their general variability is dominant. With an increase in the concentration of 6-benzylaminopurine, a statistically significant increase in the multiplication rate was revealed in all cultivars studied in the experiment (with the exception of the cultivar 'Dew Drops'). The formation of a small number of large microrosettes on the Murashige and Skoog nutrient medium with the absence of growth regulators was noted. The highest frequency of spontaneous rhizogenesis on the specified nutrient medium was recorded in all studied cultivars. It has been shown that meta-Topoline is preferred (relative to thidiazuron) as a growth regulator, an alternative to 6-benzylaminopurine, affecting the quantitative and qualitative characteristics of microrosettes of model cultivars *Heuchera* and *×Heucherella*. The largest number of viable and well-developed microrosettes with a size of less than 1.0 cm, suitable for use at the multiplication stage, on a medium with the addition of thidiazuron, was recorded.

Keywords: *Heuchera*, *×Heucherella*, *in vitro* collection, morphogenesis, regenerative potential, landscaping

Suggested citation: Mamaeva N.A., Krakhmaleva I.L., Molkanova O.I. *Optimizatsiya metodiki klonal'nogo mikrorazmnozheniya predstaviteley rodov Heuchera L. i ×Heucherella H.R.Wehrh. perspektivnykh dlya ispol'zovaniya v ozelenenii* [Clonal micropropagation optimization technique for genera *Heuchera* L. and *×Heucherella* H.R.Wehrh. promising for landscaping]. *Lesnoy vestnik / Forestry Bulletin*, 2024, vol. 28, no. 6, pp. 52–63. DOI: 10.18698/2542-1468-2024-6-52-63

References

- [1] The world flora online, *Heuchera* L. Available at: <https://www.worldfloraonline.org/taxon/wfo-4000017800> (accessed 09.10.2023).
- [2] Royal Botanic Gardens, Kew. Plants of the world online, *Heuchera* L. Available at: <https://powo.science.kew.org/taxon/urn:lsid:ipni.org:names:30001424-2> (accessed 06.10.2024)
- [3] Liu L.X., Du Y.X., Folk R.A., Wang S.Y., Soltis D.E., Shang F.D., Li P. Plastome evolution in Saxifragaceae and multiple plastid capture events involving *Heuchera* and *Tiarella*. *Frontiers in Plant Science*, 2020, v. 11, pp. 361. DOI: 10.3389/fpls.2020.00361
- [4] Royal Botanic Gardens, Kew. Plants of the world online. *Tiarella* L. Available at: <https://powo.science.kew.org/taxon/urn:lsid:ipni.org:names:30002940-2> (accessed 06.10.2024).
- [5] Baranova O.G. *Predstaviteli semeystva Saxifragaceae v kolleksii «Al'piyskiye gorki» Botanicheskogo sada Petra Velikogo BIN RAN* [The representatives of the family Saxifragaceae in the collection «Alpine Slides» of the Peter the Great Botanical Garden of Komarov Botanical Institute of RAS]. *Problemy botaniki Yuzhnoy Sibiri i Mongolii* [Problems of Botany of South Siberia and Mongolia], 2023, v. 22, no. 1, pp. 26–30. DOI: 10.14258/pbssm.2023005
- [6] Sangulia A.N. *Tenevnoslivyye rasteniya v ekspozitsii Sukhumskogo botanicheskogo sada* [Shadow plants in the exposition of the Sukhumi Botanical Garden]. *Biologicheskoe raznoobrazie. Introduktsiya rasteniy: sb. nauch. st.* [Biological diversity. Plant introduction: Collection of scientific articles]. Saint Petersburg: Pervyy IPKh, 2021, pp. 148–151. DOI: 10.24412/cl-36598-2021-1-148–151.
- [7] Bochkova I.Yu. *Tsvetovodstvo. Teoriya i praktika* [Floriculture. Theory and practice]. Moscow: Phytion XXI, 2022, 192 p.
- [8] Heims D., Ware G. *Heucheras and Heucherellas*. Portland, Cambridge: Timber Press, 2005, 208 p.
- [9] Isachkin A.V., Kryuchkova V.A., Sharafutdinov Kh.V., Skakova A.G. *Dekorativnoe sadovodstvo s osnovami landshaftnogo proektirovaniya* [Ornamental gardening with the basics of landscape design]. Moscow: Infra-M, 2016, 525 p.
- [10] Konstantinova E.A. *Tsvetniki i sadovye kompozitsii* [Flower beds and garden compositions]. Moscow: Phytion+, 2010, 242 p.
- [11] Kuznetsova T.N. *Astil'by, geykhery, khosty* [Astilbes, geicheras, hostas]. Nizhny Novgorod: Slog, 2012, 110 p.
- [12] Titova N.P. *Tsvetniki v vashem sadu* [Flower beds in your garden]. Moscow: OLMA-PRESS, 2001, 77 p.
- [13] Nemchenko E.P. *Mnogoletnie tsvety v sadu* [Perennial flowers in the garden]. Moscow: Phytion+, 2001, 271 p.
- [14] Xu C., Guo H., Wang Zh., Chen Y. Development and comparative analysis of initiation ability in large-scale *Heuchera* propagation using tissue culture versus cuttings. *Scientific Reports*, 2023, v. 13, no. 1, p. 14785. DOI: 10.1038/s41598-023-42001-8
- [15] Ciobanu C., Corina C., Paula O. Tissue culture initiation and plant regeneration in *Heuchera* spp. *J. of Horticulture, Forestry and Biotechnology*, 2023, v. 27, no. 3, pp. 171–176.
- [16] Butenko R.G. *Biologiya kletok vysshikh rasteniy in vitro i biotekhnologiya na ikh osnove* [Biology of higher plant cells in vitro and biotechnology based on them]. Moscow: FBK-PRESS, 1999. 160 p.
- [17] Molkanova O.I., Koroleva O.V., Stakheeva T.S., Krakhmaleva I.L., Meleshchuk E.A. *Sovershenstvovanie tekhnologii klonal'nogo mikrorazmnozheniya tsennykh plodovykh i yagodnykh kul'tur dlya proizvodstvennykh usloviy* [Improvement of clonal micropropagation technology of valuable fruit and berry crops varieties for commercial conditions]. *Dostizheniya nauki i tekhniki APK* [Achievements of Science and Technology of AIC], 2018, v. 32, no. 9, pp. 66–69. DOI: 10.24411/0235-2451-2018-10915
- [18] Murashige T., Skoog F. Arevised medium for rapid growth and bioassays with tobacco tissue cultures. *Physiol. Plant*, 1962, v. 15, no. 43, pp. 473–497.
- [19] Isachkin A.V., Kryuchkova V.A. *Osnovy nauchnykh issledovaniy v sadovodstve* [Fundamentals of scientific research in horticulture]. St. Petersburg: Lan, 2020, 420 p.
- [20] Kostin V.N., Tishina N.A. *Statisticheskie metody i modeli* [Statistical methods and models]. Orenburg: OSU, 2004, 138 p. Available at: <https://www.studylib.ru> (accessed 03.09.2023).
- [21] Van Staden J., Zazimalova E., George E.F. Plant growth regulators II: cytokinins, their analogues and antagonists. In: George E.F., Hall M.A., Klerk G.-J. D. *Plant Propagation by Tissue Culture: Vol. 1. The Background*. Dordrecht, The Netherlands: Springer, 2008, pp. 205–226.
- [22] Feng J., Shi Y., Yang S., Zuo J. Cytokinins. *Hormone metabolism and signaling in plants*. Eds. J. Li, Ch. Li, S.M. Smith. Elsevier, 2017, pp. 217–238.
- [23] Hosoki T., Kajino E. Shoot regeneration from petioles of coral bells (*Heuchera sanguinea* Engelm.) cultured *in vitro*, and subsequent planting and flowering *ex vitro*. *In Vitro Cellular & Developmental Biology – Plant*, 2003. v. 39. iss. 2. pp. 135–138. DOI: 10.1079/IVP2002363
- [24] Brel' N.G., Fomenko T.I., Chizhik O.V., Kozlova O.N. *Osobennosti rosta geykhery sortov 'Southern Comfort' i 'Obsidian' v kul'ture in vitro na razlichnykh variantakh pitatel'noy sredy Murasige & Skoog* [The *in vitro* culture growth features of *Heuchera x hybrida* hort. cultivars ('Southern Comfort' and 'Obsidian') on the different variants of Murasige & Skoog medium]. *Tsvetovodstvo: istoriya, teoriya, praktika: mater. VII mezhdunarodnoy nauchnoy konferentsii* [Floriculture: history, theory, practice: proceedings of the VII international scientific conference], Minsk, May 24–26, 2016. Minsk: Confido, 2016, pp. 352–354.
- [25] Nowakowska K., Bodych A., Latkowska M.J., Pacholczak A. The use of tissue cultures in the mass production of *Heuchera* 'Silver Scrolls'. *Annals of Warsaw University of Life Sciences–SGGW. Horticulture and Landscape Architecture*, 2020, no. 41, pp. 5–16. DOI: 10.22630/AHLA.2020.41.1
- [26] Abdalla N., El-Ramady H., Seliem M.K., El-Mahrouk M.E., Taha N., Bayoumi Y., Shalaby T.A., Dobránszki J. An academic and technical overview on plant micropropagation challenges. *Horticulturae*, 2022, v. 8, no. 8, p. 677. DOI: 10.3390/horticulturae8080677
- [27] Molkanova O.I., Gorbunov Yu.N., Shirnina I.V., Egorova D.A. *Primenenie biotekhnologicheskikh metodov dlya sokhraneniya genofonda redkikh vidov rasteniy* [Use of biotechnological methods for conservation of gene pool of rare plant species]. *Botanicheskii zhurnal* [Botanical Journal], 2020, v. 105, no. 6, pp. 610–619. DOI: 10.31857/S0006813620030072

- [28] Mitrofanova I.V., Lesnikova-Sedoshenko N.P., Chelombit S.V., Zhdanova I.V., Ivanova N.N., Mitrofanova O.V. The effect of plant growth regulators on the *in vitro* regeneration capacity in some horticultural crops and rare endangered plant species // *Acta Horticulturae*, 2022, no. 1339, pp. 181–190. DOI: 10.17660/ActaHortic.2022.1339.24
- [29] Saeiahagh H., Wiedow C., Bassett H., Pathirana R. Effect of cytokinins and sucrose concentration on the efficiency of micropropagation of ‘Zes006’ *Actinidia chinensis* var. *chinensis*, a red-fleshed kiwifruit cultivar. *Plant Cell Tissue and Organ Culture*, 2019, v. 138, pp. 1–10. DOI: 10.1007/s11240-019-01597-4
- [30] Kucharska D., Orlikowska T., Maciorowski R., Kunka M., Wójcik D., Pluta S. Application of meta-Topolin for improving micropropagation of gooseberry (*Ribes grossularia*). *Scientia Horticulturae*, 2020, v. 272, p. 109529. DOI: 10.1016/j.scienta.2020.109529
- [31] Shekhawat M.S., Priyadharshini S., Jogam P., Kumar V., Manokari M. Meta-topolin and liquid medium enhanced *in vitro* regeneration in *Scaevola taccada* (Gaertn.) Roxb. *In Vitro Cellular & Developmental Biology - Plant*, 2021, v. 57, iss. 2, pp. 296–306. DOI: 10.1007/s11627-020-10156-y
- [32] Semenova D.A., Krakhmaleva I.L., Mishanova E.V., Molkanova O.I., Mitrofanova I.V. *Osobennosti regeneratsii perspektivnykh sortov Actinidia arguta v kul'ture in vitro* [Features of regeneration *in vitro* in promising *Actinidia arguta* cultivars]. *Tavricheskiy vestnik agrarnoy nauki* [Taurida herald of the agrarian sciences], 2023, no. 1(33), pp. 93–103. DOI: 10.5281/zenodo.7898485
- [33] Kukharchik N.V., Kastritskaya M.S., Semenas S.E., Kolbanova Ye.V., Krasinskaya T.A., Volosevich N.N., Solovey O.V., Zmushko A.A., Bozhiday T.N., Rundya A.P., Malinovskaya A.M. *Razmnozheniye plodovykh i yagodnykh rasteniy v kul'ture in vitro* [Reproduction of fruit and berry plants *in vitro* culture]. Minsk: Belorusskaya nauka, 2016, 235 p.
- [34] Yegorova N.A., Kovalenko M.S., Yakimova O.V., Platonova T.V. *Razvitiye eksplantov Chabera gornogo na nachal'nykh etapakh mikrorazmnozheniya in vitro* [Development of winter savory explants at the initial stages of *in vitro* micropropagation]. *Byulleten' gosudarstvennogo Nikitskogo botanicheskogo sada* [Bulletin of the State Nikitsky Botanical Gardens], 2022, no. 144, pp. 82–87. DOI: 10.36305/0513-1634-2022-144-82-87
- [35] Tefik A.Sh., Yegorova N.A. *Vliyaniye usloviy kul'tivirovaniya i gormonal'nogo sostava pitatel'noy sredy na mikrorazmnozheniye in vitro tim'yana obyknovennogo* [Influence of cultivation conditions and culture medium hormonal composition on the micropropagation of *Thymus vulgaris* L. *in vitro*]. *Tavricheskiy vestnik agrarnoy nauki* [Taurida Herald of the Agrarian Sciences], 2019, no. 1(17), pp. 93–102. DOI: 10.33952/2542-0720-2019-1-17-93-102

The work was carried out within the framework of the state assignment of GBS RAS (№12204270002-6).

Authors' information

Mamaeva Natal'ya Anatol'yevna  — Cand. Sci. (Biology), Senior researcher of Plant Biotechnology Laboratory, Tsitsin Main Botanical Garden of the Russian Academy of Sciences, mamaeva_n@list.ru

Krakhmaleva Irina Leonidovna — Junior researcher of Plant Biotechnology Laboratory, Tsitsin Main Botanical Garden of the Russian Academy of Sciences, seglory@bk.ru.

Molkanova Olga Ivanovna — Cand. Sci. (Agriculture), Leading researcher, Head of Plant Biotechnology Laboratory, Tsitsin Main Botanical Garden of the Russian Academy of Sciences, molkanova@mail.ru.

Received 23.10.2023.

Approved after review 26.08.2024.

Accepted for publication 23.10.2024.

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

АНАЛИЗ ЛАНДШАФТНОЙ ЦЕННОСТИ ПАРКА «СЯО ЦЗЮНЬ» В г. ЛИНХАЙ

У. Хайфэн^{1, 2✉}, Н.Г. Розломий¹

¹ФГБОУ ВО «Приморский государственный аграрно-технологический университет», Россия, 692510, Уссурийск, ул. Проспект Блюхера, д. 44

²Шэньянский технологический институт, Китайская Народная Республика, 113122, Фушунь, проспект Биньхэ лу дон дуан 1 хао

wuhaifeng1137@126.com

Приведены материалы исследования парка «Сяо Цзюнь» в городе Линхай. Проведено углубленное изучение структуры парка, исходя из литературных источников: топография, дороги, функциональные зоны и пространственная планировка. Представлен анкетный опрос по истории и культуре, ботаническим особенностям, культурному наследию, городскому ландшафту и другим направлениям парка. Сформулированы основные требования жителей к экологическому ландшафту: важной парковой части ландшафта, улучшении экологии в его пределах и, в частности, повышении его ценности, которые имеют существенное значение для дальнейшего развития и будут способствовать приобретению парком статуса образцового парка для проектирования подобных объектов.

Ключевые слова: парк «Сяо Цзюнь», ландшафтная ценность, пространственная планировка

Ссылка для цитирования: Хайфэн У., Розломий Н.Г. Анализ ландшафтной ценности парка «Сяо Цзюнь» в г. Линхай // Лесной вестник / Forestry Bulletin, 2024. Т. 28. № 6. С. 64–75.
DOI: 10.18698/2542-1468-2024-6-64-75

Городской парк — это открытое рекреационное пространство, важная часть общественного пространства города и символ городского процветания и цивилизации. Когда городской парк становится необходимой инфраструктурой и содержанием жизни населения, то оно использует шкалу для оценки уровня развития и прогресса города, становясь активным потребителем рекреационных услуг, предлагаемых городом [1–6]. Создание новых исторических и культурных объектов для города обеспечивает восприятие и понимание исторического и культурного наследия, развивает чувство патриотизма [8–13].

Культурный парк «Сяо Цзюнь» — это масштабный мемориальный историко-культурный парк, посвященный известному писателю Сяо Цзюню и направленный на широкое распространение его идеи сопротивления, демонстрирующей дух доблести и патриотизма, позитивности и самосовершенствования. Парк является туристической достопримечательностью, благодаря своим уникальным историческим и культурным особенностям, привлекает большое количество туристов.

Непоколебимый дух Сяо Цзюня служит примером для будущих поколений, заставляя людей стремиться к осуществлению своей мечты и продолжать двигаться вперед, не теряя при этом своей оригинальности.

Цель работы

Цель работы — проанализировать ландшафтную ценность парка «Сяо Цзюнь». На основании анкетного опроса жителей г. Линхай провести анализ топографии, дорог, функциональных зон, пространственной планировки парка, а также предложить планы по исправлению недостатков.

Объект исследования

Парк «Сяо Цзюнь» (рис. 1) — это крупномасштабный историко-культурный парк, сооруженный в честь войны сопротивления. Он включает в себя 37 живописных участков и состоит из трех основных частей: 1) тематическая часть; 2) мемориальная; 3) историческая (музей). Тематическая часть посвящена истории «Войны Сопротивления против японской агрессии» (1937–1945), здесь расположен Мавзолей мучеников Войны Сопротивления «Сяо Цзюнь», Свеча мучеников, Мемориал Воинского Сопротивления и др., объединившие священную память о трагическом времени.

Парк «Сяо Цзюнь», ранее известный как парк «Линхэ», был построен в 1985 г. [13] Его общая площадь составляет 8,09 км². Парк «Линхэ» был знаменит Комнатой материалов Сяо Цзюня, которая является старейшим архивом в Китае. После смерти Сяо Цзюня ее переименовали в Мемориальный зал Сяо Цзюнь. Работы закончились в 2000 г. В настоящее время это центр патриотического воспитания — здесь хранится 4085 культурных реликвий, в том числе 23 реликвии второго

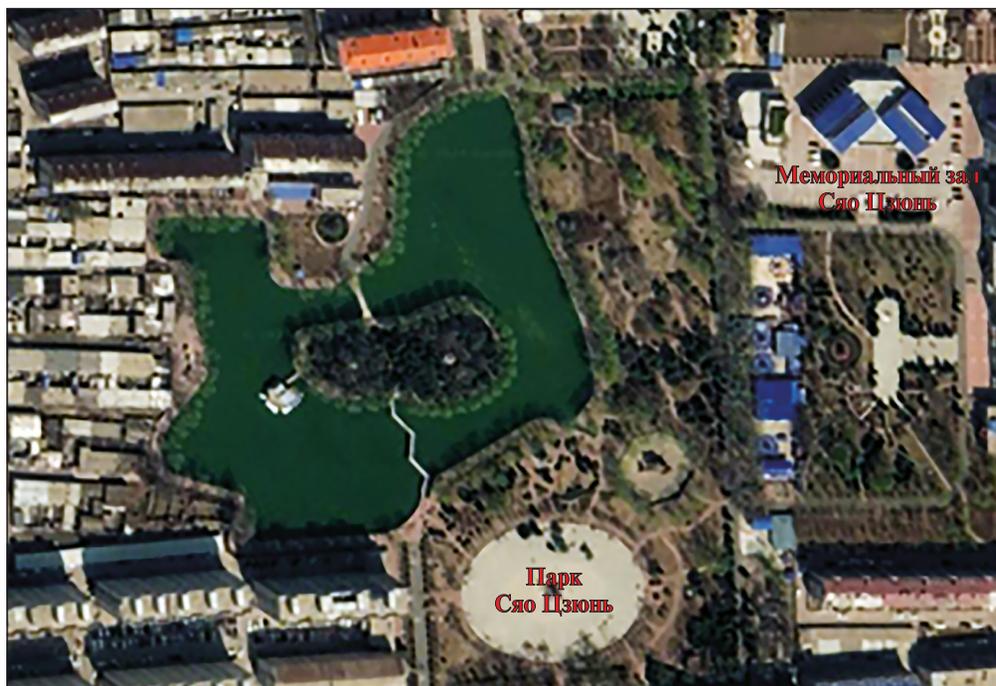


Рис. 1. Схема расположения парка «Сяо Цзюнь»
 Fig. 1. Location map of Xiao Jun Park

класса (то, что лично принадлежало Сяо Цзюню) и 282 реликвии третьего класса (предметы, к которым прикоснулся Сяо Цзюнь в течение жизни), представляющие высокую историко-культурную ценность.

Мемориальный зал Сяо Цзюнь — символическое здание с ярко выраженным литературным направлением. Он представляет собой культурный комплекс, сочетающий в себе выставочную деятельность, коллекционирование, научные исследования и туризм. Это тематический мемориальный зал, в котором всесторонне отражены жизненный путь, творческая судьба и образ знаменитого писателя Сяо Цзюня. В целях дальнейшего распространения идей Сяо Цзюня, в день его 100-летия было принято решение о реконструкции и расширении парка «Линхэ», а также о его переименовании в «Парк Сяо Цзюнь».

Городские парки в последнее время приобретают все большее значение. С течением времени они развиваются по различным направлениям, попутно видоизменяя окружающие условия [14]. Озеленение города имеет важное значение для улучшения городской среды и определения историко-культурных особенностей городской застройки [7, 9, 12, 15, 16]. Поэтому так возрос спрос на городские парки по количеству, размерам, качеству и даже доступности по сравнению с более ранним временем. Рекреантов не удовлетворяет обычный досуг, предоставляемый некоторыми городскими парками, поэтому решается задача их совершенствования по всем востребованным направлениям.

Озеленение городских пространств — прямое назначение городских парков, тем не менее исследования этого вопроса стали расширяться сравнительно недавно. К тому же разработка реальных программ строительства парков ограничена [14, 17–19]. После того как парки сдают в эксплуатацию, опрос жителей показывает, что есть еще много проблем, существовавших от начала процесса планирования, которые необходимо решить. В частности, это касается рационального и научного использования природных ресурсов в пределах городских парков, поскольку отсутствие подобных разработок может привести к снижению ценности ландшафта или неэффективности всего парка [5, 20–24].

Успешный городской парк не только должен отвечать комплексу требований по озеленению и экологии, но и, что важнее, иметь полномасштабное гуманистическое и историческое значение, быть источником улучшения влияния на общественный эстетический интерес и понимание жизни [18, 25–29]. В условиях растущей конкуренции общество постепенно привыкает к городской суете и напряженному ритму жизни, не позволяющим полноценно расслабиться в свободное время и удовлетворить свои разнообразные гуманистические и исторические потребности.

Методы исследования

При проведении исследований использовали полевые работы, метод анализа данных и обзор литературных источников.



Рис. 2. Мост через р. Яньшуй
Fig. 2. Bridge over the Yangshui River



Рис. 3. Статуя Сяо Цзюня
Fig. 3. Statue of Xiao Jun

Были изучены соответствующие литературные источники и архивные данные о районе Линхай, проанализированы данные о топографии и геоморфологии паркового ландшафта, садовых дорожках, функциональном зонировании, пространственной планировке, а также практические факты, подтверждающие ту или иную информацию. Кроме того, рассмотрели дополнительную литературу об истории парка, его ландшафтах, ботанических особенностях, культурном наследии и городском стиле, в том числе и интернет-сайты по изучаемой теме для получения необходимой информации.

Полевое исследование парка «Сяо Цзюнь» было письменно оформлено, реальные данные по топографии и геоморфологии каждого функционального подразделения парка, садовых дорог, функциональных подразделений и конфигурации пространственной планировки были зарегистрированы.

В анкетном интернет-опросе в качестве респондентов выступило население г. Линхай. Всего было отправлено 230 анкет. Ответы получены от 213 респондентов, из них 200 анкет оказались валидными, т. е. возврат составил 95 %, а фактический исследуемый материал — 92 %.



Рис. 4. Мемориальный зал Сяо Цзюня
Fig. 4. Xiao Jun Memorial Hall



Рис. 5. Гробница Сяо Цзюня
Fig. 5. Xiao Jun's tomb

Возрастное распределение участников анкетирования имело следующий вид: 15 % — до 14 лет включительно, 16 % — 15...24 года, 12 % — 25...44 года, 35 % — 45...54 года, 22 % — 55 лет и старше. По продолжительности проживания опрошенного населения в г. Линхай 69 % составили граждане, прожившие в городе более 10 лет, остальные 31 % — дети от 2 до 10 лет.

Данные, полученные в ходе полевых исследований и анкетного опроса, классифицированы и проанализированы. Комплексно они показали значение ландшафтов парка для населения ис-

ходя из условий пространственного размещения функциональных зон. Это свидетельствовало об осведомленности жителей в области охраны окружающей среды и их повышенной культуре, что может своеобразно повлиять на понимание ценности ландшафтов парка «Сяо Цзюнь».

Результаты и обсуждение

Парк «Сяо Цзюнь» включает в себя следующие объекты: искусственное озеро, статую Сяо Цзюня, Мемориальный зал Сяо Цзюня, гробницу Сяо Цзюня и мост через р. Яньшуй, а также аквапарк,



Рис. 6. Беседка
Fig. 6. Arbor



Рис. 7. Главный вход в парк
Fig. 7. The main entrance to the park

парк водных развлечений, парусную базу, парк Западного озера, ботанический сад, сад птиц и много других рекреационных локаций (рис. 2–7).

Площадь лесопосадок и участков озеленения парка достигает 200 га. Они начинаются от главного входа в северо-западном углу и продолжаются по всей территории, протягиваясь вдоль извилистой дороги, вокруг неглубокого и узкого водоема, который в центре парка образует небольшую водную зону, в которой сосредоточены разнообразные развлечения, что привлекает все больше и больше посетителей.

Площадь акватории сбалансирована с ландшафтами парка. С восточной стороны моста через реку расположены сооружения для занятий греблей на

лодках как для родителей, так для и детей, имеются небольшие моторные яхты. С западной стороны моста расположены места для ловли рыбы.

Основная функциональная зона парка «Сяо Цзюнь» ориентирована на практичность и декоративность. При планировании функционального зонирования необходимо учитывать потребности различных пользователей и проводить его детально и обоснованно. При этом следует учитывать комбинацию посадок растений, комплексно с учетом потребностей пользователей. Основные функциональные зоны парка «Сяо Цзюнь» включают в себя зоны активности (площадь), зоны отдыха, обзорные зоны и фитнес-зоны.



Рис. 8. Зонирование парка
Fig. 8. Park zoning

В зоне активности (площадь) граждане могут проводить различные мероприятия, например, занятия танцами. В медицинских пунктах предоставляется возможность измерить артериальное давление, в целях популяризации знаний о здоровом образе жизни среди населения [28, 29]. Подростки также могут кататься на скейтбордах и велосипедах.

У кромки воды в парке «Сяо Цзюнь» расположены скамейки и лавки, предназначенные для спокойного созерцания окружающих видов насаждений, в тени которых создаются благоприятные условия для летнего отдыха. В центре парка находится павильон, где пожилые люди могут поиграть в шахматы. Второй и третий этажи павильона приспособлены для обзора парка или укрытия от жары, а также могут использоваться как видовая площадка.

На площади установлены тренажеры. Здесь можно заниматься спортом. В зависимости от возрастных групп установки тренажеров имеют различную высоту, что обеспечивает безопасность посетителей.

Анализ пешеходных потоков в парке проводится по сети пешеходных дорожек парка и функциональному зонированию всей его территории. Маршруты пешеходов являются важной частью проекта. Анализ также позволяет понять наличие или отсутствие рациональности проекта дорожной сети и функционального зонирования парка, в частности, большого количества деревьев вдоль дорожек, для формирования участков, находящихся в тени. Парковые деревья с грубыми стволами и мощными ветвями обладают хорошими звукопоглощающими и шумоподавляющими свойствами, имеют значение живой изгороди.

При этом шум от автомобилей снижается на 10 дБ при ширине полосы 20...30 м. При фор-

мировании рощи длиной 40 м шум снижается на 10...15 дБ. В качестве декоративного оформления в парке устраивают цветочные клумбы. Городские жители предпочитают видеть цветники везде: и на обочинах дороги, и во внутренних пространствах. Создание широких площадей обеспечивает пешеходные потоки путями передвижения [32, 33], а разноуровневые зоны создают эффект уюта, декоративно разделяя крупные участки (рис. 8).

Растительность в парке «Сяо Цзюнь» распределена рассеяно, а по обе стороны от моста через реку плотнее. Северная сторона реки примыкает к главной дороге сада. Здесь для группы растений выбрано регулярное расположение: ивы по обеим сторонам главной аллеи, вяза и клены — вдоль берега, что создает у посетителей ощущение комфорта. В южной части водоема растут ивы и вязы. Основными объектами для обзора служат форма растений и смена окраски листвы по сезонам. На другом берегу — деревья и кустарники, но нет ни вечнозеленых деревьев, ни других декоративных растений, которые можно было бы наблюдать с противоположного берега зимой, хотя у воды произрастает много деревьев и кустарников, отделяющих аттракционы от воды, посадки слишком густые, они загораживают точки обзора. Растительность небольшого размера встречается, ее определено недостаточно (таблица).

Парк «Сяо Цзюнь» хорошо озеленен, отличается умеренным обилием видов растений. Наиболее распространенной растительной структурой парка является сочетание деревьев, кустарников и газонов, причем в качестве основных ландшафтных растений выступают деревья, доминируя в определении пространства, затенении, защите от бликов, регулировании климата и других

Анализ данных полевого исследования растений парка
Analysis of plant field survey data

Семейство	Род	Вид	Латинское название	Тип	Количество растений, шт.	Показатель роста
Ивовые	Ива	Ива извилистая	<i>Salix matsudana</i>	Лиственное дерево	192	Умеренный
		Ива ломкая	<i>Salix fragilis</i>	То же	187	Хороший
	Тополь	Тополь белый	<i>Populus tomentosa</i>	«—»	65	«—»
Вязовые	Вяз	Вяз приземистый	<i>Ulmus pumila</i>	«—»	43	«—»
Сапиндовые	Клен	Клен усеченный	<i>Acer truncatum</i>	«—»	75	Умеренный
Гиинкговые	Гинкго	Гинкго Билоба	<i>Ginkgo biloba</i>	«—»	64	«—»
Тутовые	Бруссонетия	Бруссонетия бумажная	<i>Broussonetia papyrifera</i>	«—»	58	Медленный
Розовые	Боярышник	Боярышник перистонадрезанный	<i>Crataegus pinnatifida</i>	«—»	28	Хороший
Бобовые	Стифнолобия	Софора японская	<i>Sophora japonica</i>	«—»	86	Умеренный
Розовые	Слива	Абрикос обыкновенный	<i>Armeniaca vulgaris</i>	«—»	32	«—»
Сосновые	Сосна	Сосна красная китайская	<i>Pinus tabulaeformis</i>	Вечнозеленое дерево	92	Хороший
	Ель	Ель широковетвистая	<i>Picea asperata</i>	«—»	68	«—»
	Сосна	Сосна Бунге	<i>Pinus bungeana</i>	Хвойное дерево	52	«—»
Мальвовые	Гибискус	Гибискус сирийский	<i>Hibiscus syriacus</i>	Широколиственный кустарник	102	Умеренный
Розовые	Шиповник	Роза Ксантина	<i>Rosa xanthina</i>	То же	98	Хороший
	Слива	Миндаль трехлопастный	<i>Amygdalus triloba</i>	«—»	109	«—»
Жимолостные	Жимолость	Жимолость Маака	<i>Lonicera maackii</i>	«—»	82	Умеренный
Масличные	Форзиция	Форзиция плакучая	<i>Forsythia suspensa</i>	«—»	126	«—»
Маслиновые	Сирень	Сирень широколистная	<i>Syringa oblata</i>	«—»	84	«—»
	Бирючина	Бирючина обыкновенная	<i>Ligustrum vicaryi</i>	«—»	39	«—»
Кипарисовые	Кипарис	Кипарис обыкновенный	<i>Cupressus Vulgalis</i>	Вечнозеленое дерево	57	«—»
Розовые	Шиповник	Роза китайская	<i>Rosa chinensis</i>	Цветущий кустарник	238	Хороший

функциональных и художественных решениях. Многие из них имеют богатые сезонные вариации цвета листьев, красивые формы кроны, связанные с ростом или опаданием листвы, а стволы не теряют красоту линии даже после увядания листвы. Посадка большого и разнообразного количества декоративных видов деревьев должна обеспечить трехсезонное цветение [30]. Особое внимание при подборе растений было уделено сочетанию медленно- и быстрорастущих деревьев в целях обеспечения долговременной декоративной ценности [34]. В парке «Сяо Цзюнь» растут в основном пихты, масличные сосны, ели и плакучие ивы. Под высокими деревьями для усиления

группы используют невысокие деревья или кустарники, низкорослые травянистые растения (рис. 9, 10). Многослойное сочетание растений хорошо организовано.

Полевое исследование парка «Сяо Цзюнь» выявило некоторые недостатки. В целях углубленного изучения был проведен анкетный опрос жителей г. Линхай, которые посещают парк. Анализ опроса показал недостаточное внимание к некоторым аспектам организации паркового ландшафта, хотя итоги анкетирования отразили удовлетворенность посетителей ландшафтом парка «Сяо Цзюнь». В частности, 42 жителя считают, что в парке недостаточно урн, т. е. 21 % общего числа



Рис. 9. Комбинация растений
Fig. 9. Plant combination



Рис. 10. Деревья вдоль берегов реки
Fig. 10. Trees along the river banks

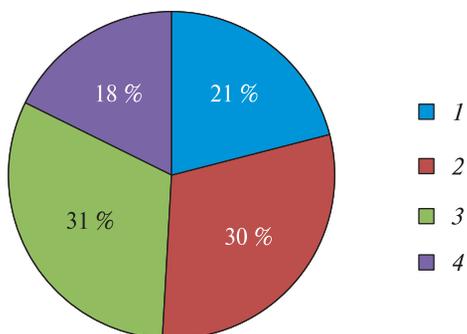


Рис. 11. Основные недостатки парка «Сяо Цзюнь», по мнению жителей г. Линхай
Fig. 11. The main disadvantages of Xiao Jun Park according to Linhai residents' opinion

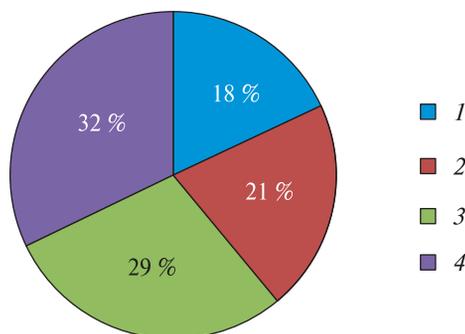


Рис. 12. Недостатки трафика парковых дорожек парка «Сяо Цзюнь» по результатам анкетирования населения г. Линхай
Fig. 12. Traffic disadvantages of Xiao Jun Park according to the results of the survey conducted by the residents of Linhai

опрошенных, 36 респондентов (18 %) — что осуществляемые в парке меры безопасности требуют усиления. Еще 60 жителей (30 %) отметили недостаточное затенение парка, 62 человека (31 %) считают, что в парке не хватает озелененных зон. Таким образом, парк не соответствует ожиданиям населения по указанным направлениям (рис. 11).

Также, были отмечены ответы респондентов о комфортности и парковых дорожках. Было выявлено недостаточное количество мест для отдыха и остановок — 64 человека (32 %). Еще 58 жителей (29 %) считают, что важно решить вопрос о линии пешеходного движения, которая способствует ходьбе по газонам и вызывает желание свернуть с дороги, 42 жителя считают необходимым обеспечить четкость в линиях, дорожках и установку указателей, из-за отсутствия которых в парке можно заблудиться. Данное мнение составляет 21 % общего числа опрошенных. 36 человек (18 %) считают слишком гладким покрытие парковых дорожек, на котором легко поскользнуться, а в дождливые дни можно упасть. Отсюда следует вывод о том, что парк на данном этапе не соответствует ожиданиям населения в плане комфортности (рис. 12).

Что касается, привлекательности ландшафтного дизайна для населения, опрос показал: 68 жителей города (34 %) назвали газон, 52 жителям (26 %) нравится ландшафтный дизайн павильонов, 26 опрошенных (13 %) выбрали бассейн как наиболее привлекательное украшение ландшафта. В целом жители г. Линхай предпочитают разнообразие сооружений и зон отдыха, на что следует обратить внимание дизайнеров и проектировщиков данного парка в области ценности ландшафтного дизайна в целях удовлетворения потребностей населения.

Выводы

Биолого-пространственная композиция парка «Сяо Цзюнь» спроектирована по принципу свободного и динамического построения, использовалось комплексное использование деревьев и кустарников, прямых плоскостей и водных поверхностей. Деревья и кустарники на территории парка имеют большое значение, но исходя из результата опроса населения г. Линхай, парк не отвечает ожиданиям посетителей по разным направлениям парка. Парк вписывается окружающую природу, архитектурные элементы и насаждения неразрывно были связаны между собой как планировочно, так и пространственно [35]. Все виды деревьев и кустарников дополняют объемно-пространственную композицию архитектурных элементов, но администрации г. Линхай необходимо использовать результаты проведенного исследования с целью оптимизации функционирования парка.

Благодарности

Авторы выражают искреннюю признательность и благодарность Би Чуньхэй, студенту Шэньянского технологического института, за оказанную в исследованиях помощь, сбор фактического материала и содействие в его обработке.

Список литературы

- [1] Авдеева Е.В., Вагнер Е.А., Надемянов В.Ф., Шмарин Н.В. Городские скверы — их роль в озеленении городов (на примере исторического развития, обеспеченности и состояния скверов г. Красноярск) // Хвойные бореальной зоны, 2016. Т. 34. № 1–2. С. 7–15.
- [2] Авдеев Ю.М., Попов Ю.П. Эколого-эстетическая оценка скверов города // Novauum.ru, 2017. № 8. С. 3–7.
- [3] Асылгараева Л.Н., Шарафутдинова А.В. Актуальные задачи при организации парков и скверов // Наследие В.И. Вернадского и современные проблемы экологии, 2022. № 1. С. 33–39.
- [4] Бао Ш. Исследование конфигурации растений в комплексном парке Уланхот. Хух-Хото: Изд-во Сельскохозяйственного университета Внутренней Монголии, 2014. С. 203–205.
- [5] Ван Д. Исследование реконструкции прибрежного парка города Уцзяцой с точки зрения паркового города. Урумчи: Изд-во Синьцзянского сельскохозяйственного университета, 2022. С. 116–117.
- [6] Гао Н., Фу С. Краткий анализ озеленения центральной изолирующей полосы шоссе // Современное садоводство, 2018. № 70. С. 138–139.
- [7] Го Ч. Исследование по проектированию безбарьерных объектов в городском парке Шэньяна // Western Leather, 2020. № 5. С. 122–123.
- [8] Горобченко И.Б., Карташова Н.П. Особенности исследований территорий скверов // Наука и практика. Сборник статей I Междунар. науч.-практ. конф., Ставрополь, 14 сентября 2017 г. Ставрополь: Изд-во Центра научного знания «Логос», 2017. С. 32–36.
- [9] Карташова Н.П. Архитектурно-планировочная композиция сквера // Единый всероссийский научный вестник, 2016. № 3–2. С. 10–12.
- [10] Жукова Е.О., Козловский Б.Л., Паршин В.Г. Оценка состояния зеленых насаждений парков, садов и скверов города Ростова-на-Дону // Вестник ИргСХА, 2011. № 44–5. С. 34–40.
- [11] Зотова Н.А., Блонская Л.Н. Ландшафтно-экологическая оценка скверов Кировского района г. Уфы // Актуальные проблемы лесного комплекса, 2010. № 25. С. 145–148.
- [12] Колесниченко Ю.А., Храпач В.В. Озеленение как способ создания комфортной среды на примере проекта сквера в малом населенном пункте // Новости науки в АПК, 2019. №1–2(12). С. 132–137.
- [13] Лай Ц. Исследование комплексного обновления городских парков и планирования строительства на примере парка Ташань // Архитектура провинции Фуцзянь, 2020. № 11. С. 33–35.
- [14] Лепехова М.С. Сквер как часть системы городского озеленения // Евразийский союз ученых, 2014. № 8–8. С. 158–159.
- [15] Ли Я., Цзинь Я. Краткий анализ развития городских парков в стране и за рубежом // Мода завтрашнего дня, 2018. № 9. С. 352.
- [16] Лу Л. Краткий анализ состояния развития и тенденций технологического развития садового ландшафтного дизайна в стране и за рубежом // Вестник науки и технологий, 2019. № 12. С. 146–147.

- [17] Лю Ш. Обсуждение проектирования садовых дорог при планировании ландшафтной архитектуры // Сельское хозяйство и технологии, 2019. № 3. С. 163–165.
- [18] Львова К.Н. Городской сквер: проблемы ландшафтной организации в свете современных тенденций // Инженерные кадры — будущее инновационной экономики России, 2018. № 2. С. 71–74.
- [19] Мельникова И.М., Мельникова О.М., Скок А.В. Анализ состояния и перспективы использования хвойных насаждений в озеленении населенных мест // Интеграционные взаимодействия молодых ученых в развитии аграрной науки: Материалы Национальной науч.-практ. конф. молодых ученых, Ижевск, 4–5 декабря 2019 г. Ижевск: Изд-во Ижевской государственной сельскохозяйственной академии, 2020. С. 288–292.
- [20] Основные положения проектирования генплана городского сквера. Казань: Изд-во КГАСУ, 2016. 25 с.
- [21] Прохорова М.И. Городской сквер. Главное управление по планировке и застройке городов и поселков Комитета по делам архитектуры при Совете министров СССР. М.: Государственное архитектурное издательство, 1946. 60 с.
- [22] Потапова Е.В. Классификация озелененных территорий поселений // Успехи современного естествознания, 2016. № 9. С. 72–76.
- [23] Рен А.И. Обсуждение конфигурации растений в парках // Современное садоводство, 2016. № 14. С. 53–54.
- [24] Коляда А.С., Белов А.Н., Розломий Н.Г., Берсенева С.А. Сквер как ландшафтно-архитектурная территория рекреационно-функционального назначения на территории города Уссурийска Приморского края // Лесной вестник / Forestry Bulletin, 2022. Т. 26. № 4. С. 73–80. DOI: 10.18698/2542-1468-2022-4-73-80
- [25] Сюй Ц. Анализ американской городской парковой культуры на примере Центрального парка Нью-Йорка // Журнал Ляньюньганского профессионально-технического колледжа, 2019. № 54. С. 58–62.
- [26] Таран С.С. Ландшафтное проектирование. Новочеркасск: Изд-во Новочеркасского инженерно-мелиоративного института им. А.К. Кортунова, 2014. 206 с.
- [27] Теодоронский В.С., Боговая И.О. Объекты ландшафтной архитектуры. М.: МГУЛ, 2006. 330 с.
- [28] Цзяо С., Сунь И., Чжоу С. Исследование и анализ конфигурации растений в городских парках Чжэнчжоу // Сельскохозяйственная наука и технологические коммуникации, 2016. № 2. С. 229–232.
- [29] Цуй Ц. Пространственная планировка зеленых дорожек в Шэньяне и стратегии совместного развития зеленых дорожек и досуга // Шэньянский кадровый журнал, 2018. № 2. С. 59–62.
- [30] Чжао Ю., Ма Ш. Исследование и анализ дорожных растений к западу от Центрального экологического парка города Таншань Наньху // Современное садоводство, 2020. Т. 43. № 13. С. 22–24.
- [31] Чжоу Л. Исследование сезонной конфигурации структур парковых растений // Современное садоводство, 2016. № 7. С. 95–97.
- [32] Ши Ю. Краткий анализ методов конфигурации растений в парках // Современное садоводство, 2018. № 02. С. 75.
- [33] Standley L.A. The Plants of Baxter State Park // New England Botanical Club, 2017, v. 119, no. 979, pp. 73–75.
- [34] Tiwari A.P., Magesh C.R., Rizvi N. Flowering Plants of Ghughua Fossil Park, Madhya Pradesh, India // Marsland Press, 2017, v. 10, no. 10, pp. 54–56.
- [35] Zhang Y., He J. Problems and Suggestions on the Application of Garden Plants in Nanchang Bayi Park // Scholink Inc., 2018, v. 3, no. 1, pp. 34–36.

Сведения об авторах

Хайфэн У. — аспирант Института лесного и лесопаркового хозяйства, ФГБОУ ВО «Приморский государственный аграрно-технологический университет»; Шэньянский технологический институт, wuhaifeng1137@126.com

Розломий Наталья Геннадьевна — канд. биол. наук, доцент Института лесного и лесопаркового хозяйства, ФГБОУ ВО «Приморский государственный аграрно-технологический университет», boss.shino@mail.ru

Поступила в редакцию 05.12.2023.

Одобрено после рецензирования 26.12.2023.

Принята к публикации 16.10.2024.

LANDSCAPE VALUE ANALYSIS OF XIAO JUN PARK IN LINHAI CITY

U. Khayfen^{1,2✉}, N.G. Rozlomiya¹

¹Primorsk State Agricultural Technical University, 44, Bluchera Avenue st., 692510, Ussuriisk, Russia

²School of Life Engineering, Shenyang Institute of Technology, 1 hao, Binhe lu Dong duan Avenue, 113122, Fushun, China

wuhaifeng1137@126.com

The materials of the research of the Xiao Jun Park in Linhai city are presented. An in-depth study of the park's structure was conducted based on literary sources: topography, roads, functional zones and spatial layout. A questionnaire survey on the history and culture, botanical features, cultural heritage, urban landscape and other areas of the park is presented. The basic requirements of residents for the ecological landscape are formulated: an important park part of the landscape, improving the ecology within it and, in particular, increasing its value, which are essential for further development and will contribute to the park's acquisition of the status of an exemplary park for the design of such facilities.

Keywords: Xiao Jun Park, landscape value, spatial layout

Suggested citation: Khayfen U., Rozlomiya N.G. *Analiz landshaftnoy tsennosti parka «Syao Tsyun'» v g. Linkhay* [Landscape value analysis of Xiao Jun Park in Linhai city]. *Lesnoy vestnik / Forestry Bulletin*, 2024, vol. 28, no. 6, pp. 64–75. DOI: 10.18698/2542-1468-2024-6-64-75

References

- [1] Avdeeva E.V., Vagner E.A., Nademyanov V.F., Shmarin N.V. *Gorodskie skveryy — ikh rol' v ozelenenii gorodov (na primere istoricheskogo razvitiya, obespechennosti i sostoyaniya skverov g. Krasnoyarska)* [City squares — their role in greening cities (on the example of historical development, provision and condition of squares in Krasnoyarsk)]. *Khvoynye boreal'noy zony* [Conifers of the boreal zone], 2016, v. XXXIV, no. 1–2, pp. 7–15.
- [2] Avdeev Yu.M., Popov Yu.P. *Ekologo-esteticheskaya otsenka skverov goroda* [Ecological and aesthetic assessment of city squares]. *NovaUm.Ru*, 2017, no. 8, pp. 3–7.
- [3] Asylgaraeva L.N., Sharafutdinova A.V. *Aktual'nye zadachi pri organizatsii parkov i skverov* [Actual tasks in organizing parks and squares]. *Nasledie V.I. Vernadskogo i sovremennyye problemy ekologii* [The legacy of V.I. Vernadsky and modern problems of ecology], 2022, no. 1, pp. 33–39.
- [4] Bao Sh. *Issledovanie konfiguratsii rasteniy v kompleksnom parke Ulankhot* [Research on Plant Configuration in Ulanhot Comprehensive Park]. Hohhot: Inner Mongolia Agricultural University, 2014, pp. 203–205.
- [5] Van D. *Issledovanie rekonstruktsii pribrezhnogo parka goroda Utszyatsyuy s tochki zreniya parkovogo goroda* [Research on the Reconstruction of Wujiaqu City Coastal Park from the Perspective of Park City]. Urumqi: Xinjiang Agricultural University, 2022, pp. 116–117.
- [6] Gao N., Fu S. *Kratkiy analiz ozeleneniya tsentral'noy izoliruyushchey polosy shosse* [Brief Analysis on the Greening of the Central Isolation Strip of the Highway]. *Sovremennoe sadovodstvo* [Modern Horticulture], 2018, no. 70, pp. 138–139.
- [7] Go Ch. *Issledovanie po proektirovaniyu bezbar'ernykh ob'ektov v gorodskom parke Shen'yana* [Research on the Design of Barrier-Free Facilities in Shenyang City Park]. *Western Leather*, 2020, no. 5, pp. 122–123.
- [8] Gorobchenko I.B., Kartashova N.P. *Osobennosti issledovaniy territoriy skverov* [Features of the study of the territories of public gardens]. *Nauka i praktika. Sbornik statey I Mezhdunarodnoy nauch.-prakt. konfer., Stavropol'* [Science and Practice. Collection of articles of the I International scientific-practical conference], Stavropol, September 14, 2017. Stavropol: Scientific Knowledge Center «Logos», 2017, pp. 32–36.
- [9] Kartashova N.P. *Arkhitekturno-planirovochnaya kompozitsiya skvera* [Architectural and planning composition of the public garden]. *Edinyy vserossiyskiy nauchnyy vestnik* [Unified All-Russian Scientific Bulletin], 2016, no. 3–2, pp. 10–12.
- [10] Zhukova E.O., Kozlovskiy B.L., Parshin V.G. *Otsenka sostoyaniya zelenykh nasazhdeniy parkov, sadov i skverov goroda Rostova-na-Donu* [Assessment of the state of green spaces of parks, gardens and public gardens of the city of Rostov-on-Don]. *Vestnik IrGSKhA* [Bulletin of the Irkutsk State Agricultural Academy], 2011, no. 44–5, pp. 34–40.
- [11] Zotova N.A., Blonskaya L.N. *Landshafino-ekologicheskaya otsenka skverov Kirovskogo rayona g. Ufy* [Landscape and ecological assessment of public gardens in the Kirovsky district of Ufa]. *Aktual'nye problemy lesnogo kompleksa* [Actual problems of the forest complex], 2010, no. 25, pp. 145–148.
- [12] Kolesnichenko Yu.A., Khrapach V.V. *Ozelenenie, kak sposob sozdaniya komfortnoy sredy, na primere proekta skvera v malom naselennom punkte* [Greening as a way to create a comfortable environment, using the example of a public garden project in a small town]. *Novosti nauki v APK* [Science news in the agro-industrial complex], 2019, no. 1–2 (12), pp. 132–137.
- [13] Lay Ts. *Issledovanie kompleksnogo obnovleniya gorodskikh parkov i planirovaniya stroitel'stva na primere parka Tashan'* [Study of comprehensive renewal of urban parks and construction planning using the example of Tashan Park]. *Arkhitektura provintsii Futszyan'* [Architecture of Fujian Province], 2020, no. 11, pp. 33–35.
- [14] Lepekhova M.S. *Skver kak chast' sistemy gorodskogo ozeleneniya* [Public garden as part of the urban greening system]. *Evraziyskiy soyuz uchenykh* [Eurasian Union of Scientists], 2014, no. 8–8, pp. 158–159.
- [15] Li Ya., Tszin' Ya. *Kratkiy analiz razvitiya gorodskikh parkov v strane i za rubezhom* [Brief analysis of the development of urban parks in the country and abroad]. *Moda zavtrashnego dnya* [Fashion of tomorrow], 2018, no. 9, p. 352.
- [16] Lu L. *Kratkiy analiz sostoyaniya razvitiya i tendentsiy tekhnologicheskogo razvitiya sadovogo landshaftnogo dizayna v strane i za rubezhom* [Brief analysis of the state of development and trends in technological development of garden landscape design in the country and abroad]. *Vestnik nauki i tekhnologii* [Bulletin of Science and Technology], 2019, no. 12, pp. 146–147.
- [17] Lyu Sh. *Obsuzhdenie proektirovaniya sadovykh dorog pri planirovanii landshaftnoy arkhitektury* [Discussion of the design of garden roads when planning landscape architecture]. *Sel'skoe khozyaystvo i tekhnologii* [Agriculture and Technology], 2019, no. 03, pp. 163–165.
- [18] L'vova K.N. *Gorodskoy skver: problemy landshaftnoy organizatsii v svete sovremennykh tendentsiy* [City square: problems of landscape organization in light of modern trends]. *Inzhenernye kadry — budushchee innovatsionnoy ekonomiki Rossii* [Engineering personnel — the future of the innovative economy of Russia], 2018, no. 2, pp. 71–74.
- [19] Mel'nikova I.M., Mel'nikova O.M., Skok A.V. *Analiz sostoyaniya i perspektivy ispol'zovaniya khvoynykh nasazhdeniy v ozelenenii naselennykh mest* [Analysis of the state and prospects for the use of coniferous plantings in landscaping populated areas]. *Integratsionnye vzaimodeystviya molodykh uchenykh v razvitiy agrarnoy nauki: mater. Natsional'noy nauch.-prakt. konferentsii molodykh uchenykh* [Integration interactions of young scientists in the development of agricultural science: Proc. of the National Scientific and Practical Conference of Young Scientists], Izhevsk, December 4–5, 2019. Izhevsk: Publishing House of the Izhevsk State Agricultural Academy, 2020, pp. 288–292.
- [20] *Osnovnye polozheniya proektirovaniya genplana gorodskogo skvera* [Basic provisions for designing the general plan of the city square]. Kazan: Ksuace, 2016, 25 p.
- [21] Prokhorova M.I. *Gorodskoy skver: Glavnoe upravlenie po planirovke i zastroyke gorodov i poselkov Komiteta po delam arkhitektury pri Sovete ministrov SSSR* [City square. Main Directorate for Planning and Development of Cities and Towns of the Committee for Architecture under the Council of Ministers of the USSR]. Moscow: State Architectural Publishing House, 1946, 60 p.
- [22] Potapova E.V. *Klassifikatsiya ozelenennykh territoriy poseleniy* [Classification of green areas of settlements]. *Uspekhi sovremennogo estestvoznaniya* [Advances in modern natural science], 2016, no. 9, pp. 72–76.
- [23] Ren A.I. *Obsuzhdenie konfiguratsii rasteniy v parkakh* [Discussion of plant configuration in parks]. *Sovremennoe sadovodstvo* [Modern gardening], 2016, no. 14, pp. 53–54.

- [24] Kolyada A.S., Belov A.N., Rozlomy N.G., Berseneva S.A. *Skver kak landshaftno-arkhitekturnaya territoriya rekreatsionno-funktsional'nogo naznacheniya na territorii goroda Ussuriyska Primorskogo kraya* [Garden square as landscape-architectural territory of recreational and functional purpose in city of Ussuriisk, Primorsky Krai]. *Lesnoy vestnik / Forestry Bulletin*, 2022, vol. 26, no. 4, pp. 73–80. DOI: 10.18698/2542-1468-2022-4-73-80
- [25] Syuy Ts. *Analiz amerikanskoy gorodskoy parkovoy kul'tury na primere Tsentral'nogo parka N'yu-Yorka* [Analysis of American urban park culture on the example of Central Park in New York]. *Zhurnal Lyan'yun'ganskogo professional'no-tekhnicheskogo kolledzha* [J. of Lianyungang Vocational and Technical College], 2019, no. 54, pp. 58–62.
- [26] Taran S.S. *Landshaftnoe proektirovanie* [Landscape design]. Novocherkassk: Novocherkassk State Reclamation Academy, 2014, 206 p.
- [27] Teodoronskiy V.S., Bogovaya I.O. *Ob'ekty landshaftnoy arkhitektury* [Objects of landscape architecture]. Moscow: Moscow State University of Forestry, 2006, 330 p.
- [28] Tszyao S., Sun' I., Chzhou S. *Issledovanie i analiz konfiguratsii rasteniy v gorodskikh parkakh Chzhenchzhou* [Research and analysis of plant configuration in urban parks in Zhengzhou]. *Sel'skokhozyaystvennaya nauka i tekhnologicheskie kommunikatsii* [Agricultural Science and Technology Communications], 2016, no. 2, pp. 229–232.
- [29] Tsuy Ts. *Prostranstvennaya planirovka zelenykh dorozhek v Shen'yane i strategii sovmejnogo razvitiya zelenykh dorozhek i dosuga* [Spatial planning of greenways in Shenyang and strategies for the joint development of greenways and leisure]. *Shen'yanskiy kadrovyy zhurnal* [Shenyang Personnel J.], 2018, no. 2, pp. 59–62.
- [30] Chzhao Yu., Ma Sh. *Issledovanie i analiz dorozhnykh rasteniy k zapadu ot Tsentral'nogo ekologicheskogo parka goroda Tanshan 'Nan'khu* [Research and analysis of road plants to the west of Tangshan Nanhu Central Ecological Park]. *Sovremennoe sadovodstvo* [Modern horticulture], 2020, v. 43, no. 13, pp. 22–24.
- [31] Chzhou L. *Issledovanie sezonnoy konfiguratsii struktur parkovykh rasteniy* [Research on the seasonal configuration of park plant structures]. *Sovremennoe sadovodstvo* [Modern horticulture], 2016, no. 7, pp. 95–97.
- [32] Shi Yu. *Kratkiy analiz metodov konfiguratsii rasteniy v parkakh* [Brief analysis of plant configuration methods in parks]. *Sovremennoe sadovodstvo* [Modern horticulture], 2018, no. 02, p. 75.
- [33] Standley L.A. *The Plants of Baxter State Park*. New England Botanical Club, 2017, v. 119, no. 979, pp. 73–75.
- [34] Tiwari A.P., Magesh C.R., Rizvi N. *Flowering Plants of Ghughua Fossil Park, Madhya Pradesh, India*. Marsland Press, 2017, v. 10, no. 10, pp. 54–56.
- [35] Zhang Y., He J. *Problems and Suggestions on the Application of Garden Plants in Nanchang Bayi Park*. Scholink Inc., 2018, v. 3, no. 1, pp. 34–36.

Acknowledgments

Authors express their sincere appreciation and gratitude to Bi Chunhei, a student of Shenyang Institute of Technology, for providing research assistance, collecting factual material and facilitating its processing.

This work was supported by Shenyang Institute of Technology, 2022 Science and education integration young backbone teacher research fund project .Project Name: Research on the pathogenic mechanism of Beauveria bassiana to Monochamus saltuarius Gebler. Project Number: QN202202.Achievements of Research Fund for Young Backbone Teachers of Shenyang Institute of Technology.

Authors' information

Khayfen U. ✉ — pg. of Shenyang Institute of Technology, wuhafeng1137@126.com

Rozlomiya Natal'ya Gennad'evna — Cand. Sci. (Biology), Associate Professor of the Institute of Forestry and Forest-Park Economy, Primorsk State Agricultural Technical University, boss.shino@mail.ru

Received 05.12.2023.

Approved after review 06.12.2023.

Accepted for publication 16.10.2024.

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.

VI. НЕЦЕЛЛЮЛОЗНЫЕ ПРОДУКТЫ ДЕЛИГНИФИКАЦИИ ДРЕВЕСИНЫ КАК ИСТОЧНИК ЭНЕРГИИ И СЫРЬЯ ДЛЯ ХИМИЧЕСКОЙ ПЕРЕРАБОТКИ

Г.Н. Кононов, А.Н. Иванкин✉, Ю.В. Сердюкова, В.А. Петухов

ФГБОУ ВО «Московский государственный технический университет имени Н.Э. Баумана (национальный исследовательский университет)» (Мытищинский филиал), Россия, 141005, Московская обл., г. Мытищи, ул. 1-я Институтская, д. 1

aivankin@inbox.ru

Приведены материалы по истории изучения и использования нецеллюлозных продуктов делигнификации древесины щелочными и сульфитными методами с использованием веществ, содержащихся в отработанных щелоках и газовых сдувках и образующихся в процессах делигнификации древесины. Подробно описаны процессы регенерации щелоков натронного и сульфатного методов делигнификации и их аппаратное оформление, сформированное на исторических этапах развития. Рассмотрены методы применения побочных продуктов щелочной делигнификации, не используемых в качестве энергоносителей в процессах регенерации щелоков, а также всего комплекса соединений, образующихся при сульфитной делигнификации с использованием химических и биохимических способов переработки на историческом фоне развития химической технологии древесины. Настоящая статья является шестой в цикле «Древесина как химическое сырье. История и современность» (части I–V опубликованы в журнале «Лесной вестник» / Forestry Bulletin, 2020. Т. 24, № 1 и № 5; 2021. Т. 25, № 1, № 3, № 5).

Ключевые слова: щелока, регенерация, щелочной лигнин, лигносульфонаты

Ссылка для цитирования: Кононов Г.Н., Иванкин А.Н., Сердюкова Ю.В., Петухов В.А. Древесина как химическое сырье. История и современность. VI. Нецеллюлозные продукты делигнификации древесины как источник энергии и сырья для химической переработки // Лесной вестник / Forestry Bulletin, 2024. Т. 28. № 6. С. 76–103. DOI: 10.18698/2542-1468-2024-6-76-103

«В химии нет отходов, а есть неиспользованное сырье»
Д.И. Менделеев

Древесина является важнейшим возобновляемым сырьевым источником, который используется, прежде всего, для получения необходимой целлюлозы [1, 2]. Для этого осуществляют делигнификацию, позволяющую отделять лигнин [3, 4]. Основными продуктами промышленной делигнификации древесины являются «технические целлюлозы» [5, 6]. Наряду с ними образуются большое разнообразие побочных продуктов, включающих в себя более половины исходной массы древесины и содержащихся в жидких отработанных щелоках (черных — сульфатных, натронных и сульфитных; оранжевом — полисульфидном, красном — бисульфитном и т. д.), а также газовых сдувках, осуществляемых в процессе делигнификации древесины [7–9].

В некоторых случаях продукты, содержащиеся в них, используются в качестве энергоносителей и материалов для регенерации исходных ингредиентов делигнификации, а иногда в качестве сырья для химической и биохимической переработки [10, 11].

Количество образующихся органических веществ, переходящих из древесины в отработанные делигнификационные щелока, составляет от 650 до 1100 кг на 1000 кг воздушно-сухой целлюлозы (880 кг абсолютно сухой), а в газовых выбросах сдувок содержится много ценных легколетучих компонентов [8].

Большое количество побочных продуктов делигнификации необходимо перерабатывать, используя комплексные технологии.

Цель работы

Цель работы — рассмотрение методов энергохимической переработки побочных продуктов делигнификации древесины для регенерации исходных химикатов и получения целевых продуктов в историческом аспекте развития технологий.

Регенерация щелоков щелочной делигнификации древесины

В первоначальный исторический период получения волокнистых полуфабрикатов путем щелочной варки соломы, а впоследствии и древесины,

отработанные щелока считались отходами и не утилизировались. Только начиная с 1853 г. после получения Ваттом и Бургесом патента на способ натронной варки древесины с последующей регенерацией щелочи, отработанные щелока в течение почти 100 лет, использовались для регенерации исходных ингредиентов делигнификации путем предварительного выпаривания и сжигания в аппаратах различной конструкции. Для сгущения разбавленных щелоков с концентрацией 10 %, поступающих из варочных котлов, использовали установленные последовательно большие открытые выпарные сковороды, в которых проводилось кальцинирование и плавление сухого остатка в пламенных печах, снабженных колосниковыми топками [4].

В дальнейшем на смену этим установкам пришли дисковые испарители Эндерлейна, Пориона, Карлсона-Уэрна и др., в которых использовалось тепло дымовых газов, позволяющих упаривать щелока до 30...35%-й концентрации с производительностью до 200 т щелоков в сутки [12].

Впоследствии эти установки были заменены выпарными аппаратами, работающими под вакуумом и соединенными в многокорпусные выпарные станции. По своей конструкции выпарные аппараты разделились на аппараты с вертикальным и горизонтальным расположением трубок, а по способу работы — на аппараты по выпариванию щелока в толстом (погружного типа) и тонком (пленочного типа) слоях. К наиболее старым аппаратам погружного типа, работающим с большим количеством щелока, относится аппарат Роберта — Адерса с вертикальными трубками (рис. 1) и аппарат Заремба с горизонтальными трубками (рис. 2).

На смену указанным выше аппаратам пришли более производительные устройства пленочного типа, работающие с небольшим количеством щелока. Это аппарат Кестнера (рис. 3) и ряд его модификаций, выпускаемых до второй мировой войны наряду с аппаратами Роберта — Адерса, применяемого отечественной промышленностью.

Производительность последних при упаривании 10%-го щелока до концентрации 45 % достигала более 1350 м³/сут. [12].

Для упаривания щелока до высоких концентраций — 60...65 % и выше в качестве последнего корпуса в многокорпусных выпарных установках или в одиночном концентраторе устанавливали аппараты с принудительной циркуляцией щелока, которые обогревались паром высокого давления с центробежным насосом соответствующей производительности. Примером такого аппарата был аппарат Свенсона (рис. 4) [13].

В настоящее время для получения упаренного щелока с концентрацией 45...80 % применяются

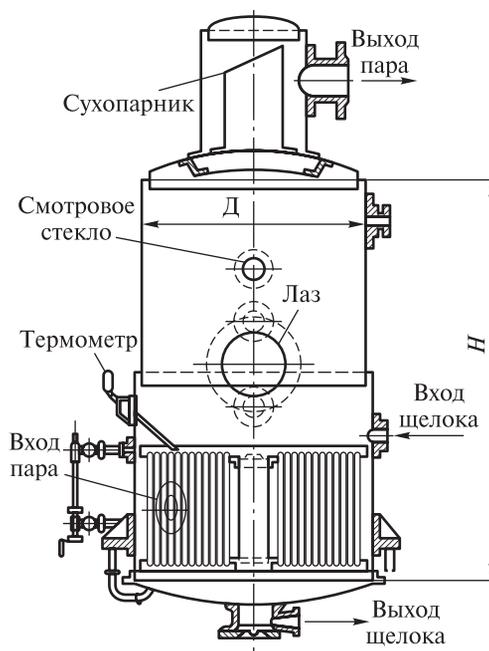


Рис. 1. Выпарной аппарат Роберта — Адерса
Fig. 1. Robert — Aders evaporator

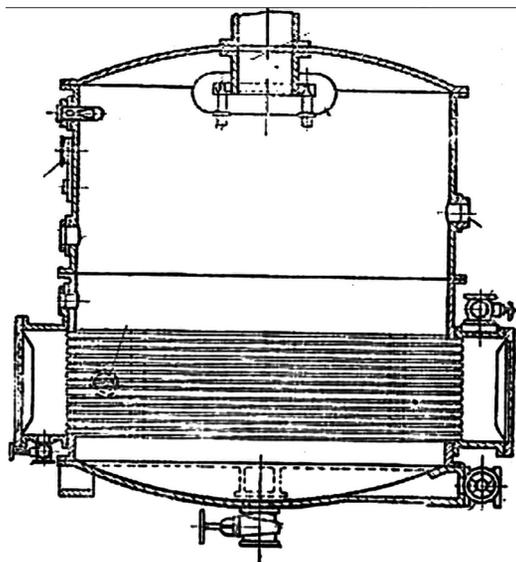


Рис. 2. Выпарной аппарат Заремба
Fig. 2. Zarembo evaporator

суперконцентраторы с падающей пленкой, в которых движение щелока и образовавшегося из него пара осуществляется по принципу противотока (рис. 5) [14].

После выпарки отработанные черные щелока подвергаются сжиганию для регенерации едкого натра в случае натронного метода или сульфида натрия в случае сульфатного, с образованием обзола или огарка. При этом органическая часть щелока частично сгорает, возгоняется и обугливается, а неорганическая — превращается в карбонат натрия. При добавлении сульфата натрия, который при последующем плавлении подзола

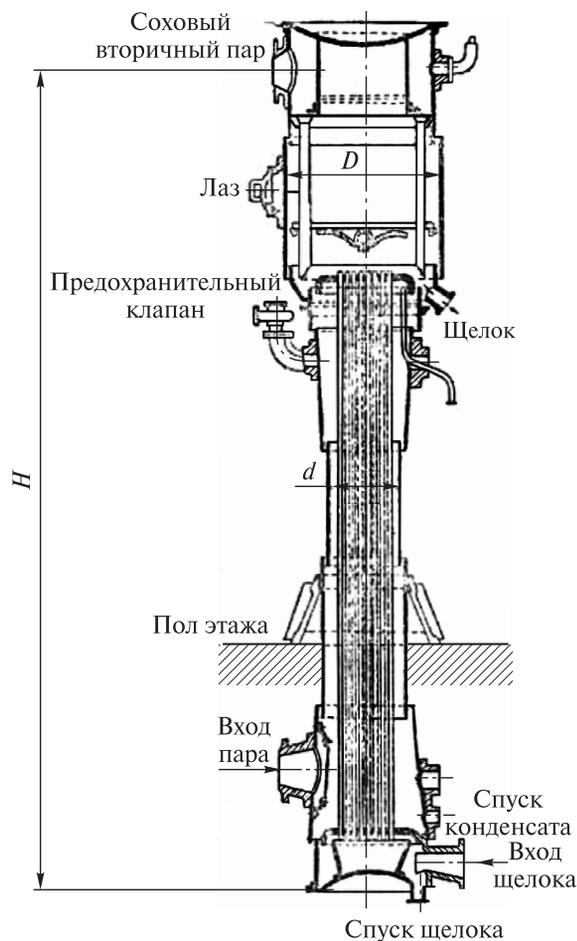


Рис. 3. Выпарной аппарат Кестнера
Fig. 3. Kästner evaporator

восстанавливается углеродом в сульфит натрия, образуется так называемый плав.

Полученный подзол, в случае натронного процесса, или плав, в случае сульфатного — растворяется (выщелачивается), образуя так называемый зеленый щелок, имеющий легкую опалесценцию зеленым. Последний подвергается каустизации добавлением гашеной извести с превращением карбоната натрия в гидроксид и образованием исходного варочного раствора — белого щелока [12].

На ранних стадиях использования натронного способа делигнификации древесины в качестве содорегенерационных агрегатов применялись ванны печи с пристроенными к ним топками, представляющие собой продолговатые объемистые резервуары, облицованные шамотным кирпичом. В них сгущенный щелок превращается в коксообразную массу, содержащую карбонат натрия и уголь, которую собирают, отфильтровывают для удаления угля и подвергают каустизации [4].

В 1888 г. Варрен получил патент на вращающуюся печь с топкой для сжигания натронного черного щелока. Развитием этой конструкции

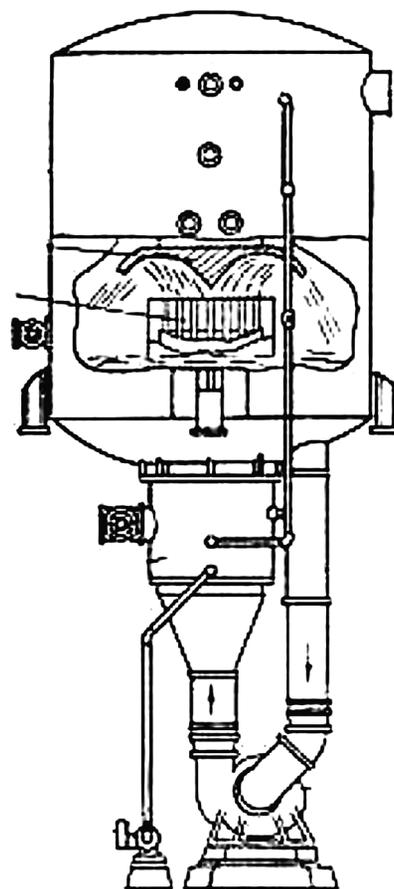


Рис. 4. Короткотрубный выпарной аппарат с принудительной циркуляцией щелока
Fig. 4. Short-tube evaporator with forced circulation of liquor

был патент 1892 г. американца Армстронга, предложившего обогревать отходящими из печи горячими газами паровой котел и расположенный за ним чан со сгущаемым щелоком, непрерывно поступающим в печь.

Данные прототипы вращающихся печей послужили для шведских инженеров Эндерлейна и Куллгрейна отправной точкой для постройки аппаратов для сульфат-целлюлозного производства.

В 1895–1897 гг. в Швеции и Норвегии появился новый тип вращающейся печи, впоследствии названной револьверной, снабженной плавильной печью вместо топки для использования тепла исходящих из нее газов за счет горения подзола, поступающих из револьверной печи и образующихся в ней из черного сульфатного щелока. Горячие газы, исходящие из печи, утилизировались в дисковом испарителе, подогревали сгущенный щелок в запасном бассейне, проходили пыльную камеру и направлялись в дымовую трубу. Плав, образовавшийся в плавильной печи, растворялся с образованием зеленого щелока (рис. 6) [4].

Для этой установки не требовалось дополнительное топливо, поскольку теплотворная способ-

ностью подзола, содержащего до 20 % углерода, была достаточной и для образования плава, и для получения подзола, и для упаривания и подогрева черного щелока [12].

В Германии подобная установка появилась в 1899 г. на Крельвицкой бумажной фабрике [4]. Впоследствии такие установки появились в США и других странах сначала для получения подзола из натронных щелоков, а затем и плава — из сульфатных. Производительность этих установок составляла до 30...35 т/сут. [4, 12].

Следующим этапом развития регенерационных установок стал печной агрегат, разработанный шведским инженером де Вирдые. Принципиальным различием установки было наличие в ней котла-утилизатора. Хотя идея снабжения с котлом описана еще в патенте Армстронга, впервые практически она была реализована на шведском заводе «Дейе». Агрегат де Вирдые состоял из двух дисковых испарителей, двух револьверных печей, двух плавильных печей, работающих на револьверный котел, и двух плавильных печей, работающих на паровой котел мощностью 2 т/ч с давлением 18 атм (рис. 7) [12].

Работающие по такому же принципу агрегаты впоследствии были предложены шведом Гролсенем и усовершенствованы в американском агрегате системы Мэррей — Уэрна.

Начиная с середины 1920-х годов на американских заводах начали применять печи впрыскивающего типа системы Вагнера и Томлинсона [4, 12], также снабженные котлами-утилизаторами. С 1935 г. такими печами начали оснащать отечественные предприятия [13].

В печном пространстве печи Вагнера черный щелок с концентрацией 35 % взбрызгивался через верхнюю форсунку сжатым воздухом под давлением 1,5...2,0 атм, а сульфат влажностью 10 % подавался через боковую форсунку, падая вниз в токе горячих газов, поднимающихся с пола печи за счет сгорания огарка. Щелок, подсушивался и ложился в виде подушки вместе с сульфатом на горящий огарок. По мере выгорания органической части огарок озолялся и начинал плавиться. Плав накапливался и непрерывно выпускался в растворитель (рис. 8.) [12].

Производительность печей Вагнера по пару, в зависимости от конструкции, составляла от 6 до 12 т/ч с давлением пара 14...15 атм [12].

На отечественных целлюлозных заводах кроме печей Вагнера в конце 1930-х годов устанавливались их аналоги конструкции Гипроазотмаша, производительностью 12 т пара в час [4, 12].

В 1934 г. канадский инженер Томлинсон сконструировал печь, в которой сушка и частичное обугливание происходили на стенках топки. Черный щелок в печи Томлинсона concentra-

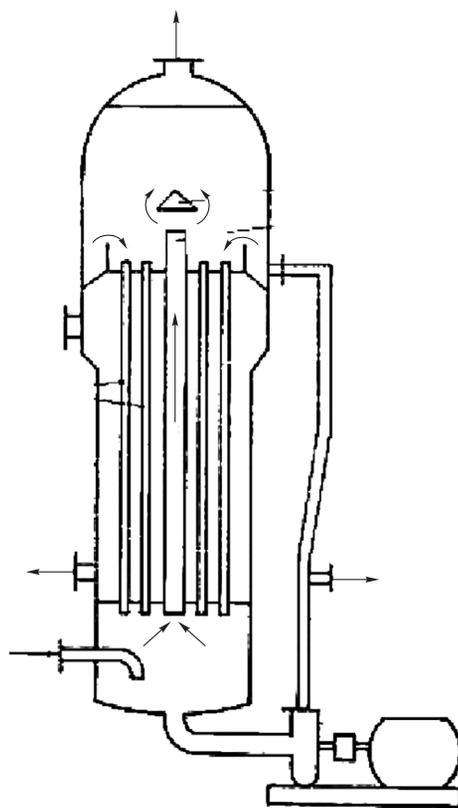


Рис. 5. Суперконцентратор типа «Розенлев» с падающей пленкой

Fig. 5. Rosenlev-type superconcentrator with falling film

цией 60...65 %, предварительно смешанный с сульфатом натрия, центробежным насосом при давлении 3,5...4 атм вспрыскивался в печь через качающуюся форсунку, разбрызгивающую его веером по стенкам печи в виде липкой подушки, которая, подсыхая и обугливаясь, падала на пол печи и сгорала, а образовавшийся плав стекал в растворитель. Котел, установленный над топкой первого агрегата Томлинсона, работал при давлении 11 атм без перегрева пара (рис. 9) [13].

Американская котельная фирма «Бабкоп — Вилькоккс» купила патент Томлинсона и начала выпускать печной агрегат «БВ» производительностью 50...60 т пара в час. Появившиеся позднее аппараты «КИ», фирмы «Комбасти Инженейринг» аналогичной конструкции, уже имели производительность от 60...90 т/ч пара с давлением 30 атм при перегреве пара до 385 °С (рис. 10) [13].

После войны производители начали выпускать подобные конструкции на предприятиях «Тампелла» и «Ле-Монт» производительностью более 100 т/ч при давлении 40 атм и перегреве пара до 450 °С, за счет сжигания 700...900 т/сут сухого остатка щелока в сутки [13].

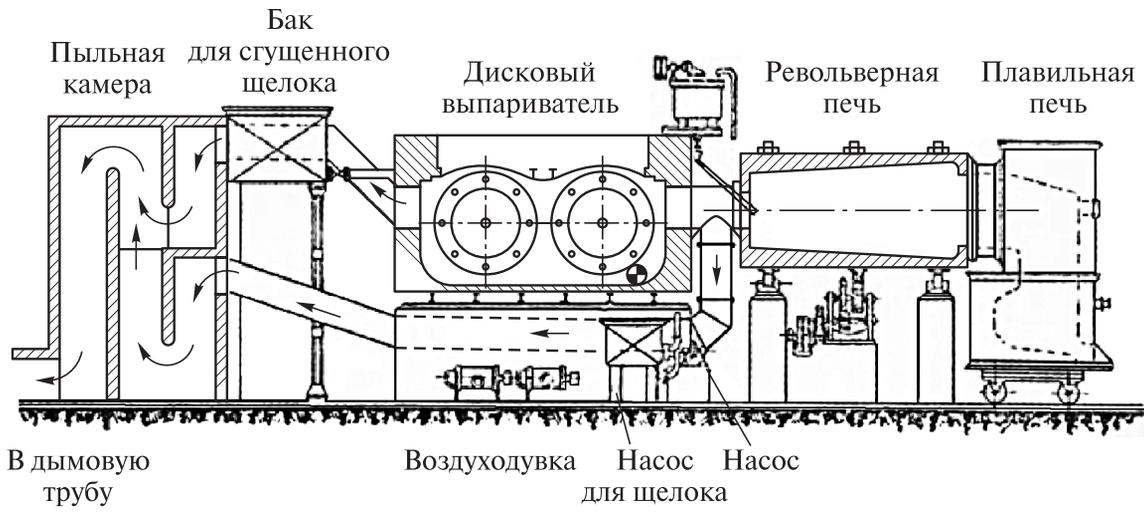


Рис. 6. Установка для регенерации сульфатного щелока с револьверной печью
 Fig. 6. Installation for regeneration of sulphate liquor with a revolving furnace

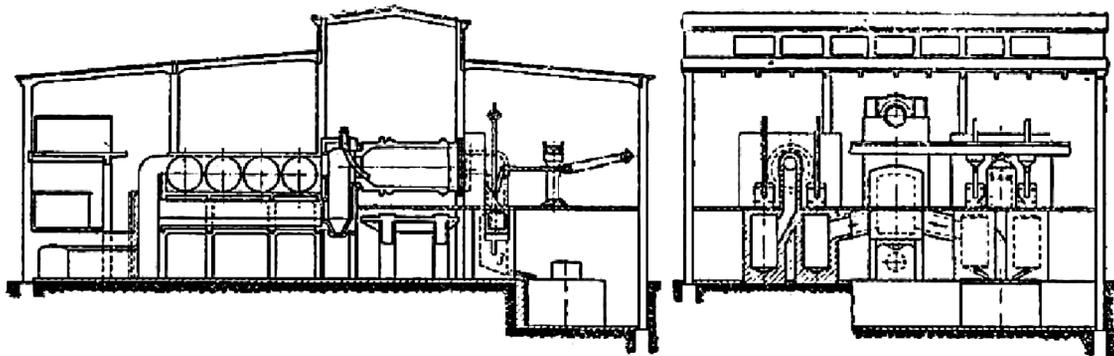


Рис. 7. Печной агрегат де Вердые
 Fig. 7. De Verdier furnace unit

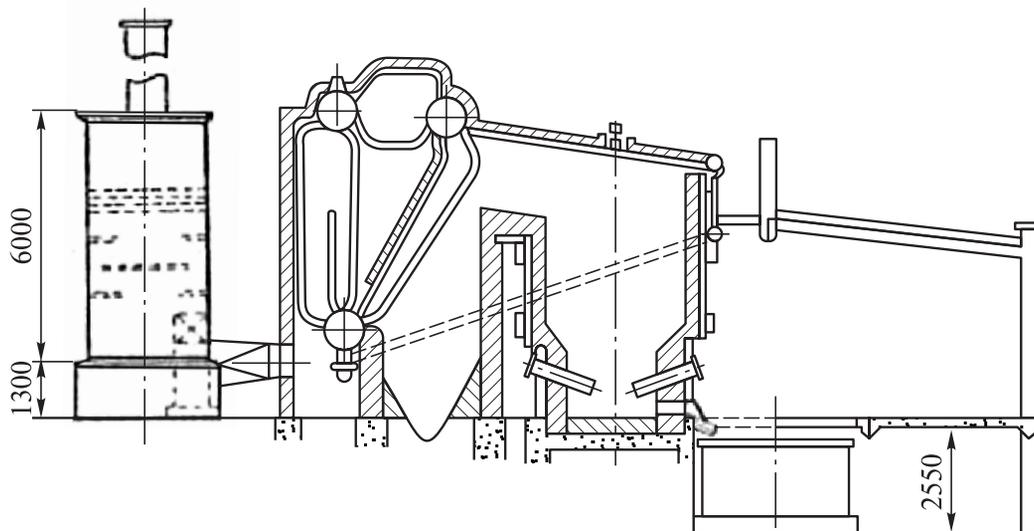


Рис. 8. Печь Вагнера
 Fig. 8. Wagner oven

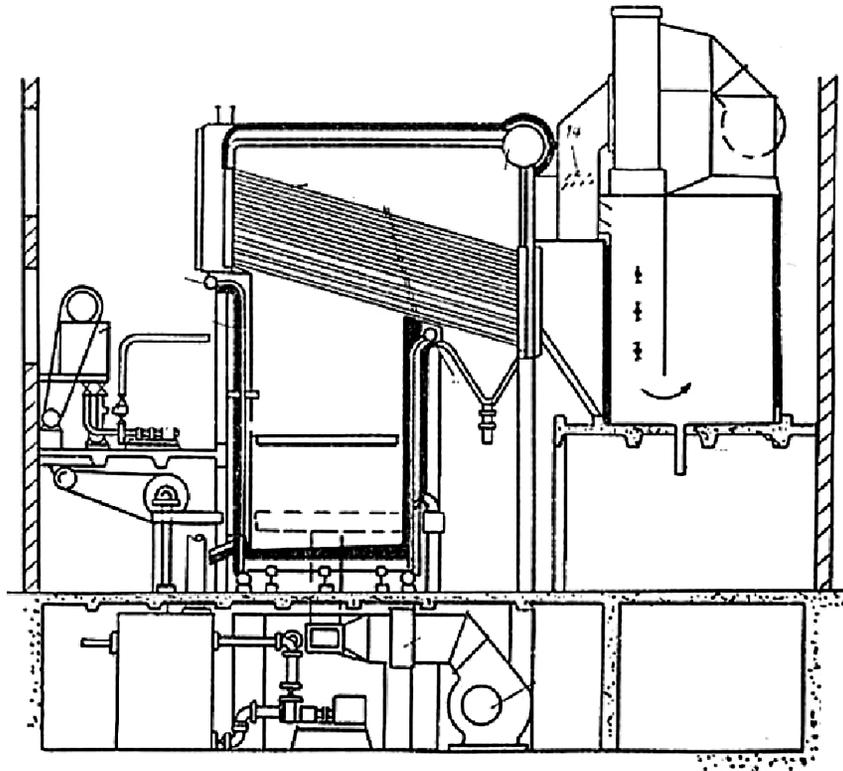


Рис. 9. Печной агрегат Томлинсона
Fig. 9. Tomlinson furnace unit

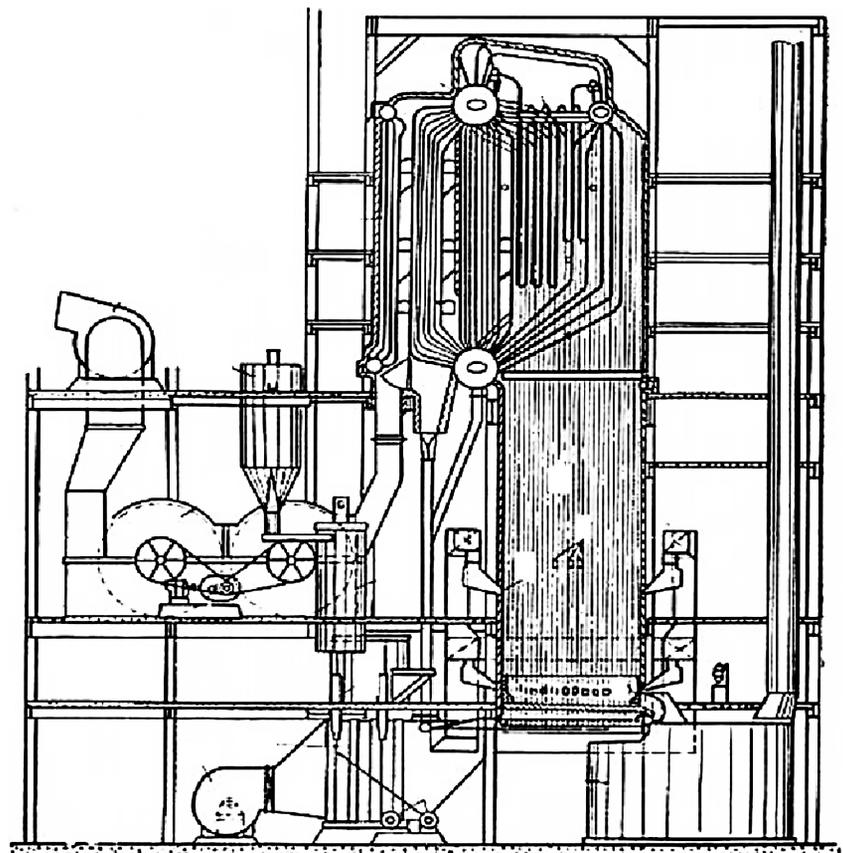


Рис. 10. Печной агрегат системы «КИ»
Fig. 10. Furnace unit with the «KI» system

Послевоенный период развития технологии щелочной делигнификации древесины

Начиная с 1960-х годов в нашей стране приступили к выпуску содорегенерационных аппаратов для сжигания более 600 т/сут. щелока.

В настоящее время содорегенерационные аппараты решают две задачи: энергетическую и технологическую — причем первая считается главной. Их решение имеет важное значение при использовании в котельных теплостанций. Для повышения теплоты сгорания черного щелока в топливо дополнительно вводят нефть или мазут. На отечественных крупнейших сульфат-целлюлозных производствах — Котласком, Сибирском, Архангельском ЦБК, Байкальском ЦБК, Сыктывкарском ЛПК преимущественное распространение получили содорегенерационные аппараты системы «КИ» большой мощности, соответствующие зарубежным аналогам [15–17]. Производительность современных агрегатов достигает 200...250 т/ч пара с давлением от 6 до 11 МПа и перегревом пара до 450...480 °С [13, 18].

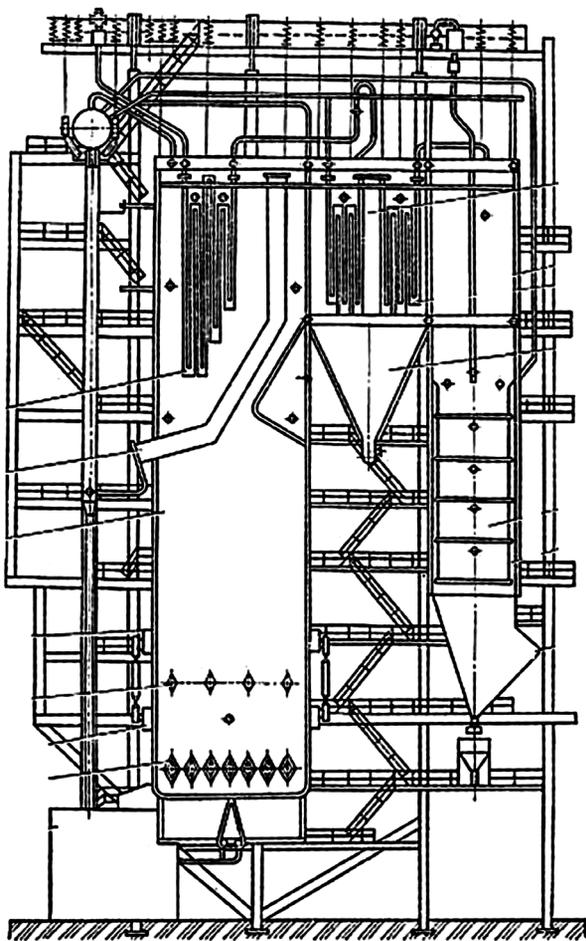


Рис. 11. Типовой содорегенерационный аппарат (СРК)
Fig. 11. Typical soda recovery device (SRD)

Самый крупный импортный содорегенерационный агрегат был установлен фирмой «Парсонс-У-иттмор» на Усть-Илимском ЛПК. Номинальная его производительность по сжиганию вещества черного щелока составляет около 1600 т/сут., что соответствует производительности 230 т/ч пара с давлением 4 МПа при перегреве 440 °С.

В 1970–1980 гг. отечественное энергетическое машиностроение освоило выпуск типовых содорегенерационных котлоагрегатов малой и большой серии. К малой относятся агрегаты РСК-350; РСК-525; РСК-700 с производительностью по сжиганию щелока соответственно 350, 525 и 700 т/сут. По паропроизводительности это соответствует 50, 75 и 100 т/ч пара. Котлы большой серии РСК-1050, РСК-1400, РСК-1750 имеют производительность 150, 200, 250 т/ч с давлением 4 МПа и температурой перегрева 440 °С. Первый из таких мощных энерготехнологических котлов, производительностью 1400 т сжигаемого сухого вещества черного щелока, был установлен на Братском ЛПК (рис. 11) [8].

Все перечисленные способы регенерации щелоков подразумевали использование только их неорганическую составную часть; органическая же часть использовалась в технологическом регенерационном процессе только в качестве топлива.

Некоторые исторические способы переработки щелоков при делигнификации

Первой попыткой использования органических продуктов щелочной делигнификации стала технология регенерации щелоков, предложенная Ринманном еще в 1911 г., заключающаяся не в их сжигании, а в сухой перегонке. Эта технология была реализована в Германии на заводе в Регенсбурге и заключалась в упаривании черного щелока до 30...32%-й концентрации, добавлении к нему едкого натра и извести и последующего упаривания до 68 %. Полученная смесь выливалась слоем толщиной 4 см в плоские железные противни размером 0,5 м² в количестве 150 шт. Они устанавливались на вагонетки и помещались в реторту, обогреваемую генераторным газом, полученным из бурого угля. Перегонка поддерживалась подачей перегретого пара с первоначальной температурой 250 °С, которая в процессе повышалась до 600 °С. Неконденсирующиеся газы, состоящие в основном из водорода, образующегося из формиата натрия, добавлялись к генераторному газу, а дистиллят, выходящий из холодильника, разделялся на два слоя: водный и маслянистый. Из водного извлекали метанол и ацетон, из маслянистого — высшие кетонные спирты и углеводороды. Образовавшийся подзол измельчали и подвергали выщелачиванию и каустизации.

В результате применения данной технологии регенерации в пересчете на 1000 кг воздушно-сухой целлюлозы получали 28,3 метанола, 10,5 кг ацетона, 10 кг метилэтилкетона, 11,9 кг легких масел, 42,1 кг тяжелых масел и 19,6 кг водорода. Завод функционировал до 1929 г., был закрыт по причине несовершенства конструкций аппаратуры [12, 19].

В 1945 г. на американском заводе Стеванс-Поинт был реализован способ Гудель частичной и сухой перегонки порошкообразного черного щелока. В результате происходило разложение 17 % органической части, и образовывался жидкий дегтеобразный конденсированный дистиллят, содержащий до 65 % сухой смолы. Образовавшийся огарок с еще достаточно высоким содержанием органических веществ направлялся на регенерацию, а смола разгонялась в вакууме на нейтральные масла и фенолы с выходом последних до 30...35 %. Неконденсированные газы содержали значительное количество CO, CH₄ и H₂ с теплотворной способностью от 3000 до 7000 ккал/кг.

Еще одна из технологий термолиза черных щелоков — метод Говена — Ли, который был разработан в Канаде в 1956–1958 гг. Технология заключалась в термическом разложении органических веществ сгущенного до 48 % черного щелока в распыленном состоянии перегретым паром в реакторе при температуре 750 °С и получила название атомизационного сжигания. Продуктами процесса были зольно-угольный остаток и парогазовая смесь, используемая в выпарных батареях и сжигаемая для обогрева реактора [13, 19].

Переработка продуктов щелочной делигнификацией древесины

Древесное сырье достаточно давно используется в качестве доступного возобновляемого источника целлюлозы, которую выделяют по технологии делигнификации, позволяющей отделять присутствующий в древесине лигнин [20–22].

Кроме опосредованного использования органических веществ, образующихся при щелочной делигнификации в процессе регенерации щелоков, разрабатывались методы непосредственного использования многочисленных соединений органической природы, образующихся из древесины и содержащихся в жидких и газообразных продуктах [6, 17, 23]. В первую очередь это относится к основным компонентам черных щелоков — натронному и сульфатному лигнину, компонентам сульфатного мыла, образовавшегося из жирных и смоляных кислот, в основном при варке хвойной древесины, и компонентам газовых сдувок, образующихся в процессе варки и содержащих легколетучие продукты, возникшие как из лигноуглеводной матрицы, так и из экстрактивных веществ древесины [24].

В процессе щелочной делигнификации в черный щелок переходят продукты разрушения лигнина в количестве 22,7...25,7 % массы исходной древесины, целлюлозы — 8,9...10,2 %, гексозанов — 7,2...7,5 %, пентозанов — 7,3...7,7 % и все смолянистые вещества в количестве 3,5...4,0 %, т. е. более половины массы древесного сырья [25].

Впервые регенерация щелоков натронной варки была предложена еще Ваттом и Бургером в 1853 г. [6].

В 1893 г. П. Классон определил компонентный состав органической части промышленного черного щелока натронной варки, в которой на долю щелочного лигнина приходилось 35,7 % фенолов, смоляных и жирных кислот — 23,6 %, оксикислот и лактонов — 33,0 %, муравьиной и уксусной кислоты — 7,7 % [25].

Идея выделения щелочного лигнина из продуктов делигнификации древесины путем подкисления содержащих их растворов принадлежит Г. Ланге, получившему в 1890 г. в лабораторных условиях серии неоднородных препаратов, относящихся к продуктам делигнификации древесины разных пород [26].

В результате работ, проведенных с 1892–1911 г. В. Штресбом, П. Классоном и Е. Ринманом, из производственных черных щелоков были получены многочисленные образцы щелочных лигнинов.

Б. Халмберг в 1921 г. проводил эксперименты по выделению щелочного лигнина из натронных щелоков путем обработки диоксидом углерода в присутствии уксусной, соляной и серной кислот. Полученные препараты частично растворялись в этаноле (α -щелочной лигнин), нерастворимую часть он назвал β -лигнином.

Работы, проведенные В. Палуэллом и Х. Уиттекером в 1924 г. по элементному и функциональному анализу щелочного лигнина, позволили составить его полуэмпирическую формулу, отражавшую количественное содержание в нем основных функциональных групп — C₃₈H₃₀O₄(CO)₂(CHO)(OH)₉ [26].

В 1927 г. Г. Доре и Е. Бартон-Райт получили щелочной лигнин из проэкстрагированной древесины и определили его растворимость в различных полярных и неполярных растворителях.

В 1935 г. Х. Гибберт с сотрудниками из переосажденного раствора в диоксане щелочного лигнина в эфир выделил лигнин А, а из остаточного диоксан-эфирного раствора — лигнин В.

В 1930-х и 1940-х годах исследованием промышленных щелочных лигнинов занимались Л.П. Жеребов и Н.Н. Шорыгина, а в 1950–1960-е — Б.Д. Богомоллов и сотрудники. Был определен функциональный состав натронных и сульфатных лигнинов, выделенных различными методами из

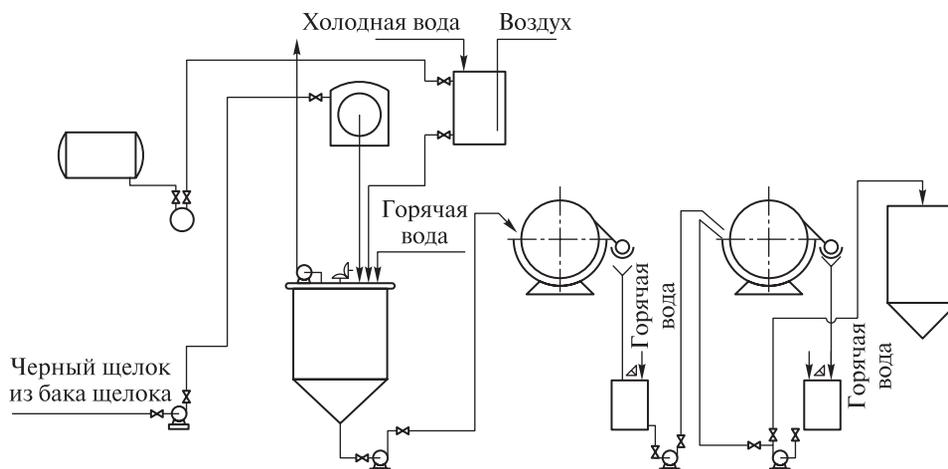


Рис. 12. Схема получения сульфатного лигнина сернокислотным методом
 Fig. 12. Scheme for obtaining sulfate lignin using the sulfuric acid method

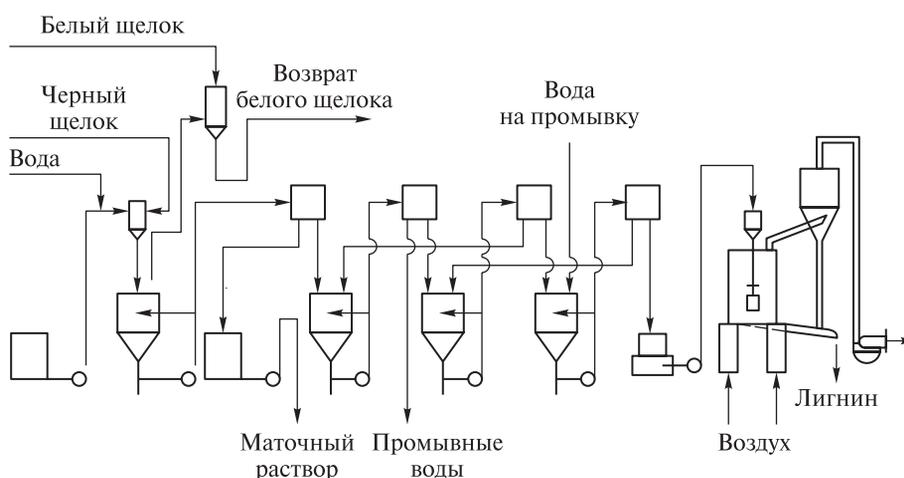


Рис. 13. Схема непрерывно действующей установки получения сульфатного лигнина
 Fig. 13. Scheme of a continuously operating installation for the production of sulfate lignin

черных щелоков. Было показано, что их средняя молекулярная масса составляет около 10 000 Да [26]. В работе [27] даже были опубликованы формулы фрагментов щелочного лигнина.

Однородность щелочных лигнинов, их химическая активность и растворимость в полярных растворителях позволили рассматривать данные полупродукты как ценное химическое сырье [26, 28]. Также было установлено, что без ущерба для процесса регенерации щелочи и без компенсации лигнина, содержащегося в черном щелоке, другим топливом из цикла целлюлозного производства, может быть выведено до 10 % и более лигнина, содержащегося в черном щелоке [29, 30].

Впервые промышленное использование лигнина реализовали в США, хотя производство натронной целлюлозы в этой стране было начато еще в 1907 г., а сульфатной — в 1897 г [31]. Первый патент на выделение натронного лигнина пропусканием через щелок диоксида углерода

был получен фирмой «MID Corporation» только в 1936 г [14]. В предвоенные годы было налажено его производство на предприятиях под торговыми марками «мидол», «индулин», «томлинит» и «арборит» [14]. А в середине 1950-х годов его выпуск уже исчислялся миллионами тонн [26].

До начала 1960-х годов на отечественных предприятиях черные щелока полностью сжигались в качестве топлива в процессе регенерации щелочи [26, 31].

В 1960–1961 гг. на Соломбальском ЦБК была выпущена первая опытно-промышленная периодически действующая установка по получению сульфатного лигнина серно-кислотным осаждением его из черного щелока (рис. 12) [25].

Позднее была разработана непрерывно действующая установка по получению сульфатного лигнина по этому методу, до сих пор успешно работающая на некоторых предприятиях целлюлозно-бумажной промышленности (рис. 13).

Выход сульфатного лигнина при сернокислотном методе был значительно выше по сравнению с его осаждением с помощью CO_2 и достигал 60...65 % суммы органических веществ щелока [14, 32].

Сульфатный лигнин в настоящее время с успехом используется в качестве усилителя синтетических каучуков, органического дубителя, сырья для получения ванилина, диметилсульфида и других продуктов [33–35].

Диметилсульфид, используемый для синтеза диметилсульфоксида, получают из сульфатного лигнина или упаренного черного щелока по способу, запатентованному в 1956 г. шведскими исследователями Э. Хегглундом и Т. Энквистом и внедренному фирмой «Crown Zellerbach» на заводе в Далласе (США), производительностью 5000 т/год [26].

Суммарный его выход из дистиллята и неконденсированных газов составил от 30 до 42 кг на 1000 кг воздушно-сухой целлюлозы [25]. По технологической схеме, внедренной в 1956 г., из черного щелока выделяют фенолы, щавелевую, янтарную, уксусную, муравьиную и другие кислоты [25].

В 1966 г. Р.Б. Эпштейном была разработана технология получения ванилина окислением черного щелока кислородом воздуха с выходом 12...13 % массы щелочного лигнина по сравнению с 4...8 % при использовании в качестве сырья лигносульфанатов [25].

В качестве заменителей фенолов при получении фенолформальдегидных смол (ФФС) щелочной лигнин начали использовать И.П. Лосев и В.С. Кашинский еще в 1939 г. В 1949 г. совместными усилиями Научно-исследовательского института полимеризованных пластиков (НИИПП) и Архангельским лесотехническим институтом (АЛТИ) были синтезированы лигнинфенолформальдегидные смолы флаш с заменой до 50 % фенола сульфатным лигнином, а в 1958 г. были проведены испытания на Орехово-Зуевском заводе «Карболит» пресс-порошков на основе синтезированных смол с получением композиционных пластиков, не уступающих по свойствам нормативам [26].

В 1960–1970 гг. работы по модифицированию феноло-формальдегидных олигомеров (ФФО) щелочными лигнинами проводились в Институте химии древесины Академии наук Латвийской ССР [36], а в 1970–1980-х годах на кафедре химической технологии древесины и полимеров Московского лесотехнического института (МЛТИ) проводились работы по использованию сульфатного лигнина для синтеза карбамидоформальдегидных олигомеров, используемых при изготовлении древесно-стружечных плит (ДСП) и деловой фанеры [37].

В процессе щелочной делигнификации смоляные и жирные кислоты, содержащиеся в древесине, превращаются в соли — резинаты, олеаты, пальмитаты и т. д., образуя так называемое сульфатное мыло. При обработке сульфатного мыла в присутствии кислот получается жидкая смола или талловое масло — таллоль [12, 26, 37].

Впервые получение таллового масла из сульфатного мыла с помощью кислоты с использованием центрифугирования было предложено Лоеннебегом еще в 1895 г. Само же сульфатное мыло начали использовать в Швеции в мыловаренной промышленности с 1901 г., а спустя два года оно появилось на рынке в качестве товарного продукта. Благодаря исследованиям Бергстрема, проведенным в 1908–1911 гг., было выяснено, что в состав таллового масла, полученного из сульфатного мыла, кроме жирных и смоляных кислот, входит фитостерин.

Основное производство таллового масла было сосредоточено в США, где в 1947 г. основали Ассоциацию таллового масла. К концу 1950-х годов на США приходилось 3/4 мирового производства, что в год составляло 360 тыс. т таллового масла и 100 тыс. т талловой канифоли.

Сульфатное мыло содержит примерно по 40 % кислотных остатков жирных и смоляных кислот и по 10 % неомыляемых соединений и едкого натра в виде солей [25, 38].

Побудительными причинами сбора сульфатного мыла послужили не только получение ценного продукта, но и необходимость обеспечения нормальной работы выпарных станций за счет снижения в них пенообразования. При отсутствии больших емкостей для отстаивания щелока на таких малых предприятиях, как фабрика «Питкьяранта», в 1940-е годы сбор мыла производился черпаками вручную [26]. Затем стали применять плоские отстойные баки большого объема, в которых отделение мыла в виде пены плотностью 0,2...0,6 г/см³ осуществлялось с помощью поднятия уровня черного щелока в баке и сливания мыла с его поверхности в приемник или в вертикальные цилиндрические отстойники, работающие по принципу делительной воронки [9].

Позднее стали использовать маслоотделители, снабженные шабером, перемещающимся внутри бака и сгребающим мыло в специальный отсек. Впоследствии стали использовать метод флотации и центрифугирования для уплотнения мыльной пены (рис. 14) [26].

На многих предприятиях после отделения сульфатного мыла от черного щелока, смесь перед дальнейшей переработкой облагораживали растворением в воде, фильтрованием и осаждением сульфатом натрия [25]. После этого сульфатное мыло обрабатывали 30%-й серной кисло-

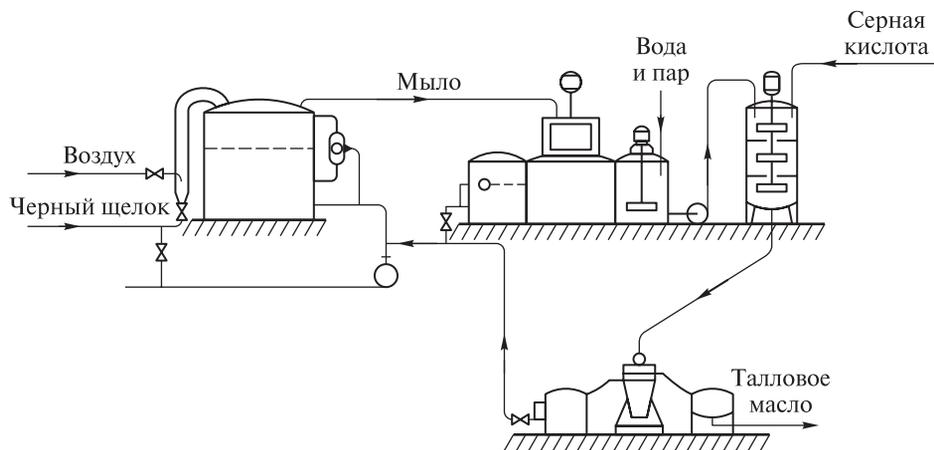


Рис. 14. Схема мылоотделения и центрифугирования
Fig. 14. Scheme of soap separation and centrifugation

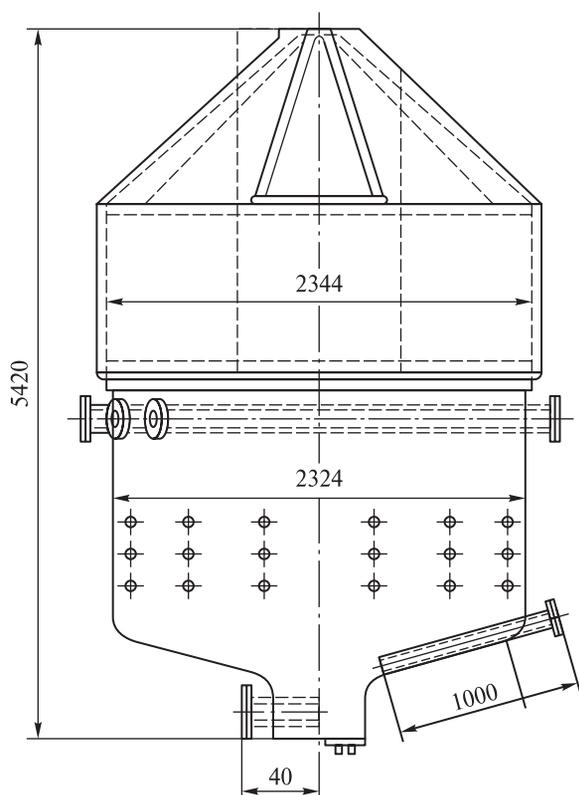


Рис. 15. Реактор для получения сырца таллового масла
Fig. 15. Reactor for producing raw tall oil

той для получения таллового масла в реакторах, футерованных свинцом или кислотоупорными плитками объемом от 8 до 16 м³, снабженных барботером внешнего пара. Полученное талловое масло промывали горячей водой с острым паром и сушили в специальных баках глухим паром через обогревающий змеевик (рис. 15) [26].

Эти операции осуществлялись на большинстве отечественных предприятий периодическим способом. Впоследствии на крупных комбинатах применялись установки непрерывного действия.

В 1950-е годы подобные установки разрабатывались многими фирмами, такими как шведская компания «К.М.В.», немецкой фирмой Круппа, французской фирмой «Шарплесс» и другими. В начале 1960-х годов аналогичная установка была разработана у нас в стране в ЦНИЛХИ (рис. 16) [26].

Полученное масло-сырец перерабатывалась в целях производства жирных и смоляных кислот, содержащихся в нем в количестве 40 и 55 % соответственно, а также для других продуктов [25].

Первые патенты на дистилляцию таллового масла были получены одновременно А. Хельстремом (Финляндия) и Х. Бергстремом (Швеция) в 1910 г. Они описали перегонку под вакуумом в присутствии перегретого водяного пара. В 1913 г. в Германии была построена опытная установка, работающая без вакуума, но она оказалась малоэффективной.

Первая промышленная установка мощностью 500 т/год таллового масла была введена в эксплуатацию в Финляндии в 1920 г. Она работала по методу периодической дистилляции с помощью перегретого острого пара при остаточном давлении 15..20 мм рт. ст. При температуре 200...220 °С перегонялся темный неприятно пахнущий головной погон, при 230...250 °С гналась светлая основная фракция, богатая жирными кислотами, используемая как товарный продукт для производства мыла, а следующая фракция, обогащенная смоляными кислотами, отбиралась при температуре 270 °С. Смесь охлаждалась и направлялась на центрифугирование для отделения выделившихся крупинок талловой канифоли (рис. 17) [26].

Пуск первых дистилляционных установок в нашей стране был произведен в 1938 г. финской компанией «Karhula» на Сегежском и Марийском комбинатах. После войны они появились на Новолялинском ЦБК, Соломбальском ЦБК, Светогорском ЦБК и др., и к середине 1950-х годов сбор сульфатного мыла составил более 25 000 т,

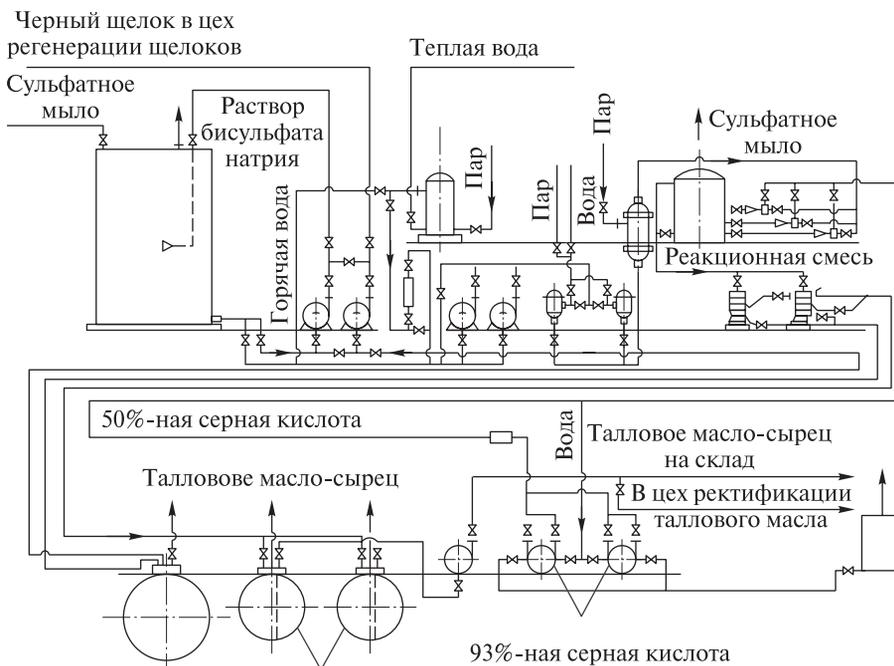


Рис. 16. Непрерывно действующая установка таллового масла-сырца по методу, разработанному ЦНИЛХИ

Fig. 16. Continuously operating installation of raw tall oil according to the method of the Central Research and Design Institute of the Wood Chemical Industry (Russia)

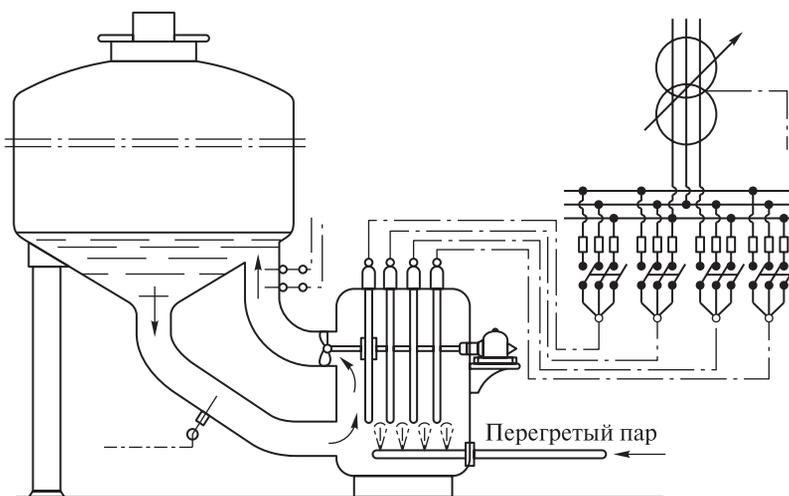


Рис. 17. Периодически действующая установка Хельстрема

Fig. 17. Periodically operating Helström installation

увеличившись к началу 1960-х годов до 40 000 т с выходом около 100 кг на 1 т воздушно-сухой целлюлозы [26].

Непрерывный способ дистилляции таллового масла, предложенный А. Хельстремом предусматривал использование пяти дистилляционных камер, расположенных одна над другой. Из каждой камеры пары, охлаждаясь отдельно и в виде дистиллятов, собирались в разных сборниках (рис. 18) [26].

В 1930 г. Х. Бергстрем создал непрерывно действующую установку производительностью

1500 т/год в виде горизонтальной трубы — реторты с наружным обогревом, снабженную мешалкой (рис. 19).

В 1939 г. было пущено самое крупное на тот период шведское предприятие по переработке 13 000 т/год таллового масла, работающее по методу Гетнера и Линдера, по которому три дистилляционных агрегата работали непрерывно, а один периодически.

Непрерывно действующие установки были разработаны до Второй мировой войны в США, а в послевоенные годы и в Германии [26].

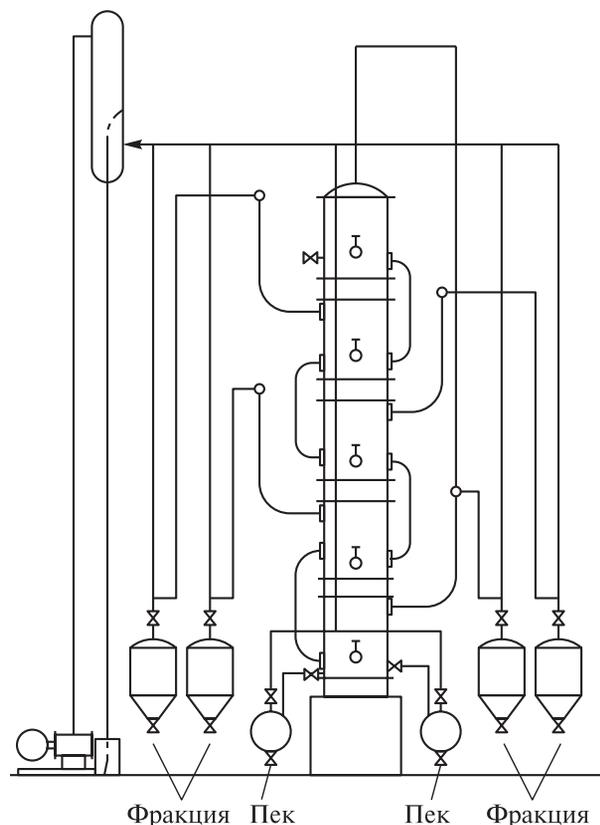


Рис. 18. Непрерывно действующая установка Хельстрема
Fig. 18. Continuous Helström installation

В СССР непрерывно действующая установка была разработана в 1952 г. В.Д. Худаверковым (рис. 20).

Кроме дистилляционной установки было разработано много ректификационных комплексов. Так, в 1949 г. американская компания Arizona Chemical Co. во Флориде запустила в эксплуатацию установку производительностью 22 000 т/год и стоимостью 2,5 млн дол., а шведская фирма KMW — установку по переработке 30 000 т/год таллового масла [26].

В 1959 г. в ЦНИЛХИ была разработана ректификационно-десорбционная установка для Марийского ЦБК с почти полным разделением смоляных и жирных кислот, а пек, называемый ранее сульфатным дегтем, образующийся в десорбере, омылялся и использовался для проклейки бумаги и картона или направлялся на извлечение фитостерина (рис. 21) [12, 26].

Фитостерин, представляющий собой смесь стероидов, в котором основным (60...70 %) является β -ситостерин, входит в состав немомыляемых нейтральных веществ таллового масла наряду с высшими спиртами. При ректификации он концентрируется в пек. Из пека фитостерин по методу Х.Д. Худаверкова (1951) извлекался обработкой раствором гидроксида натрия с последующей экстракцией

бензолом с выходом 8...9 % массы пека [26]. Кроме этого метода получение фитостерина на отечественных предприятиях осуществлялось так же по методу Ф.Т. Солодкого (1903–1970), предложенного им еще в 1941 г. с использованием в качестве сырья непосредственно сульфатного мыла. Фитостерин из него экстрагировался скипидаром, впоследствии отгоняемым, растворялся в горячем метаноле или этаноле и выделялся в виде кристаллов при охлаждении раствора [13]. Выход фитостерина по этому методу составлял 10...12 кг на 1000 кг сухого сульфатного мыла [6]. Первый цех по производству фитостерина был смонтирован в 1949 г. на Сегежском ЦБК [26].

В процессе натронной варки хвойной древесины, содержащиеся в ней терпены и терпеновые спирты, переходят в паровую фазу. Метоксильные группы, отщепляясь от гемицеллюлоз и лигнина, образуют метанол, а в случае сульфатной варки дополнительно образуются метилмеркаптан, диметилсульфид, а также некоторые другие соединения. Они частично растворяются в варочном щелоке, частично, с парами воды, удаляются из варочного котла при сдвухах. Парогазовая смесь сдувок улавливается в специальных сдувочных установках и образует конденсат, разделяющийся на два слоя: верхний скипидарный — сульфатное масло и нижний — водный, содержащий метанол. Сернистые соединения находятся в основном в скипидарсодержащем слое [12, 26].

Основным продуктом сдувочных конденсатов является сульфатный скипидар, получаемый с выходом 50...80 %, что соответствует 7...18 кг на 1000 кг воздушно-сухой целлюлозы.

Метанол образуется при натронной варке в количестве 15...16 кг, а при сульфатной — 12...13 кг на 1 т воздушно-сухой целлюлозы [4]. Из этого количества в водный слой сдувочных конденсатов переходит до 8,7 кг метанола, остальное остается в черном щелоке. При этом также выделяется около 2 кг сернистых соединений, основным из которых является диметилсульфид [12, 26].

Получение скипидара при варке натронной целлюлозы впервые было организовано в 1875 г. на Леаганском целлюлозном заводе близ Данцига (ныне — Гданьск), но, когда Даль в 1884 г. перевел производство на сульфатный метод, возникла проблема очистки сульфатного скипидара от дурно пахнущих сернистых соединений, которая была успешно решена лишь в 1940-е годы. Неочищенный сульфатный скипидар вырабатывался в Швеции и Норвегии еще до 1960 г., а в США до 1918 г. — в экспериментальных количествах. В 1929 г. мировое производство сульфатного скипидара составляло всего 700 т, в 1937 г. — 11 800 т, а к 1959 г. возросло до 82 500 т, что составляло больше трети суммарного производства

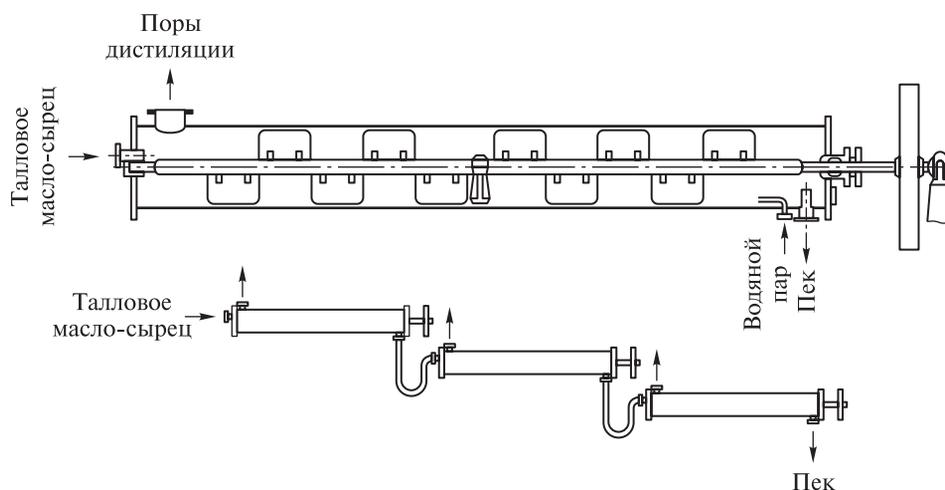


Рис. 19. Непрерывно действующая установка Бергстрема
 Fig. 19. Continuous Bergström plant

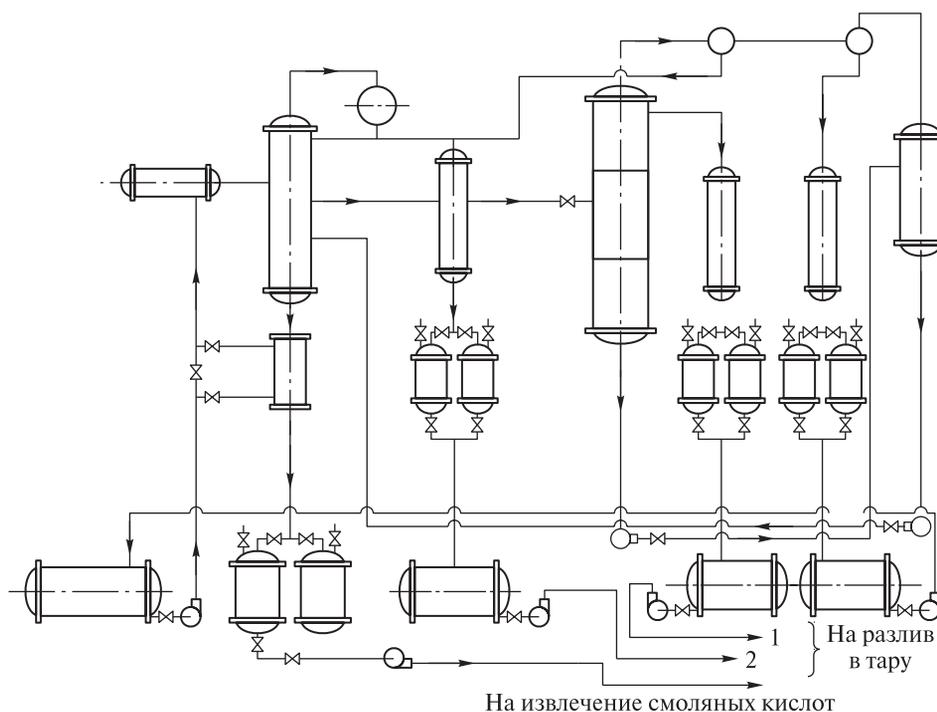


Рис. 20. Непрерывно действующая установка Худаверкова
 Fig. 20. Continuously operating Khudaverkov installation

скипидара в мире, из которых тогда на долю США приходилось 57 000 т в год.

В нашей стране проблема использования сульфатного скипидара приобрела определенное значение только после начала производства сульфатной целлюлозы на первом крупном сульфат-целлюлозном предприятии — Соломбальском ЦБК в 1936 г. В годы войны сульфатный скипидар на этом предприятии использовался в качестве моторного топлива. В последующие годы, вплоть до 1957 г., он сжигался в котлах. Только в конце 1950-х годов очищенный сульфатный скипидар

в виде товарного продукта стали получать на Марийском ЦБК, Сегежском ЦБК и на заводах «Пяткяранта» и Кехринском ЦБК (Эстония) [26].

Улавливание скипидара и других продуктов сдувок осуществляют в специальных сдувочных установках, предусматривающих разделение, сбор и последующую переработку конденсатов методом терпентинной или конечной сдувки, а также освобождение неконденсирующихся газов от легколетучих сернистых соединений (рис. 22).

Сырой сульфатный скипидар, образующийся из сдувочных конденсатов и обладающий резким

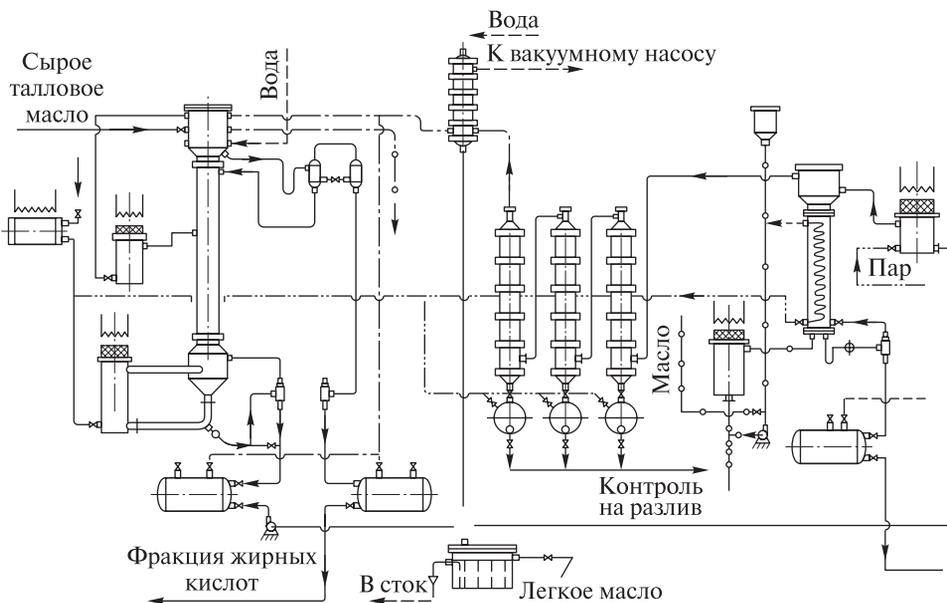


Рис. 21. Ректификационно-десорбционная установка ЦНИИЛХИ
 Fig. 21. Rectification-desorption unit of the Central Research and Design Institute of the Wood Chemical Industry (Russia)

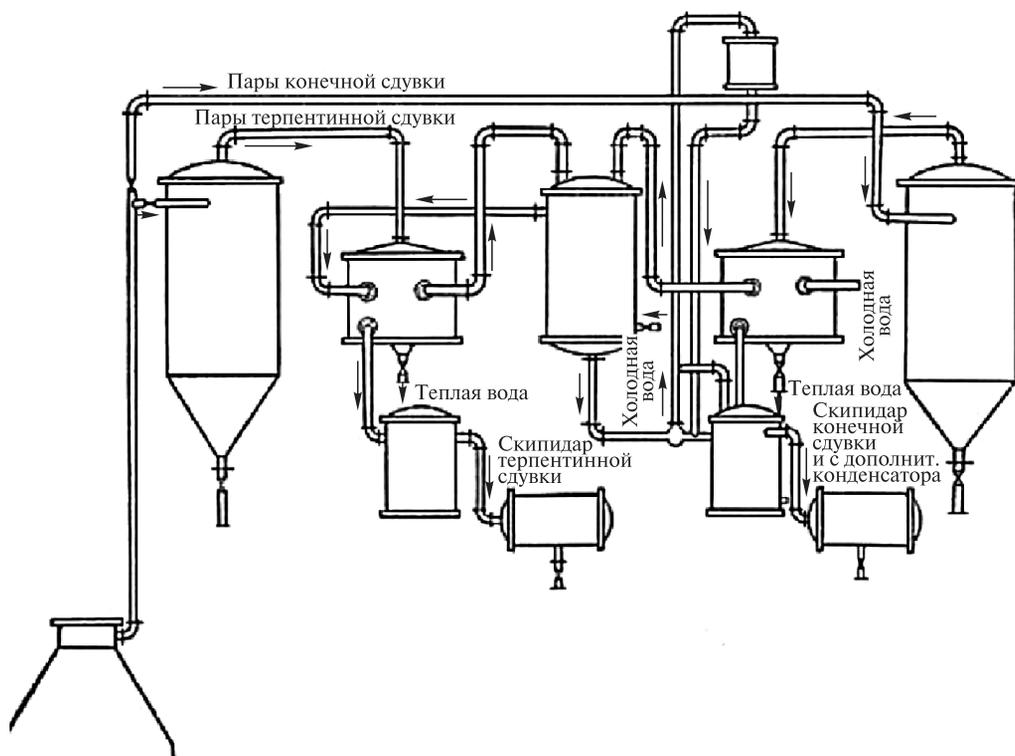


Рис. 22. Схема сдувочной установки
 Fig. 22. Blower installation diagram

неприятным запахом из-за сернистых соединений, подвергался очистке от сульфидов различными методами перегонки. В большинстве случаев для фракционной перегонки сульфатного скипидара-сырца применяли периодически действующие перегонные установки (рис. 23).

Очищенный скипидар, выходящий из установки, по химическому составу был близок к живичному и практически не содержал сернистых соединений [39].

Смесь дурнопахнущих сернистых соединений, основными из которых являются метилмеркаптан и

диметилсульфид, выделялись из головной фракции перегонки сульфатного скипидара-сырца и были названы сульфаном. Сульфан также можно получить при глубоком охлаждении смеси неконденсирующихся газов сдувок. Выход сульфана в первом случае составлял 0,5...0,8 кг на 1 т воздушно-сухой целлюлозы, а во втором — до 1 кг. При необходимости из сульфана можно выделить диметилсульфид. Сульфан применяется в качестве одоранта для придания запаха природному газу, используемому как топливо в количестве всего 10...20 г на 1000 м³ газа [6]. Впервые сульфан начали получать на Марийском ЦБК, он был испробован в качестве одоранта на газопроводах Саратов — Москва в 1948 г. и Дашава — Киев в 1949 г. При этом его запах ощущался даже при 1%-й концентрации одорированного газа в воздухе [26].

В 1960 г. на Марийском ЦБК была пущена установка по производству сульфана, включающая в себя оборудование для низкотемпературной конденсации сернистых соединений и их отделения от неконденсирующихся газов, поступающих на сжигание [26].

Хвостовая фракция сульфатного скипидара-сырца послужила сырьем для производства так называемого желтого флотационного масла, известного в США под названием Pine oil, которое представляет собой смесь терпеновых спиртов [40].

В 1952 г. на Марийском ЦБК из кубовых остатков разгонки сульфатного скипидара-сырца было получено товарное желтое флотационное масло с содержанием до 70 % терпеновых спиртов, которое с успехом применялось в качестве высокоэффективного реагента для флотации руд редких и цветных металлов [26].

Водный слой сдувочных конденсатов содержал около 40 % образовавшегося при варке метанола и некоторое количество ацетона и сернистых соединений в концентрации до 1 %. На отдельных финских и шведских предприятиях в 1920-е годы для получения метанола применялись трехсекционные перегонные установки с выходом около 50 % ректификата в количестве от 2 до 5 кг на 1 т воздушно-сухой целлюлозы. Однако вследствие малой рентабельности это производство было повсеместно прекращено и не возобновлялось даже во время Второй мировой войны, несмотря на большую потребность в топливе и растворителях [4, 39].

Побочные продукты сульфитной делигнификации и их биохимическая и химическая переработка

Для сульфитных методов делигнификации так же, как и для щелочных, характерно наличие по-

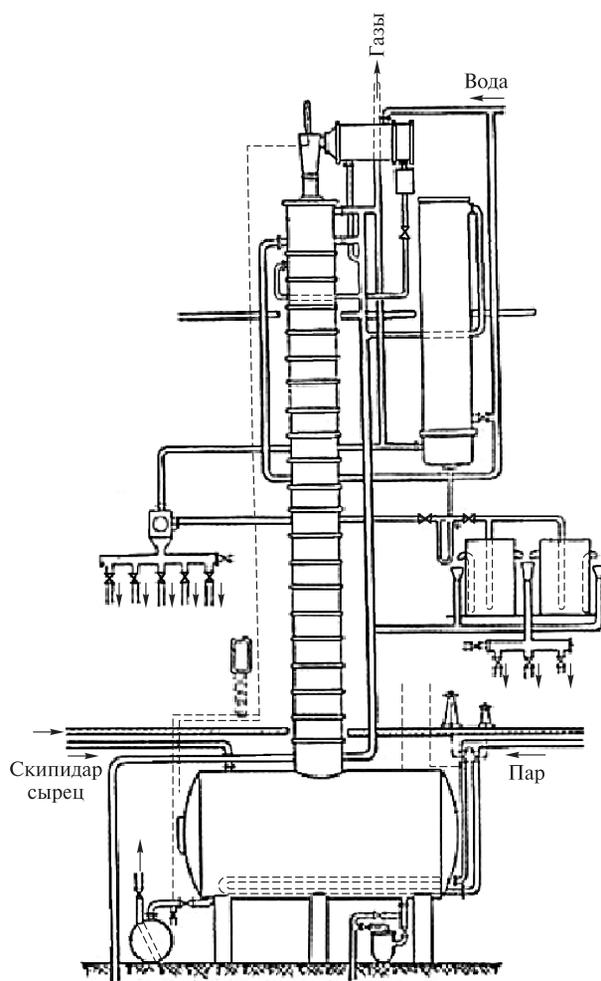


Рис. 23. Перегонная установка для очистки сульфатного скипидара

Fig. 23. Distillation unit for purification of sulfate turpentine

бочных продуктов в отработанных щелоках и газообразных продуктах сдувок [41, 42]. В отличие от щелочных методов, при применении которых отработанные щелока используются в основном в качестве топлива при регенерации щелочных компонентов, сульфитные щелока в меньшей степени пригодны для этих целей и перерабатываются преимущественно биохимическими и химическими методами [43]. Газообразные продукты сдувок, паров вскипания и выдувки щелока из варочного котла используются главным образом для регенерации диоксида серы.

В отработанный черный щелок при сульфитной варке переходит в виде низкомолекулярных продуктов 90...95 % маннана и галактана, 60...75 % ксилана и арабинана, около 2 % целлюлозы и 85...95 % лигнина, а также продукты деградации экстрактивных веществ [44]. При 10%-й концентрации черного щелока 1,5 % приходится на минеральную часть, 8,5 % — на органическую, 1/4 которой представлена сахарами, а 3/4 приходится на лигносульфонаты [45].

К утилизации отработанных сульфидных щелоков в различное время и в разных странах относились неоднозначно.

Так, в США, где развивался преимущественно сульфатный метод делигнификации, достаточно пренебрежительно относились к данному вторичному сырью. В многотомной американской монографии, изданной в 1922 г. и переведенной на русский язык в 1929 г., указано следующее: «...до сих пор оказалось невозможным получать и должным образом утилизировать органические вещества, находящиеся в выдувном щелоке...», «...при выпаривании выдувного щелока получается вязкое вещество, которое может употребляться в качестве связующей массы при поливке грунтовых дорог...». Напротив, в монографии Ф. Мюллера, изданной в Германии в 1926 г., читаем: «...в процессе варки получают щелока с содержанием 1,6...2,0 % способного к брожению сахара, который может быть переведен в 0,8...1,0 % алкоголя...» [46, 47]. Вот такой разный подход к одному и тому же продукту!

Действительно, еще в 1867 г. в патенте Тильгмана указывалось на возможность использования склеивающей способности сульфитного щелока, а Экман в 1874 г. получил из щелока аппретурное вещество, названное им декстроном. Еще большее внимание на сульфитный щелок обратил Мичерлих. Формула его патента (1875) гласит: «Приготовление дубильных веществ, клеящих веществ и сбрасываемой жидкости обработкой древесины раствором бисульфита кальция при температуре выше 108 °С, а также одновременное получение целлюлозы и уксусной кислоты как побочных продуктов при указанном производстве» [44].

Вот так, целлюлоза — побочный продукт!

Продолжая начатые в 1878 г. работы, Мичерлих в 1891 г. взял патент на получение этилового спирта из щелоков, однако осуществить процесс удалось лишь в 1907 г. двум предприимчивым шведам: Г. Валлину и Г. Экстрему. В 1908 г. в Швеции было начато производство сульфитного спирта в фабричном масштабе на предприятии в Скутчаре [44].

Патент Г. Валлина на постройку фабрик сульфитного спирта был приобретен шведским акционерным обществом «Этил», и уже в 1912 г. на трех его фабриках было произведено 4000 т этанола [44, 47].

На первых сульфитно-спиртовых заводах сбрасывание щелока происходило периодически в больших обмурованных плитками деревянных или бетонных чанах вместимостью 160...200 м³ при температуре 30...32 °С в течение 60...90 ч.

Во время Первой мировой войны 28 заводов сульфитного спирта Швеции, Норвегии и Финляндии успешно сбывали свою продукцию Гер-

мании для использования в качестве моторного топлива, однако после ее окончания половина из них была вынуждена приостановить свою работу.

В Германии производство этанола по способу общества «Этил» было начато в 1917 г. на предприятии в Кенигсберге (ныне Калининград, РФ), а к концу 1918 г. работало 12 предприятий производительностью по 3–4 т/сут. [46].

В 1928–1930 гг. только в Швеции работало 18 заводов с общей производительностью 20 000 т/год, а впоследствии были построены заводы в Швейцарии и Чехословакии. В США производство этанола из древесины не получило развития вследствие большого количества доступного сахаросодержащего сырья [44].

В СССР до середины 1930-х годов, отработанные сульфитные щелока не перерабатывались и сбрасывались в реки.

В 1923–1924 гг. Центральным Комитетом водоохранения были проведены исследования по загрязнению рек сбросами сульфит-целлюлозных заводов. Так, Балахнинский бумажный комбинат ежедневно сбрасывал в Волгу около 100 000 м³ сточных вод. В результате река была сильно загрязнена на протяжении более 36 км, что приводило к сильным бактериальным и грибным обрастаниям дна. В результате проведенных исследований было установлено, что этот процесс усугубляется в зимнее время, резко сокращая количество кислорода в воде, и через акваторию Волги проходило от 70 до 90 т/сут. хлопьев водного гриба (*Leptomitus lacteus*). В еще более плачевной ситуации были малые реки, на которых располагались Кондровская, Троицкая, Полотняно-заводская и другие фабрики [44]. Причиной этого были вещества, содержащиеся в сульфитных щелоках. В ноябре 1931 г. на XVI Всесоюзном водопроводном и санитарно-техническом съезде было создано Всесоюзное научное инженерно-техническое общество водоснабжения и санитарной техники. Было принято решение: «Применять утилизацию сточных вод, не считаясь с рентабельностью, рассматривая ее как замену очистке». При этом предполагалось использование органических веществ щелоков следующим образом [44]:

- 1) сахаристую часть пускать на спирт и дрожжи;
- 2) лигносульфонатную часть — на дубильные вещества, активный уголь, ванилин, эмульгаторы, связующие и топливо;
- 3) минеральную часть — на регенерацию извести.

По первому пункту были проведены крупномасштабные исследовательские работы во Всероссийском научно-исследовательском институте пищевой биотехнологии (ВНИИПБТ) под руководством профессора В.В. Первозванского,

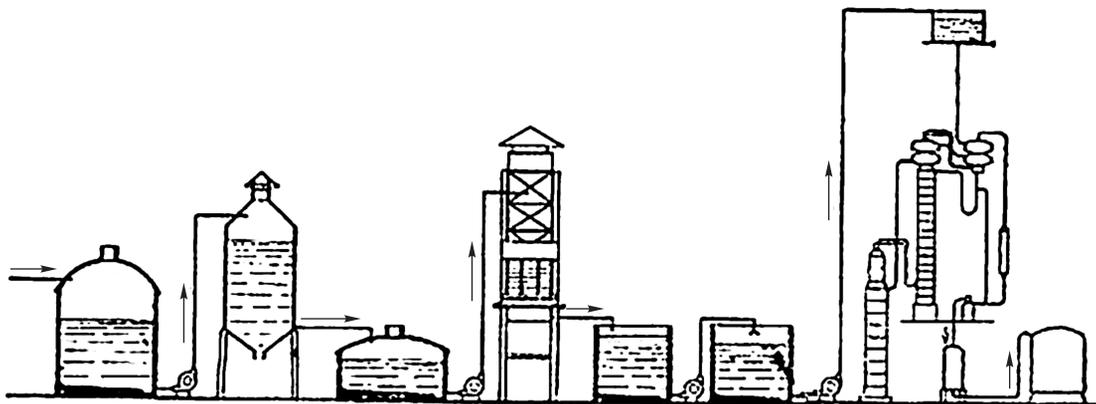


Рис. 24. Схема производства сульфитного спирта
Fig. 24. Scheme for the production of sulfite alcohol

завершившиеся пуском в 1935 г. первого в СССР предприятия по производству сульфидного спирта на Сясьском ЦБК. Завод был спроектирован под руководством инженера Мунтяна, консультируемого Г. Экстремом и был оборудован современной на тот момент техникой. Процесс брожения был организован по немецкому способу Ремера, разработанному в 1921 г. Спирт отгонялся и ректифицировался в колоннах аппарата Авинариуса и был значительно дешевле хлебного спирта [44]. Технологический процесс заключался в следующем: из сборника щелок температурой 60...70 °С поступал в нейтрализатор вместимостью 150...200 м³, в который подавалось известковое молоко и молотый известняк, он продувался воздухом для перемешивания и удаления CO₂, SO₂, фурфурола и пр. Нейтрализация продолжалась 2–3 ч, после чего осадок оседал на дно в течение 6 ч и осветленный щелок подавался в градирию для охлаждения. Охлажденный до 30...32 °С щелок поступал в активатор — деревянный чан емкостью 20 м³ с ложным дном, на котором помещался слой стружки высотой в 1,5...3 м с нанесенными на нее дрожжами, закрытый сверху решеткой. Щелок медленно, в течение 12...16 ч, проходя через стружку, подвергался брожению и переходил в аналогичный чан, но без стружки для дображивания, откуда поступал в колонну для ректификации (рис. 24) [44].

Полученный 96%-й спирт-ректификат содержал 99 % этанола, 0,5 % метанола, 0,1 % эфиров и 0,01 % альдегидов; полностью отсутствовали сивушные масла и фурфурол. Непрерывность процесса обеспечивалась полной стерильностью щелока, большим содержанием дрожжей, осажденных на стружке и стационарной кислотностью, предохраняющей от внешней инфекции [44, 46]. Впоследствии по отработанной на этом заводе технологии в 1938 г. был построен Камский (г. Краснокамск), а в 1940 г. — Балахнинский сульфитно-целлюлозный экстрактовый завод [48].

Другое использование сахаристой части сульфитных щелоков, в виде технологии получения хлебопекарных дрожжей, было впервые реализовано в 1939 г. в Финляндии на целлюлозном заводе Розенлю в г. Бьернеборг. На этом предприятии производилось около 400 т/год дрожжей с выходом 28 кг из 1 м³ щелока, или 140 % по отношению к сахарам, содержащимся в нем. Позже стали заниматься выращиванием и кормовых дрожжей с выходом до 200 % [44].

Идею получения дубителей из сульфитных щелоков, заявленную в 1875 г. А. Митчерлих пытался реализовать в 1893 г., построив в Баварии фабрику для получения сульфитных экстрактов, путем осаждения кальциево-серной кислотой и упариванием щелока. Однако этими продуктами кожевенная промышленность не заинтересовалась. И только с началом Первой мировой войны вернулись к их производству вследствие острого дефицита заморских дубителей.

В нашей стране в конце 1920-х годов на основе работ Политехнического института кожевенной промышленности были созданы технологии по получению из сульфитных щелоков экстрактов для дубления кож [48]. Первыми заводом в СССР, выпускавшим сульфитный дубильный экстракт был Свердловский целлюлозный завод, производивший уже в 1930 г. 2400 т этого продукта. За ним в 1932 г. последовали завод «Сокол» производительностью 5300 т и в 1934 г. Балахнинский сульфитно-целлюлозный экстрактовый завод с проектной мощностью 10 600 т/год экстрактов. Из этого количества в 1935 г. в кожевенной промышленности для дубления подошвенной кожи использовалось только 1750 т, остальной объем применялся в качестве сульфитного крепителя в литейном производстве взамен льняного масла и крахмала [48].

Невысокая эффективность сульфитных дубителей объяснялась значительным содержанием сахаров, выступающих в значении нетаннинов,

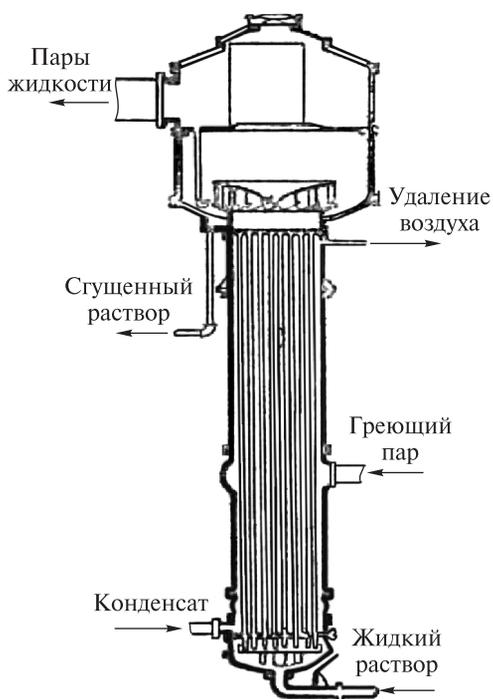


Рис. 25. Выпарной аппарат Кестнера
Fig. 25. Kästner evaporator

которые снижают доброкачественность продукта. На европейских заводах «Вальгов», «Мангейм», «Геш», «Пирно» и других в те годы уже давно в качестве сырья для дубильных экстрактов использовали не черный сульфитный щелок, а барду, оставшуюся после сбраживания сахаров на спиртовом производстве. Впоследствии такую технологию стали применять и на отечественных предприятиях [44].

Разработкой технологии получения ванилина из лигносульфоновой части черного сульфитного щелока в 1930-е годы занималась Р.Я. Рафанова под руководством академика П.Я. Демьянова в Институте кондитерской промышленности. Была разработана методология обработки сгущенного черного щелока путем кипячения в течение 6 ч в присутствии равного объема 20...25%-го раствора едкого натра. Выход ванилина составлял от 1 до 2,5 %. Эта технология впервые была внедрена в 1935 г. на Сясьском спиртовом заводе на построенной в нем опытно-промышленной установке мощностью 10 т/год ванилина, а в 1952 г. на его базе был пущен первый ванилиновый завод [44, 48].

Для увеличения концентрации черного щелока перед переработкой его на спирт, дубители и ванилин использовались выпарные аппараты, первым из которых был аппарат Кестнера, разработанный им в 1899 г., по аналогии с которым были сконструированы отечественные выпарные установки завода «Котло-аппарат», работавшие в 1930-е годы на целлюлозных заводах СССР (рис. 25).

На таких аппаратах можно было получить пасту — целлюлозный пек из черного щелока или барды с влажностью до 18...20 %. Одна из первых установок по производству целлюлозного пекса была пущена на целлюлозной фабрике в городе Вальзум на Нижнем Рейне в Германии [46].

Для выделения органической части сульфитного щелока в сухом состоянии американцем Говардом был предложен метод ступенчатого осаждения известью, по которому на первой стадии осаждается сульфит кальция, при дальнейшей обработке фильтрата осаждается до 80 % органической части, представленной в основном лигносульфонатами, а в растворе остаются углеводы и соли органических кислот [44].

Однако наиболее кардинальным методом утилизация сульфитных щелоков, начиная с 90-х годов XIX в., вплоть до 30-х годов XX в. было их сжигание после упаривания в качестве малоэффективного топлива [44].

В настоящее время органическую часть отработанных щелоков сульфитного производства используют для получения этанола, жидкого и твердого диоксида углерода, кормовых дрожжей и лигносульфонатов, являющихся, в свою очередь, сырьем для получения ванилина, сиреневого альдегида, дубителей, диспергаторов, связующих и т. п. Минеральная часть щелока используется путем сжигания сульфитных и бисульфитных щелоков после их биохимической переработки с целью регенерации натриевого и магниевого оснований и серы [14, 49].

В конце 1980-х годов на кафедре химической технологии древесины и полимеров МЛТИ, совместно с Центральным научно-исследовательским институтом бумаги (ЦНИИБ) и Всесоюзным проектно-конструкторским и технологическим институтом вторичных ресурсов (ВИВР) Госнаба СССР проводились работы по использованию лигносульфонатов на аммониевом основании в качестве связующих для гидролизного лигнина при получении из него малозольного кондиционного угля-сырца для последующей его активации [50, 51].

Биопереработка продуктов делигнификации в этанол

Подготовка щелока к биохимической переработке в настоящее время заключается в удалении диоксида серы, продувке смеси воздухом и паром, нейтрализации известковым молоком, а также инверсии сахаридов в бисульфитных красных щелоках [52]. Предусматривается также корректировка pH серной кислотой и подача питательных солей — хлорида калия и суперфосфата с добавлением аммиачной воды в качестве источника азота (рис. 26).

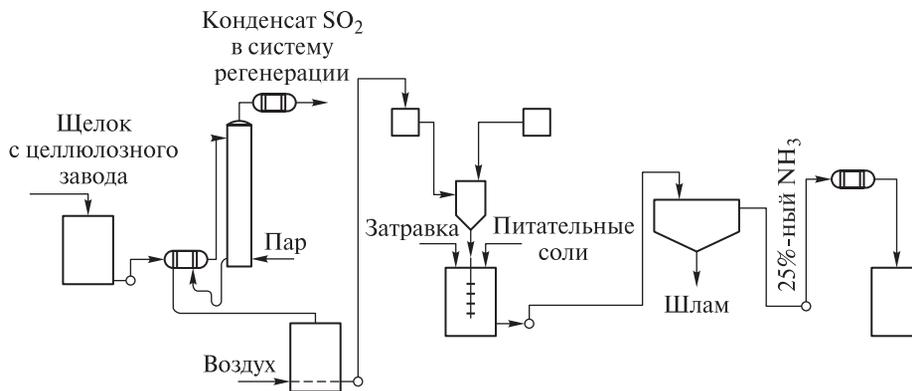


Рис. 26. Схема подготовки щелока к биохимической переработке
 Fig. 26. Scheme for preparing liquor for biochemical processing

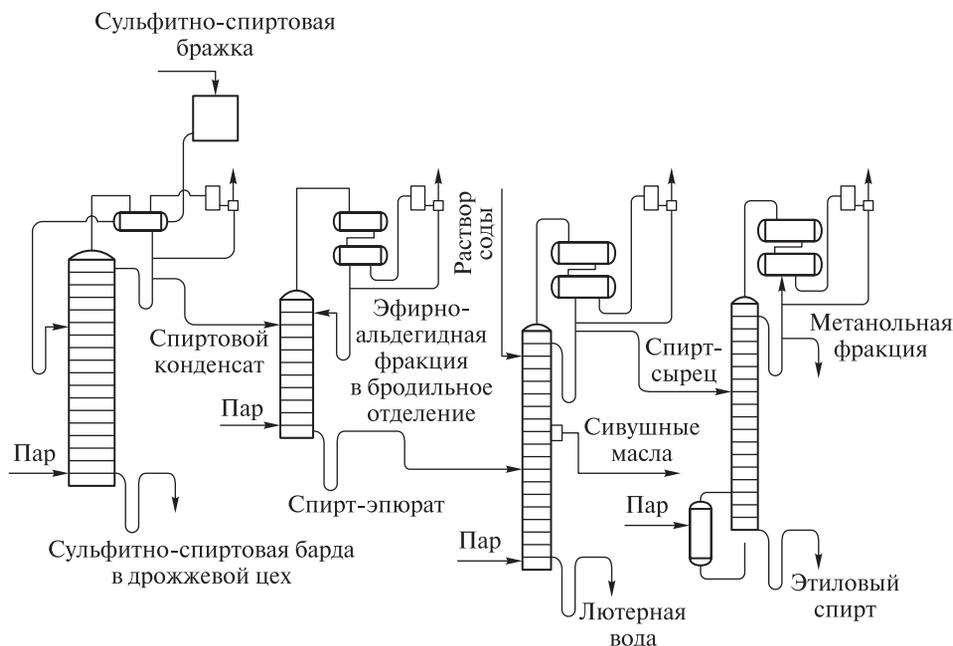


Рис. 27. Схема получения биоэтанола
 Fig. 27. Bioethanol production scheme

В спиртовом брожении участвуют только сбраживаемые сахара — гексозы, содержание которых в черном щелоке, полученном при варке хвойной древесины, составляет 1,5...2,0 %, а лиственной — 0,6...0,8 % [52, 53].

На современных установках по переработке черного щелока — сусла применяются два способа брожения: сепарационный и с плавающей насадкой. При сепарационном способе сусло смешивается с дрожжевой суспензией в головных чанах объемом 300 м³, в которых происходит брожение при температуре 32...35 °С. Ферментационная жидкость непрерывно перетекает в дображивающие чаны, из которых подается на сепаратор для отделения дрожжей от сульфитно-спиртовой бражки. Брожение с плавающей насадкой подразумевает сорбцию биомассы

дрожжей на остаточном целлюлозном волокне, удерживаемом на поверхности сусла, пузырьками выделяющегося диоксида углерода. Отделение этой целлюлозно-дрожжевой массы происходит после отстаивания в хвостовом чане. Концентрация дрожжей по первому способу составляет 15...20 г/л, продолжительность процесса 6...8 ч, по второму — 30...50 г/л и 8...10 ч. Концентрация этанола в сульфитно-спиртовой бражке в обоих случаях составляет 1,0...1,3 %. Отгонка спирта из бражки осуществляется на перегонных и ректификационных колоннах. На первой колонне отбирается 20...30 % спиртового конденсата, на второй — элюрационной — он очищается от эфиров и альдегидов, на третьей ректификационной колонне из жидкости удаляются сивушные масла — амиловые и изобутиловые спирты,

а также летучие кислоты (муравьиная и уксусная), а на четвертой колонне, метанольной, удалятся метиловый спирт в количестве 3...7 % (рис. 27).

Полученный этанол имеет концентрацию 96 % с выходом от 56 до 62 % сбраживаемых сахаров в количестве от 75 до 96 л на 1 т воздушно-сухой целлюлозы [14].

Образовавшаяся после отгонки спирта сульфитно-спиртовая барда используется для получения кормовых дрожжей. В барде после сбраживания гексоз остается около 1 % пентоз после варки хвойной древесины и до 3,0 % — после варки лиственной, которые и перерабатываются на кормовые дрожжи [14].

Наибольшее распространение на отечественных производствах получил дрожжерастительный аппарат — инокулятор с эрлифтной системой распределения воздуха емкостью от 300 до 600 м³. Параллельно с подачей воздуха в нижнюю часть аппарата подается барда с культурой дрожжей и образуется пена, в которой происходит генерация — удвоение биомассы дрожжей каждые 3...5 ч. Пена, содержащая дрожжи, опускается по периферии резервуара, погашается и поступает в двуступенчатый флотатор, в котором концентрируется до содержания живых дрожжевых клеток в суспензии на уровне 120 г/л. Дальнейшее концентрирование осуществляется в центрифугах до достижения концентрации живых дрожжей 600 г/л, что соответствует 15 % концентрации сухих дрожжей (рис. 28).

После этого суспензию подвергают плазмолу при температуре 80 °С, при которой клетки дрожжей разрушаются, и суспензия, превращаясь в однородный сироп, подвергается упариванию в двухкорпусной выпарной установке и сушке в двухвальцовых или распылительных сушилках.

Выход товарных дрожжей влажностью 8...10 % составляет 100...110 кг на 1 т воздушно-сухой целлюлозы [14].

Кроме барды в качестве субстрата для выращивания дрожжей можно использовать и черный щелок, содержащий как пентозные, так и гексозные сахара, перерабатываемые дрожжами [14, 52].

После выделения кормовых дрожжей образовавшаяся сульфитно-дрожжевая бражка, содержащая 7...9 % лигносульфонатов, упаривается до концентрации 50...55 % и выпускается в виде товарного продукта, находящего широкое применение [53, 55].

В случае отсутствия потребителей бражка сжигается наряду с черным щелоком в котлах, аналогичных применяемым на сульфат-целлюлозных заводах [50, 56].

Газообразные побочные продукты переработки щелоков

Диоксид углерода, образующийся в процессе биохимической переработки субстратов, охлаждается и сжижается при давлении 7,2 МПа или переводится в твердое состояние с образованием сухого льда [14].

Газообразные продукты сдувок сульфитных варок целлюлозы традиционно используют для регенерации диоксида серы, хотя в них также содержится широкая гамма органических соединений. Так, в пересчете на 1 т воздушно-сухой целлюлозы в процессе варки образуются следующие соединения: фурфурол — 4 кг, метанол — 1...2 кг, цимол — 1 кг, ацетон — 0,6 кг, уксусная кислота — 0,4 кг. Они входят в состав парогазовой смеси, выдуваемой из котла. В зависимости от температуры выдувки диоксид серы может

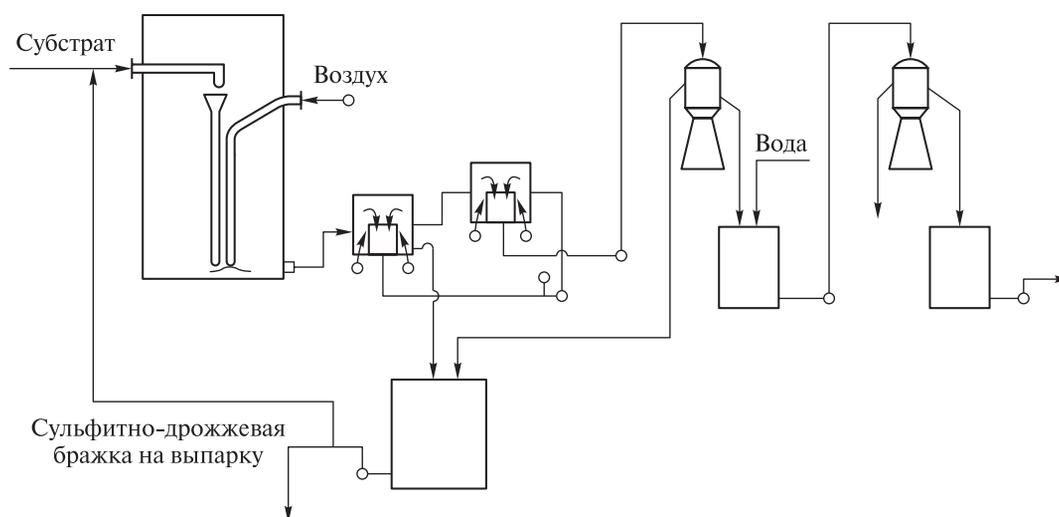


Рис. 28. Схема получения кормовых дрожжей
Fig. 28. Scheme for obtaining feed yeast

составлять от 20 до 85 % объема газов, выдуваемых из котла без учета паров воды [44].

Частичное использование диоксида серы было предусмотрено еще в патенте Тилмана (1866): «Газ, который нужно будет удалить из котла, спустя 6...7 ч после начала варки нужно направить соответствующим образом в устроенный конденсатор, чтобы там его поглотить холодной водой и вновь использовать для второй варки».

Митчерлих в 1874 г. предлагал диоксид серы, выделяемый из котла вместе с паром, направлять в кислотную башню — турму Митчерлиха вместе с газом из серной печи, а Кельнер в 1882 г. предлагал охлаждать продукты сдувок в специальном холодильнике и направлять крепкий конденсат в свежую кислоту, а слабый — в сток. Отдувочные газы Кельнер в 1890 г. предложил использовать для нагревания свежей кислоты путем пропуска их через змеевик. Несколько позднее, норвежцы Дреусен, Хартвиг и Вииг предложили пропускать газообразные продукты непосредственно через кислоту для ее нагрева и укрепления перед подачей в котел [44]. Все эти новшества мало использовались в промышленном производстве как у нас в стране, так и за рубежом.

Установки по регенерации диоксида серы в 1920-е годы на наших предприятиях, таких как Кедровский, Окуловский и другие, представляли собой открытые или закрытые сборники, переоборудованные из старых варочных котлов, в которые через холодильники поступали сдувочные продукты, а непоглощенные газы направлялись в чаны с холодной водой, образуя кислотную воду. В 1930-е годы на отечественных предприятиях стали использовать специальные поглотительные баки для сдувочных газов, снабженные для их подачи спирально расположенными на дне труба-

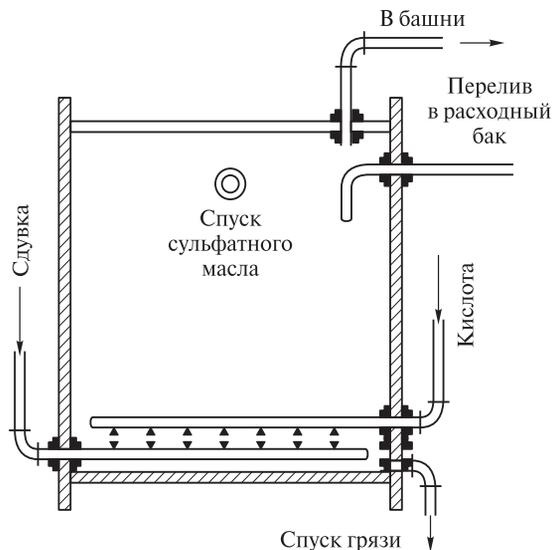


Рис. 29. Схема поглотительного бака газообразных веществ
Fig. 29. Diagram of an absorption tank for gaseous substances

ми с мелкими отверстиями для барботаж через жидкий слой турменской кислоты, подающейся непрерывно через нижнюю часть бака (рис. 29).

Баки снабжались устройством для спуска сульфитного масла состоящего в основном из цимола, направляемого в специальный сборник [14].

При холодной регенерации продукты сдувки из котла направлялись в трубчатый холодильник, где охлаждались до 35...45 °С и поступали в поглотительный бак, из которого перетекали в бак с варочной кислотой для закачивания в котел. Непоглощенные газы поступали в дополнительный конденсатор с керамической насадкой, орошаемой турменской кислотой, а затем в турму Митчерлиха, заполненную известняком, орошаемым холодной водой (рис. 30) [44].

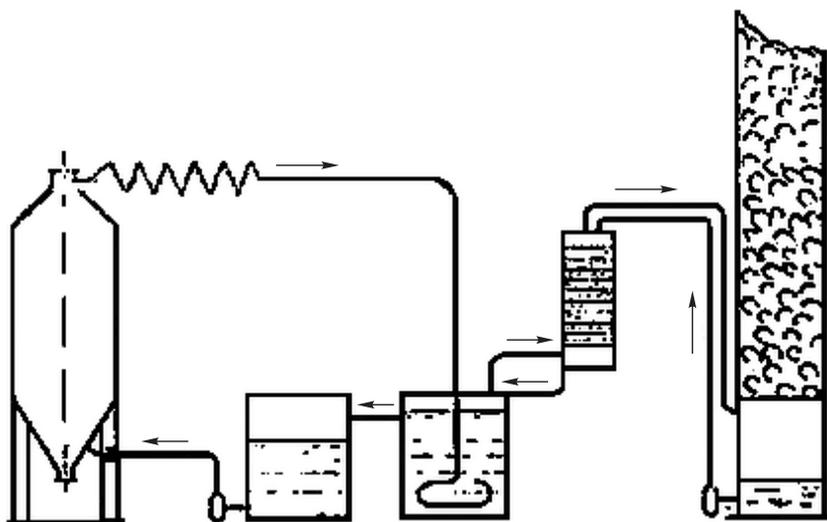


Рис. 30. Схема регенерационной установки CO₂
Fig. 30. Scheme of CO₂ regeneration plant

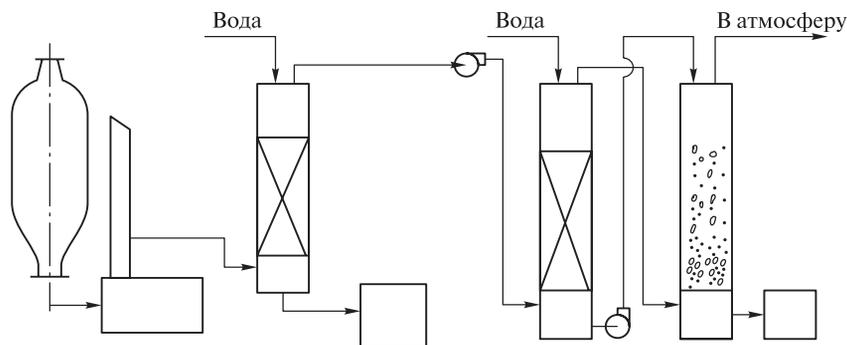


Рис. 31. Схема установки регенерации SO_2 и тепла из паров вскипания
Fig. 31. Diagram of the installation for the regeneration of SO_2 and heat from boiling vapors

При горячей регенерации тепло сдувок использовали для нагрева кислоты, а поглощение ею SO_2 осуществляли при большом давлении [13, 46].

В 1950-е годы стали использовать для регенерации тепла и SO_2 паров вскипания черного щелока при его выдувке из котла в герметичные счежи (рис. 31) [13].

В 1963 г. В. Сомером был разработан метод получения жидкого диоксида серы при охлаждении сдувочных газов до $15...20^\circ\text{C}$ при давлении $0,4...0,5$ МПа [14, 54].

Из органических соединений сдувочных газов утилизируется только цимол, содержащий до 15 % смеси сесквитерпенов, борнеола, фурфурола и некоторых других природных соединений.

Выделение и очистка фурфурола не производятся, хотя еще в 1960-е годы профессор Б.Д. Богомолым (1914–1999, Архангельск) был предложен метод и схема его очистки [4, 14].

Выводы

Анализ исторических аспектов развития технологии использования щелочных компонентов делигнификационных технологий растительного сырья показывает, что сложнейшие по компонентному составу и агрессивности сред перерабатываемые смеси не позволяют с приемлемой технологической эффективностью осуществлять их полное рациональное использование. Разработка усовершенствованных технологий практически была приостановлена на рубеже начала — середины XX в. и сегодня нуждается в современном реформировании, учитывая новейшие достижения в области организации безопасных и эффективных процессов, связанных с массопереносом в многокомпонентных средах в технологиях химической переработки древесного сырья.

Ввиду наличия неограниченных ресурсов древесного сырья, из которого можно получать широкий спектр полезных продуктов, очевидна целесообразность продолжения исследований и разработок в данном направлении с учетом экологизации современных технологий.

Список литературы

- [1] Liu T., Du G., Wu Y., Liu C., Yang H., Ni K., Yin C., Ran X., Gao W., Yang L. Activated wood surface and functionalized cellulose co-building strong chemical wood bonding performance // *Carbohydrate Polymers*, 2023, v. 305, no. 4, p. 120573. <https://doi.org/10.1016/j.carbpol.2023.120573>
- [2] Rajendran N., Runge T., Bergman R.D., Nepal P., Houtman C. Techno-economic analysis and life cycle assessment of cellulose nanocrystals production from wood pulp // *Bioresource Technology*, 2023, v. 377, no. 6, p. 128955. <https://doi.org/10.1016/j.biortech.2023.128955>
- [3] He Z., Wang M., Ma S. Porous lignin-based composites for oil/water separation: A review // *International J. of Biological Macromolecules*, 2024, v. 260, no. 3, p. 129569. <https://doi.org/10.1016/j.ijbiomac.2024.129569>
- [4] Мюллер Ф. Производство бумаги и его оборудование. В 3-х т. М.-Л.: Государственное научно-техническое издательство, 1931. Т. 1. Ч. 1. 228 с.
- [5] Kuai B., Xu Q., Zhan T., Lv J., Cai L., Gong M., Zhang Y. Development of super dimensional stable poplar structure with fire and mildew resistance by delignification/densification of wood with highly aligned cellulose molecules // *International J. of Biological Macromolecules*, 2024, v. 257, no. 2, 128572. <https://doi.org/10.1016/j.ijbiomac.2023.128572>
- [6] Кононов Г.Н., Веревкин А.Н., Сердюкова Ю.В., Миронов Д.А. Древесина как химическое сырье. История и современность. IV. Делигнификация древесины как путь получения целлюлозы. Часть I // *Лесной вестник / Forestry Bulletin*, 2022. Т. 26. № 1. С. 97–113. DOI: 10.18698/2542-1468-2022-1-97-113
- [7] Rummukainen H., Horhammer H., Kuusela P., Kilpi J., Sirvio J., Makela M. Traditional or adaptive design of experiments? A pilot-scale comparison on wood delignification // *Heliyon*, 2024, v. 10, no. 1, e24484. <https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2024.e24484>
- [8] Непенин Н.Н. Технология целлюлозы. В 3-х т. 2-е изд. М.: Лесная пром-сть, 1990. Т. 2. 597 с.
- [9] Пен Р.З. Технология целлюлозы. В 2-х т. Красноярск: Изд-во СибГТУ, 2006. 349 с.
- [10] Gonzalez G., Ehman N., Felissia F.E., Area M.C. Strategies towards a green solvent biorefinery: Efficient delignification of lignocellulosic biomass residues by gamma-valerolactone/water catalyzed system // *Industrial Crops and Products*, 2023, v. 205, no. 12, p. 117535. <https://doi.org/10.1016/j.indcrop.2023.117535>
- [11] Jamaldeen S.B., Kurade M.B., Basak B., Yoo C.G., Oh K.K., Jeon B.H., Kim T.H. A review on physico-chemical delignification as a pretreatment of lignocellulosic bio-

- mass for enhanced bioconversion // *Bioresource Technology*, 2022, v. 346, no. 2, p. 126591. <https://doi.org/10.1016/j.biortech.2021.126591>
- [12] Непенин Н.Н. Производство целлюлозы. М.: Гослестехиздат, 1940. 992 с.
- [13] Непенин Н.Н. Технология целлюлозы. В 2-х т. М.: Гослестехиздат 1963. Т. 2. 936 с.
- [14] Непенин Н.Н. Технология целлюлозы. В 2-х т. М.: Гослестехиздат 1956. Т. 1. 748 с.
- [15] Sihelnik S., Krumpolec R., Tučekova Z.K., Kelar J., Stupavská M., Cernak M., Kovacik D. Atmospheric-pressure air plasma sources for cleaning and activation of float soda-lime glass: Effects and comparison // *Surfaces and Interfaces*, 2023, v. 40, no. 8, p. 103080. <https://doi.org/10.1016/j.surfin.2023.103080>
- [16] Jiang Z., Du C., Xu J., Wang M. Research on baking soda media blasting technology for achieving the cleaner production for stripping PTFE coatings in food utensils remanufacturing process: FEM analysis and economic appraisal // *J. of Cleaner Production*, 2023, v. 425, no. 11, p. 138977. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2023.138977>
- [17] 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
- [18] Iskalieva A., Yimmou B.M., Gogate P.R., Horvath M., Horvath P.G., Csoka L. Cavitation assisted delignification of wheat straw: A review // *Ultrasonics Sonochemistry*, 2012, v. 19, no. 10, pp. 984–993. <https://doi.org/10.1016/j.ultsonch.2012.02.007>
- [19] Головин А.А. Лесохимические продукты сульфатцеллюлозного производства. М.: Лесная пром-сть, 1988. 288 с.
- [20] Pereira G.N., Cesca K., Cubas A.L., Bianchet R.T., Junior S.E., Zanella E., Stambuk B.U., Poletto P., de Oliveira D. Non-thermal plasma as an innovative pretreatment technology in delignification of brewery by-product // *Innovative Food Science & Emerging Technologies*, 2021, v. 74, no. 12, p. 102827. <https://doi.org/10.1016/j.ifset.2021.102827>
- [21] Mondal S., Neogi S., Chakraborty S. Experimental and kinetic analyses of delignification of lignocellulosic grass with minimal holocellulose loss during pretreatment // *Bioresource Technology Reports*, 2023, v. 23, no. 9, p. 101549. <https://doi.org/10.1016/j.biteb.2023.101549>
- [22] Zahoor A., Madadi M., Nazar M., Waqas S., Shah A., Li N., Imtiaz M., Zhong Z., Zhu D. Green alkaline fractionation of sugarcane bagasse at cold temperature improves digestibility and delignification without the washing processes and release of hazardous waste // *Industrial Crops and Products*, 2023, v. 200 A, no. 9, p. 116815. <https://doi.org/10.1016/j.indcrop.2023.116815>
- [23] Desservettaz M., Pikridas M., Stavroulas I., Bougiatioti A., Liakakou E., Hatzianastassiou N., Sciari F., Michalopoulos N., Boursoukidis E. Emission of volatile organic compounds from residential biomass burning and their rapid chemical transformations // *Science of The Total Environment*, 2023, v. 903, no. 12, p. 166592. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2023.166592>
- [24] Pola L., Collado S., Worner M., Hornung U., Diaz M. Valorisation of the residual aqueous phase from hydrothermally liquefied black liquor by persulfate-based advanced oxidation // *Chemosphere*, 2023, v. 339, no. 10, p. 139737. <https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2023.139737>
- [25] Богомолов Б.Д., Соколова А.А. Побочные продукты сульфат-целлюлозного производства. М.: Гослестехиздат, 1962. 436 с.
- [26] Производство полуфабрикатов и бумаги / под ред. И.И. Ковалевского. В 3-х т. М.: НТС Бумпром, 1929. Т. 1. Ч. 6.
- [27] Кононов Г.Н., Азаров В.И., Розуваев Д.В. Изучение процессов структурирования при термоллизе лигнинсодержащего сырья // *Научные труды МГУЛ*, 1998. Вып. 290. С. 90.
- [28] Golovko A.K., Grin'ko A.A. Structural transformations of petroleum resins and their fractions by thermolysis // *Petroleum Chemistry*, 2018, v. 58, no. 8, pp. 599–606.
- [29] Verdross P., Guincharde S., Woodward R., Bismarck A. Black liquor-based epoxy resin: Thermosets from untreated kraft lignin // *Chemical Engineering J.*, 2023, v. 475, no. 11, p. 145787. <https://doi.org/10.1016/j.cej.2023.145787>
- [30] Duangkaew N., Lacson C.F., Grisdanurak N., Neramittagapong S., de Luna M.D. Lignin extraction from kraft black liquor and its conversion to phenol-rich oil by hydrothermal liquefaction process // *Bioresource Technology Reports*, 2024, v. 25, no. 2, p. 101759. <https://doi.org/10.1016/j.biteb.2023.101759>
- [31] Химия и использование лигнина / под ред. В.Н. Сергеева. Рига: Зинатне, 1974. 480 с.
- [32] Wang T., Zhang Q., Xiong Q., Huang J., Du D., Liu B., Xue Y. Effect of wood sawdust on pyrolytic performance of dyeing sludge: Focusing on the sulfur migration and transformation // *Separation and Purification Technology*, 2023, v. 323, no. 10, p. 124421. <https://doi.org/10.1016/j.seppur.2023.124421>
- [33] Ghaffari R., Arumughan V., Larsson A. Specific ion effects on lignin adsorption and transport through cellulose confinements // *J. of Colloid and Interface Science*, 2024, v. 653 B, no. 1, pp. 1662–1670. <https://doi.org/10.1016/j.jcis.2023.09.037>
- [34] Manufacture of lignin microparticles by anti-solvent precipitation: Effect of preparation temperature and presence of sodium dodecyl sulfate // *Food Research International*, 2014, v. 66, no. 12, pp. 93–99. <https://doi.org/10.1016/j.foodres.2014.08.046>
- [35] Shah S.W., Xu Q., Ullah M.W., Sethupathy Z.S., Morales G.M., Sun J., Zhu D. Lignin-based additive materials: A review of current status, challenges, and future perspectives // *Additive Manufacturing*, 2023, v. 74, no. 7, p. 103711. <https://doi.org/10.1016/j.addma.2023.103711>
- [36] Азаров В.И., Кононов Г.Н., Зайцева Г.В. Исследование модификации карбамидоформальдегидных олигомеров техническими лигнинами и продуктами на их основе // *Научные труды МЛТИ*, 1989. Вып. 215. С. 120–123.
- [37] Производство полуфабрикатов и бумаги. В 3-х т. / под ред. И.И. Ковалевского. М.: НТС Бумпром, 1929. Т. 1. Ч. 4.
- [38] Mzimba N.F., Moteete A., van Vuuren S. Southern African plants used as soap substitutes; phytochemical, antimicrobial, toxicity and formulation potential // *South African J. of Botany*, 2023, v. 163, no. 12, pp. 673–683. <https://doi.org/10.1016/j.sajb.2023.11.002>
- [39] Непенин Н.Н. Технология целлюлозы. В 3-х т. М.: Экология, 1994. Т. 3. 590 с.
- [40] Ham J.E., Wells J.R. Surface chemistry of a pine-oil cleaner and other terpene mixtures with ozone on vinyl flooring tiles // *Chemosphere*, 2011, v. 83, no. 4, pp. 327–333. <https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2010.12.03>
- [41] Laurichesse S., Averous L. Chemical modification of lignins: Towards biobased polymers // *Progress in Polymer Science*, 2014, v. 39, no. 7, pp. 1266–1290. <https://doi.org/10.1016/j.progpolymsci.2013.11.004>
- [42] Wenzl H.F. The production of pulp by alkaline reagents // *The Chemical Technology of Wood*: Academic Press, 1970, pp. 507–657. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-743450-6.50013-7>

- [43] He Q., Chen H. Increased efficiency of butanol production from spent sulfite liquor by removal of fermentation inhibitors // *J. of Cleaner Production*, 2020, v. 263, no. 8, 121356. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2020.121356>
- [44] Никитин В.Н. Теоретические основы делигнификации. Л.: Лесная пром-сть, 1981. 295 с.
- [45] Al-Kaabi Z., Pradhan R., Thevathasan N., Gordon A., Chiang Y.W., Dutta A. Bio-carbon production by oxidation and hydrothermal carbonization of paper recycling black liquor // *J. of Cleaner Production*, 2019, v. 213, no. 3, pp. 332–341. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2018.12.175>
- [46] Лесохимические продукты сульфат-целлюлозного производства. М.: Лесная пром-сть, 1988. 288 с.
- [47] Фотиев С.А. Технология бумаги. В 4-х т. М.-Л.: Гослестехиздат, 1938. Т. 3. 560 с.
- [48] Химия древесины. Ч. I. Лигнин и его использование / под ред. П.Н. Одинцова. Рига: Зинатне, 1968. 399 с.
- [49] Смоляницкий Б.З., Зайцев А.Н. Регенерация сульфатных щелоков. М.: Лесная пром-сть, 1987. 312 с.
- [50] Непенин Н.Н. Технология целлюлозы. В 3-х т. М.: Лесная промышленность, 1976. Т. 1. 624 с.
- [51] Кононов Г.Н., Буглай Б.М., Азаров В.И., Рыбин Б.М., Ерохин С.Н. Водорастворимые композиции для декоративно-защитной отделки древесины // *ИзВУЗ Лесной журнал*, 1985. № 2. С. 65.
- [52] Zhang L., Larsson A., Moldin A., Edlund U. Comparison of lignin distribution, structure, and morphology in wheat straw and wood // *Industrial Crops and Products*, 2022, v. 187 B, no. 11, p. 115432. <https://doi.org/10.1016/j.indcrop.2022.115432>
- [53] Demirbas M.F. Biorefineries for biofuel upgrading: A critical review // *Applied Energy*, 2009, v. 86, no. 11, pp. S151–S161. <https://doi.org/10.1016/j.apenergy.2009.04.043>
- [54] Сапотницкий С.А. Использование сульфитных щелоков. М.: Лесная пром-сть, 1981. 224 с.
- [55] Чудаков М.И. Промышленное использование лигнина. М.: Лесная пром-сть, 1983. 200 с.
- [56] Кошмаров Н.Ф., Летонмяки М.Н., Пиллогина Л.Г. Сульфатный черный щелок и его использование. М.: Лесная пром-сть, 1969. 184 с.

Сведения об авторах

Кононов Георгий Николаевич — канд. техн. наук, доцент, ФГБОУ ВО «Московский государственный технический университет имени Н.Э. Баумана (национальный исследовательский университет)», (Мытищинский филиал), академик РАЕН, уч. секретарь секции «Химия и химическая технология древесины» РХО им. Д.И. Менделеева, kononov@bmstu.ru

Иванкин Андрей Николаевич  — д-р хим. наук, академик МАН ВШ, профессор кафедры химии и химических технологий в лесном комплексе, ФГБОУ ВО «Московский государственный технический университет имени Н.Э. Баумана (национальный исследовательский университет)», (Мытищинский филиал), aivankin@inbox.ru

Сердюкова Юлия Владимировна — ст. преподаватель, ФГБОУ ВО «Московский государственный технический университет имени Н.Э. Баумана (национальный исследовательский университет)», (Мытищинский филиал), caf-htdip@bmstu.ru

Петухов Владимир Алексеевич — студент, ФГБОУ ВО «Московский государственный технический университет имени Н.Э. Баумана (национальный исследовательский университет)» (Мытищинский филиал), porovivviv24@gmail.com

Поступила в редакцию 01.11.2023

Одобрено после рецензирования 31.01.2024

Принята к публикации 17.10.2024

WOOD AS A CHEMICAL RAW MATERIAL. HISTORY AND MODERNITY.

VI. NON-CELLULOSE WOOD DELIGNIFICATION PRODUCTS AS A SOURCE OF ENERGY AND RAW MATERIAL FOR CHEMICAL PROCESSING

G.N. Kononov, A.N. Ivankin[✉], Yu.V. Serdyukova, V.A. Petukhov

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

aivankin@inbox.ru

The article is devoted to the history of the study and use of non-cellulose wood delignification products by alkaline and sulfite methods, using substances contained in waste lyes and gas blows and carried out in wood delignification processes. The processes of regeneration of soda and sulfate delignification liquors and their instrumental design, formed at the historical stages of development, are described in detail. The methods of using by-products of alkaline delignification, which are not used as energy carriers in the processes of regeneration of lyes, as well as the entire complex of compounds formed during sulfite delignification using chemical and biochemical processing methods against the historical background of the development of chemical wood technology, are considered. This article is the sixth in the series «Wood as a chemical raw material. History and modernity»; previous parts were published earlier in the Forestry Bulletin, 2020, t. 24, no. 1, no. 5; 2021, t. 25, no. 1, no. 3, no. 5.

Keywords: lye, regeneration, alkaline lignin, lignosulfonates

Suggested citation: Kononov G.N., Ivankin A.N., Serdyukova Yu.V., Petukhov V.A. *Drevesina kak khimicheskoe syr'e. Istoriya i sovremennost'. VI. Netsellyuloznye produkty delignifikatsii drevesiny kak istochnik energii i syr'ya dlya khimicheskoy pererabotki* [Wood as a chemical raw material. History and modernity. VI. Non-cellulose wood delignification products as a source of energy and raw material for chemical processing]. *Lesnoy vestnik / Forestry Bulletin*, 2024, vol. 28, no. 6, pp. 76–103. DOI: 10.18698/2542-1468-2024-6-76-103

References

- [1] Liu T., Du G., Wu Y., Liu C., Yang H., Ni K., Yin C., Ran X., Gao W., Yang L. Activated wood surface and functionalized cellulose co-building strong chemical wood bonding performance. *Carbohydrate Polymers*, 2023, v. 305, no. 4, p. 120573. <https://doi.org/10.1016/j.carbpol.2023.120573>
- [2] Rajendran N., Runge T., Bergman R.D., Nepal P., Houtman C. Techno-economic analysis and life cycle assessment of cellulose nanocrystals production from wood pulp. *Bioresource Technology*, 2023, v. 377, no. 6, p. 128955. <https://doi.org/10.1016/j.biortech.2023.128955>
- [3] He Z., Wang M., Ma S. Porous lignin-based composites for oil/water separation: A review. *International J. of Biological Macromolecules*, 2024, v. 260, no. 3, p. 129569. <https://doi.org/10.1016/j.ijbiomac.2024.129569>
- [4] Müller F. *Proizvodstvo bumagi i ego oborudovanie* [Paper Production and Its Equipment]. In 3 vol. Moscow-Leningrad: State Scientific and Technical Publishing House, 1931, v. 1, part 1, 228 p.
- [5] Kuai B., Xu Q., Zhan T., Lv J., Cai L., Gong M., Zhang Y. Development of super dimensional stable poplar structure with fire and mildew resistance by delignification/densification of wood with highly aligned cellulose molecules. *International J. of Biological Macromolecules*, 2024, v. 257, no. 2, p. 128572. <https://doi.org/10.1016/j.ijbiomac.2023.128572>
- [6] Kononov G.N., Verevkin A.N., Serdyukova Ju.V., Mironov D.A. *Drevesina kak khimicheskoe syr'e. Istoriya i sovremennost'. IV. Delignifikatsiya drevesiny kak put' polucheniya tsellyulozy. Chast' I* [Wood as chemical raw material. History and modernity. IV. Wood delignification to produce cellulose. Part I]. *Lesnoy vestnik / Forestry Bulletin*, 2022, vol. 26, no. 1, pp. 97–113. DOI: 10.18698/2542-1468-2022-1-97-113
- [7] Rummukainen H., Horhammer H., Kuusela P., Kilpi J., Sirvio J., Makela M. Traditional or adaptive design of experiments? A pilot-scale comparison on wood delignification. *Heliyon*, 2024, v. 10, no. 1, e24484. <https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2024.e24484>
- [8] Nepenin N.N. *Tekhnologiya tsellyulozy* [Cellulose Technology]. In 3 v. Moscow: Lesnaya promyshlennost [Forest industry], 1990, v. 2, 597 p.
- [9] Pen R.Z. *Tekhnologiya tsellyulozy* [Cellulose technology]. In 2 v. Krasnoyarsk: SibSTU, 2006, 349 p.
- [10] Gonzalez G., Ehman N., Felissia F.E., Area M.C. Strategies towards a green solvent biorefinery: Efficient delignification of lignocellulosic biomass residues by gamma-valerolactone/water catalyzed system. *Industrial Crops and Products*, 2023, v. 205, no. 12, p. 117535. <https://doi.org/10.1016/j.indcrop.2023.117535>
- [11] Jamaldeen S.B., Kurade M.B., Basak B., Yoo C.G., Oh K.K., Jeon B.H., Kim T.H. A review on physico-chemical delignification as a pretreatment of lignocellulosic biomass for enhanced bioconversion. *Bioresource Technology*, 2022, v. 346, no. 2, p. 126591. <https://doi.org/10.1016/j.biortech.2021.126591>
- [12] Nepenin N.N. *Proizvodstvo tsellyulozy* [Cellulose production]. Moscow–Leningrad: Goslestekhizdat, 1940, 992 p.
- [13] Nepenin H.N. *Tekhnologiya tsellyulozy* [Cellulose technology]. In 2 v. Moscow: Goslesbumizdat 1963, v. 2, 936 p.
- [14] Nepenin N.N. *Tekhnologiya tsellyulozy* [Cellulose technology]. In 2 v. Moscow: Goslesbumizdat, 1956, v. 1, 748 p.
- [15] Sihelnik S., Krumpolec R., Tučekova Z.K., Kelar J., Stupavská M., Cernak M., Kovacik D. Atmospheric-pressure air plasma sources for cleaning and activation of float soda-lime glass: Effects and comparison. *Surfaces and Interfaces*, 2023, v. 40, no. 8, p. 103080. <https://doi.org/10.1016/j.surfin.2023.103080>
- [16] Jiang Z., Du C., Xu J., Wang M. Research on baking soda media blasting technology for achieving the cleaner production for stripping PTFE coatings in food utensils remanufacturing process: FEM analysis and economic appraisal. *J. of Cleaner Production*, 2023, v. 425, no. 11, p. 138977. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2023.138977>

- [17] Kononov G.N., Verevkin A.N., Serdyukova Ju.V., Zhukova V.A. *Drevesina kak khimicheskoe syr'ye. 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
- [18] Iskalieva A., Yimmou B.M., Gogate P.R., Horvath M., Horvath P.G., Csoka L. Cavitation assisted delignification of wheat straw: A review. *Ultrasonics Sonochemistry*, 2012, v. 19, no. 10, pp. 984–993. <https://doi.org/10.1016/j.ultsonch.2012.02.007>
- [19] Golovin A.A. *Lesokhimicheskie produkty sul'fat-tsellyuloznogo proizvodstva* [Forest chemical products of sulfate cellulose production]. Moscow: Lesnaya promyshlennost' [Forest industry], 1988, 288 p.
- [20] Pereira G.N., Cesca K., Cubas A.L., Bianchet R.T., Junior S.E., Zanella E., Stambuk B.U., Poletto P., de Oliveira D. Non-thermal plasma as an innovative pretreatment technology in delignification of brewery by-product. *Innovative Food Science & Emerging Technologies*, 2021, v. 74, no. 12, p. 102827. <https://doi.org/10.1016/j.ifset.2021.102827>
- [21] Mondal S., Neogi S., Chakraborty S. Experimental and kinetic analyses of delignification of lignocellulosic grass with minimal holocellulose loss during pretreatment. *Bioresource Technology Reports*, 2023, v. 23, no. 9, p. 101549. <https://doi.org/10.1016/j.biteb.2023.101549>
- [22] Zahoor A., Madadi M., Nazar M., Waqas S., Shah A., Li N., Imtiaz M., Zhong Z., Zhu D. Green alkaline fractionation of sugarcane bagasse at cold temperature improves digestibility and delignification without the washing processes and release of hazardous waste. *Industrial Crops and Products*, 2023, v. 200 A, no. 9, p. 116815. <https://doi.org/10.1016/j.indcrop.2023.116815>
- [23] Desservettaz M., Pikridas M., Stavroulas I., Bougiatioti A., Liakakou E., Hatzianastassiou N., Sciare J., Mihalopoulos N., Boutsoukidis E. Emission of volatile organic compounds from residential biomass burning and their rapid chemical transformations. *Science of the Total Environment*, 2023, v. 903, no. 12, p. 166592. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2023.166592>
- [24] Pola L., Collado S., Worner M., Hornung U., Diaz M. Valorisation of the residual aqueous phase from hydrothermally liquefied black liquor by persulphate-based advanced oxidation. *Chemosphere*, 2023, v. 339, no. 10, p. 139737. <https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2023.139737>
- [25] Bogomolov B.D., Sokolova A.A. *Pobochnye produkty sul'fat-tsellyuloznogo proizvodstva* [By-products of sulfate cellulose production]. Moscow: Goslesbumizdat, 1962, 436 p.
- [26] *Proizvodstvo polufabrikatov i bumagi* [Production of semi-finished products and paper]. Ed. I. I. Kovalevsky. In 3 v. Moscow: NTS Bumprom, 1929, v. 1, part 6.
- [27] Kononov G.N., Azarov V.I., Rozuvaev D.V. *Izuchenie protsessov strukturirovaniya pri termolize ligninsoderzhashchego syr'ya* [Study of structuring processes during thermolysis of lignin-containing raw materials]. *Nauchnye trudy MGUL* [Scientific works of Moscow State University of Forestry], 1998, iss. 290, p. 90.
- [28] Golovko A.K., Grin'ko A.A. Structural transformations of petroleum resins and their fractions by thermolysis. *Petroleum Chemistry*, 2018, v. 58, no. 8, pp. 599–606.
- [29] Verdross P., Guinchar S., Woodward R., Bismarck A. Black liquor-based epoxy resin: Thermosets from untreated kraft lignin. *Chemical Engineering J.*, 2023, v. 475, no. 11, p. 145787. <https://doi.org/10.1016/j.cej.2023.145787>
- [30] Duangkaew N., Lacson C.F., Gridanurak N., Neramittagapong S., de Luna M.D. Lignin extraction from kraft black liquor and its conversion to phenol-rich oil by hydrothermal liquefaction process. *Bioresource Technology Reports*, 2024, v. 25, no. 2, p. 101759. <https://doi.org/10.1016/j.biteb.2023.101759>
- [31] *Khimiya i ispol'zovanie lignina* [Chemistry and use of lignin]. Ed. V. N. Sergeev. Riga: Zinatne, 1974, 480 p.
- [32] Wang T., Zhang Q., Xiong Q., Huang J., Du D., Liu B., Xue Y. Effect of wood sawdust on pyrolytic performance of dyeing sludge: Focusing on the sulfur migration and transformation. *Separation and Purification Technology*, 2023, v. 323, no. 10, p. 124421. <https://doi.org/10.1016/j.seppur.2023.124421>
- [33] Ghaffari R., Arumughan V., Larsson A. Specific ion effects on lignin adsorption and transport through cellulose confinements. *J. of Colloid and Interface Science*, 2024, v. 653 B, no. 1, pp. 1662–1670. <https://doi.org/10.1016/j.jcis.2023.09.037>
- [34] Manufacture of lignin microparticles by anti-solvent precipitation: Effect of preparation temperature and presence of sodium dodecyl sulfate. *Food Research International*, 2014, v. 66, no. 12, pp. 93–99. <https://doi.org/10.1016/j.foodres.2014.08.046>
- [35] Shah S.W., Xu Q., Ullah M.W., Sethupathy Z.S., Morales G.M., Sun J., Zhu D. Lignin-based additive materials: A review of current status, challenges, and future perspectives. *Additive Manufacturing*, 2023, v. 74, no. 7, p. 103711. <https://doi.org/10.1016/j.addma.2023.103711>
- [36] Azarov V.I., Kononov G.N., Zaytseva G.V. *Issledovanie modifikatsii karbamidoformal'degidnykh oligomerov tekhnicheskimi ligninami i produktami na ikh osnove* [Study of modification of urea-formaldehyde oligomers with technical lignins and products based on them]. *Scientific works of MLTI* [Scientific works of Moscow State University of Forestry], 1989, iss. 215, pp. 120–123.
- [37] *Proizvodstvo polufabrikatov i bumagi* [Production of semi-finished products and paper]. In 3 v. Ed. I.I. Kovalevsky. Moscow: NTS Bumprom, 1929, v. 1, part 4.
- [38] Mzimba N.F., Moteete A., van Vuuren S. Southern African plants used as soap substitutes; phytochemical, antimicrobial, toxicity and formulation potential. *South African J. of Botany*, 2023, v. 163, no. 12, pp. 673–683. <https://doi.org/10.1016/j.sajb.2023.11.002>
- [39] Nepenin N.N. *Tekhnologiya tsellyulozy* [Cellulose technology]. In 3 v. Moscow: Ecology, 1994, v. 3, 590 p.
- [40] Ham J.E., Wells J.R. Surface chemistry of a pine-oil cleaner and other terpene mixtures with ozone on vinyl flooring tiles. *Chemosphere*, 2011, v. 83, no. 4, pp. 327–333. <https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2010.12.03>
- [41] Laurichesse S., Averous L. Chemical modification of lignins: Towards biobased polymers. *Progress in Polymer Science*, 2014, v. 39, no. 7, pp. 1266–1290. <https://doi.org/10.1016/j.progpolymsci.2013.11.004>
- [42] Wenzl H.F. The production of pulp by alkaline reagents. *The Chemical Technology of Wood*: Academic Press, 1970, pp. 507–657. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-743450-6.50013-7>
- [43] He Q., Chen H. Increased efficiency of butanol production from spent sulfite liquor by removal of fermentation inhibitors. *J. of Cleaner Production*, 2020, v. 263, no. 8, p. 121356. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2020.121356>
- [44] Nikitin V.N. *Teoreticheskie osnovy delignifikatsii* [Theoretical foundations of delignification]. Leningrad: Lesnaya promyshlennost' [Forest industry], 1981, 295 p.

- [45] Al-Kaabi Z., Pradhan R., Thevathasan N., Gordon A., Chiang Y.W., Dutta A. Bio-carbon production by oxidation and hydrothermal carbonization of paper recycling black liquor. *J. of Cleaner Production*, 2019, v. 213, no. 3, pp. 332–341. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2018.12.175>
- [46] *Lesokhimicheskie produkty sul'fat-tsellyuloznogo proizvodstva* [Forest chemical products of sulfate cellulose production]. Moscow: Lesnaya promyshlennost [Forest industry], 1988, 288 p.
- [47] Fotiev S.A. *Tekhnologiya bumagi* [Paper technology]. In 4 v. Moscow–Leningrad: Goslestekhzdat, 1938, t. 3, 560 p.
- [48] *Khimiya drevesiny. Ch. I. Lignin i ego ispol'zovanie* [Chemistry of wood. Part I. Lignin and its use]. Ed. P.N. Odintsova. Riga: Zinatne, 1968, 399 p.
- [49] Smolyanitskiy B.Z., Zaytsev A.N. *Regeneratsiya sul'fatnykh shchelokov* [Regeneration of sulfate liquors]. Moscow: Lesnaya promyshlennost [Forest industry], 1987, 312 p.
- [50] Nepenin N.H. *Tekhnologiya tsellyulozy* [Cellulose technology]. In 3 volumes. Moscow: Lesnaya promyshlennost [Forest industry], 1976, t. 1, 624 p.
- [51] Kononov G.N., Buglay B.M., Azarov V.I., Rybin B.M., Erokhin S.N. *Vodorastvorimye kompozitsii dlya dekorativno-zashchitnoy otdelki drevesiny* [Water-soluble compositions for decorative and protective finishing of wood]. *Lesnoy Zhurnal* (Russian Forestry Journal), 1985, no. 2, p. 65.
- [52] Zhang L., Larsson A., Moldin A., Edlund U. Comparison of lignin distribution, structure, and morphology in wheat straw and wood. *Industrial Crops and Products*, 2022, v. 187 B, no. 11, p. 115432. <https://doi.org/10.1016/j.indcrop.2022.115432>
- [53] Demirbas M.F. Biorefineries for biofuel upgrading: A critical review. *Applied Energy*, 2009, v. 86, no. 11, pp. S151–S161. <https://doi.org/10.1016/j.apenergy.2009.04.043>
- [54] Sapotnitskiy S.A. *Ispol'zovanie sul'fitnykh shchelokov* [Use of sulfite lyes]. Moscow: Lesnaya promyshlennost [Forest industry], 1981, 224 p.
- [55] Chudakov M.I. *Promyshlennoe ispol'zovanie lignina* [Industrial use of lignin]. Moscow: Lesnaya promyshlennost [Forest industry], 1983, 200 p.
- [56] Koshmarov N.F., Letonmyaki M.N., Pilyugina L.G. *Sul'fatnyy chernyy shchelok i ego ispol'zovanie* [Sulfate black liquor and its use]. Moscow: Lesnaya promyshlennost [Forest industry], 1969, 184 p.

Authors' information

Kononov Georgy Nikolaevich — Dr. Sci. (Tech.), Associate Professor of the Department of Chemistry and Chemical Technologies in the Forestry Complex, BMSTU (Mytishchi branch), Academician of the Russian Academy of Natural Sciences, academician, Secretary of the section «Chemistry and Chemical Technology of Wood» of the D.I. Mendeleev Russian Chemical Society, kononov@bmstu.ru

Ivankin Andrey Nikolayevich  — Dr. Sci. (Chem.), Member of the International Higher Education Academy of Sciences (IHEAS), Professor of the Department of Chemistry, BMSTU (Mytishchi branch), aivankin@inbox.ru

Serdyukova Yuliya Vladimirovna — Senior Lecturer, BMSTU (Mytishchi branch), caf-htdip@bmstu.ru

Petukhov Vladimir Alekseevich — student, BMSTU (Mytishchi branch), popoviviv24@gmail.com

Received 01.11.2023.

Approved after review 31.01.2024.

Accepted for publication 17.10.2024.

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

СОВРЕМЕННЫЕ ТЕХНИЧЕСКИЕ РЕШЕНИЯ ДЛЯ ПРОИЗВОДСТВА ДРЕВЕСНОВОЛОКНИСТЫХ ПОЛУФАБРИКАТОВ

М.А. Зырянов✉, С.О. Медведев, А.П. Мохирев

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

zuryanov13@mail.ru

Установлено, что наиболее перспективным направлением повышения коэффициента комплексного использования древесины является производство древесноволокнистого полуфабриката для дальнейшего его использования при изготовлении конструкционных, отделочных и изоляционных материалов получивших широкое применение, как в строительстве, так и при производстве мебели. Выявлено, что одновременно высокие требования предъявляются к морфологическим характеристиками и показателям качества древесноволокнистого полуфабриката. Установлено, что на сегодняшний день произвести древесную массу с высокими связеобразующими свойствами возможно только в две ступени размола щепы на дисковых ножевых машинах. Выявлено, что в технологии задействованы две размалывающие машины, в результате производство древесноволокнистого полуфабриката является дорогостоящим процессом ввиду высокого потребления электроэнергии и материальных затрат на обслуживание оборудования. Таким образом, настоящие исследования посвящены разработкам конструкции оборудования и технологии позволяющим производить древесноволокнистый полуфабрикат с высокими связеобразующими свойствами в одну ступень размола щепы, что позволяет значительно уменьшить его себестоимость за счет снижения затрат на электроэнергию и обслуживание оборудования. В работе представлены оригинальные конструкторские решения и на основании метода имитационного моделирования исследуемого процесса, а так же анализа экспериментальных данных дано обоснование эффективности предлагаемого размольного оборудования. На основании результатов исследования микрофотографий приведен сравнительный анализ древесноволокнистого полуфабриката произведенного традиционным способом размола в две ступени и предлагаемым в одну с использованием предложенного оборудования. Представленные результаты исследований могут получить широкое применение как при проектировании современного размалывающего оборудования, так и в плитной и целлюлозно-бумажной промышленности.

Ключевые слова: размол, щепы, древесноволокнистый полуфабрикат, ножи, эффективность, отходы

Ссылка для цитирования: Зырянов М.А., Медведев С.О., Мохирев А.П. Современные технические решения для производства древесноволокнистых полуфабрикатов // Лесной вестник / Forestry Bulletin, 2024. Т. 28. № 6. С. 104–114. DOI: 10.18698/2542-1468-2024-6-104-114

Производство древесноволокнистых полуфабрикатов позволяет значительно увеличить объем использования биомассы дерева, снижая количество древесных отходов [1–6]. Отходы лесозаготовительных работ являются потенциальной сырьевой базой для производства огромного количества древесных и композиционных материалов, в том числе и древесноволокнистых полуфабрикатов [7–11]. Использование древесного волокна получило широкое распространение при производстве изоляционных, конструкционных и отделочных материалов.

Производство древесноволокнистых полуфабрикатов имеется во всех государствах с развитым лесопромышленным комплексом и обеспечивает выпуск широкого ассортимента товаров, потребляемых практически во всем мире. Продукция из древесного волокна отличается такими достоинствами, как наличие одинаковых значений физи-

ко-механических показателей по всему его объему, относительно высокая стойкость к небольшим колебаниям влажности, высокий потенциал производства изделий с заданными специфическими свойствами. Последняя характеристика особенно важна, поскольку требования к продукции от различных потребителей и отраслей, которые ее используют, достаточно разнообразны.

В настоящее время в производстве древесноволокнистого полуфабриката высокой степени фибрилляции применяется технология двухступенчатого размола щепы в водной среде при использовании ножевых машин [12–17]. Выявлено, что на первой ступени размола щепы происходит термогидролитическое воздействие на нее, уменьшаются межволоконные связи в результате пластических деформаций срединной пластины. Далее с помощью ножевого воздействия размалывающей гарнитуры осуществляется расщепление технологической щепы на пучки и отдельные волокна. На второй ступени размола значения

показателя фракционного состава выравниваются и происходит получение отдельных древесных волокон из неразделенных пучков [18, 19].

Производство древесноволокнистой массы относится к высокоэнергоёмкому процессу и составляет 60...65 % себестоимости готовых к реализации материалов. Современный уровень развития не позволяет допускать чрезмерных потерь, требует максимальной экономии тепловой и электрической энергии, ресурсов. С одной стороны, это влечет за собой некоторую выгоду для предприятий, с другой — способствует реализации отдельных элементов устойчивого развития. Последнее предусматривает такой подход к производственным процессам, который позволил бы достигать высоких экономических результатов, учитывая интересы будущих поколений. Практически это можно выразить повышенным вниманием к экологическим и социальным вопросам, проводя организацию производств и обеспечивая их функционирование.

Современные деревоперерабатывающие предприятия в подавляющем большинстве работают на устаревшем размольном оборудовании с высоким значением показателя амортизации износа, в отдельных случаях составляющего 90...100 %. Поиск оптимальных значений конструктивных и технологических параметров процесса размола технологической щепы в две ступени приводит к весьма небольшому снижению показателя себестоимости готовой товарной продукции [20, 21]. Решение задачи разработки и создания принципиально нового вида ножевого размалывающего оборудования, позволяющего производить древесноволокнистый полуфабрикат с высокими связеобразующими свойствами, для размола технологической щепы в одну ступень является актуальным на сегодняшнем этапе развития деревоперерабатывающих предприятий.

Использование такого оборудования в технологии размола технологической щепы может значительно снизить себестоимость готовых к реализации материалов вследствие значительного уменьшения энергетических, материальных и трудовых затрат на производство древесноволокнистого полуфабриката. Кроме того, важное значение имеет повышение эффективности предприятий, а так же ограничение их негативного влияния на окружающую среду.

Следует учитывать, что глубокая переработка древесного сырья, неотъемлемым элементом которой является производство древесноволокнистых плит, традиционно является одним из наиболее экологически вредных направлений лесной промышленности. Предлагаемые нами решения в определенной степени способны повлиять на вклад таких предприятий в отноше-

нии ослабления воздействия на природу [22–26]. Россия участвует в различных международных программах, проводит широкие мероприятия по минимизации негативного воздействия лесопромышленного комплекса на окружающую среду. Этому способствует реализация концепции устойчивого развития, предусматривающей повышение энергоэффективности и бережное использование природных ресурсов [27, 28].

Цель работы

Цель работы — разработка конструкции оборудования для производства древесноволокнистого полуфабриката с высокой степенью фибрилляции поверхности в одну ступень размола.

Материалы и методы

Исходным материалом для настоящих исследований послужили результаты литературного обзора отечественных и зарубежных работ, посвященных вопросам производства древесноволокнистого полуфабриката и анализу практического опыта деревоперерабатывающих производств. В качестве основных методов исследований помимо анализа литературных источников выбран метод аналитического расчета конструктивных и технологических параметров размалывающей установки и имитационного моделирования в среде программы SolidWorks, в которой разработаны 3D-модели деталей и механизмов.

Результаты и обсуждение

В результате проведенных исследований нами была разработана конструкция размольной установки рафинер К-1150/382 (рис. 1).

Рабочая камера рафинера представляет собой конус, малый диаметр которого составляет 382 мм, а большой — 1150 мм. Внутри камеры по образующим конуса равномерно распределены 25 планок. Каждая планка имеет по шесть параллельных ножей, расположенных вдоль оси. Крестовина из четырех лопастей выступает в качестве ротора размольной машины. Предусмотренный в конструкции рафинера присадочный механизм позволяет изменять величину зазора между ножами планок статора и кромкой крестовины ротора, что делает процесс размола щепы более управляемым.

Анализ показал, что при размоле щепы на предложенной установке высокие значения показателей качественных и морфологических характеристик древесноволокнистого полуфабриката достигаются благодаря эффектам, свойственным цилиндрическим, коническим и дисковым размольным машинам, дефибратору роликовогоребенчатому и мельнице крестовой. Воздействие на технологическую щепу идентич-

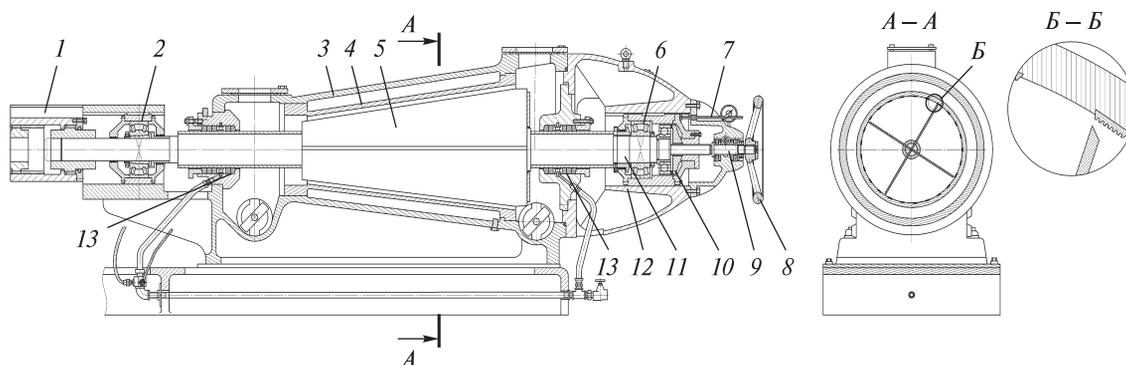


Рис. 1. Схема размалывающей установки: 1 — соединительная муфта; 2 — задний подшипниковый узел; 3 — корпус; 4 — статор с закрепленными гребенчатыми планками; 5 — крестовина ротора; 6 — передний подшипниковый узел; 7 — контактная шпилька; 8 — штурвал регулировочный; 9 — регулирующий вал; 10 — крышка переднего подшипникового узла; 11 — вал; 12 — присадочный механизм; 13 — сальниковый узел

Fig. 1. Schematic diagram of the grinding unit: 1 — connecting coupling; 2 — rear bearing unit; 3 — housing; 4 — stator with fixed comb bars; 5 — rotor cross; 6 — front bearing unit; 7 — contact stud; 8 — adjusting hand wheel; 9 — adjusting shaft; 10 — cover of the front bearing unit; 11 — shaft; 12 — additive mechanism; 13 — packing unit

ное размолу на первой ступени в дефибраторе, возникает в зазоре между ножами планок статора и гранью лопасти ротора в результате влияния сил мятая, резания, трения, раздавливания. Действие сил перемешивания, центробежной и трения, возникновение эффектов перекачки древесноволокнистой массы и ее циркуляции, идентичные второй ступени размолу, осуществляются в зоне, где отсутствуют поверхности размолу. Так, спроектированная размалывающая установка способна обеспечить протекание в рабочей камере силовых воздействий, присущих размолу щепы на первой ступени, пучков и отдельных волокон — на второй.

В целях дополнительного фибриллирования древесного волокна была разработана специфическая конструкция рабочих органов рафинера К-1150/382, особенность которой заключается в наличии специфических зон, имеющих элементы, позволяющие дополнительно фибриллировать поверхность древесного волокна. На конструктивный элемент, который дает возможность дополнительно фибриллировать поверхность древесного волокна, получено авторское свидетельство [29] (рис. 2).

Рабочие органы состоят из интегрированных в лопасти ротора 1 (см. рис. 2, а) конструктивных элементов для дополнительного фибриллирования поверхности древесного волокна 2 с зубьями определенной высоты. Конструктивные элементы имеют цилиндрическую форму высотой $h_4 = 37,7$ мм. Крепление конструктивных элементов осуществляется за счет кольца стопорного 3 (см. рис. 2, в), закрепленного в пазе 4 (см. рис. 2, в). Конструктивные элементы для дополнительного фибриллирования поверхности древесного

волокна 2 расположены так, что их межзубное расстояние составляет $a = 12$ мм, а расстояние от края лопасти статора до оси конструктивного элемента — $b = 15$ мм.

На выходе из элемента для дополнительного фибриллирования поверхности древесного волокна расположены зубья трех видов (см. рис. 2, з): 1) четыре зуба с углом при вершине $\alpha = 23^\circ$ и высотой $h_1 = 7,6$ мм; 2) четыре зуба с углом при вершине $\beta = 31^\circ$ и высотой $h_2 = 7,1$ мм; 3) восемь зубьев с углом при вершине $\gamma = 42^\circ$ и высотой $h_3 = 6,6$ мм.

Так, в процессе размолу в рафинере К-1150/382 пучки слабо размолотых волокон, скользя вдоль внутренней стенки сепаратора — выступающие острые края зубьев, проходя через цилиндрические стаканы 2 (см. рис. 2, а) с острыми зубьями (см. рис. 2, з), разделяются вдоль на отдельные волокна и фибриллы (имеет место начес пучков волокон и отдельных волокон). Разделенные волокна проходят через конструктивные элементы для дополнительного фибриллирования, в процессе чего на них воздействуют острые зубья. Зубья, имеющие угол при вершине 23° и высоту 7,6 мм, обеспечивают внутреннее фибриллирование и формирование магистральной трещины по средствам оказания на волокно рвущего и надрезающего действия. Зубья с углом при вершине 31° и высотой 7,1 мм обеспечивают формирование внешнего фибриллирования волокна. Зубья с углом при вершине 42° и высотой 6,6 мм обеспечивают разделение древесных волокон по фракциям, внешнее и внутреннее фибриллирование.

На рис. 3 представлен общий вид вала в сборе роторной части рафинера К-1150/382.

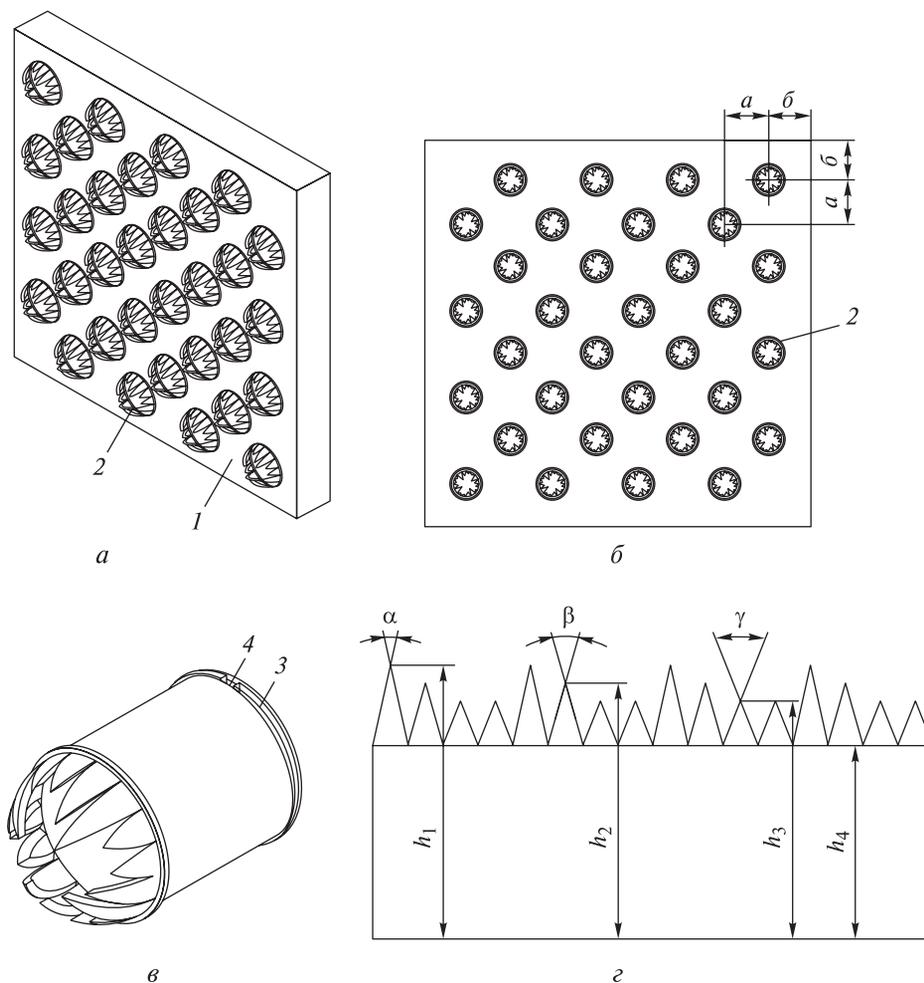


Рис. 2. Устройство конструктивного элемента, позволяющего дополнительно фибриллировать поверхность древесного волокна: *a, б* — лопасти ротора с конструктивными элементами: соответственно 3D-модель и вид сзади; *в* — конструктивный элемент; *г* — развертка конструктивного элемента; *1* — лопасть ротора; *2* — конструктивный элемент; *3* — кольцо стопорное; *4* — паз для кольца стопорного; *высота зубьев*: h_1 — больших; h_2 — средних; h_3 — малых; h_4 — длина образующей конструктивного элемента; *углы при вершине зубьев*: α — больших; β — средних; γ — малых; a — расстояние между осями конструктивных элементов; b — расстояние между осями конструктивных элементов и краем лопасти ротора

Fig. 2. Device of the constructive element allowing additional fibrillation of the wood fiber surface: *a, б* — rotor blades with constructive elements: respectively 3D-model and rear view; *в* — constructive element; *г* — reamer of the constructive element; *1* — rotor blade; *2* — constructive element; *3* — locking ring; *4* — groove for the locking ring; *height of teeth*: h_1 — large; h_2 — medium; h_3 — small; h_4 — length of the structural element; *angles at the top of the teeth*: α — large; β — medium; γ — small; a — distance between the axes of the structural elements; b — distance between the axes of the structural elements and the edge of the rotor blade

Для определения основных факторов, устанавливающих закономерности фибриллирования и его эффективность, а также для обоснования выбора материала для изготовления устройств было выполнено имитационное моделирование исследуемого процесса в программе SolidWorks. Работа проводилась с привлечением специалистов в технологической составляющей исследования и экспертов в данном программном обеспечении. Полученные результаты обоснованы и корректны,

что было подтверждено многократными итерациями исследования на различном оборудовании и версиях программного продукта. В ходе анализа результатов имитационного моделирования была построена эпюра распределения деформаций (рис. 4), возникающих в конструктивном элементе для дополнительного фибриллирования поверхности древесного волокна, установленного в лопасть крестовины ротора рафинера К-1150/382.

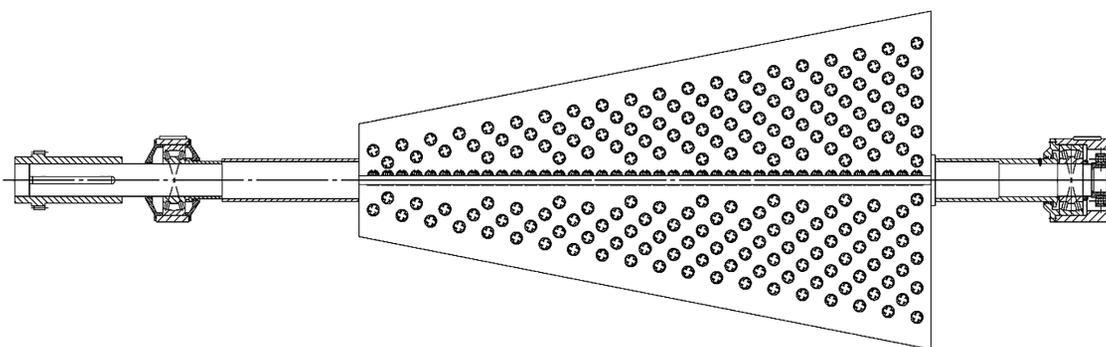


Рис. 3. Общий вид вала в сборе роторной части рафинера К-1150/382 с установленными в лопасти конструктивными элементами для дополнительного фибриллирования поверхности древесного волокна

Fig. 3. General view of the shaft assembly of the rotor part of the refiner K-1150/382 with the structural elements for additional fibrillation of the wood fiber surface installed in the blade

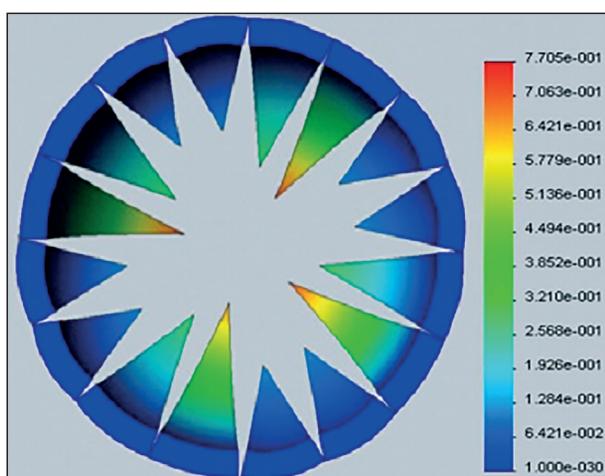


Рис. 4. Эпюра деформаций, мм
Fig. 4. Strain diagram, mm

Характеристика древесного волокна произведенного в две и одну ступени размола технологической щепы

Characteristics of wood fiber produced in two and one stages of technological chips grinding

Способ производства древесноволокнистого полуфабриката	Степень помола массы, ДС	Фракционный показатель качества помола, г	Удельная поверхность волокна, мм ² /г	Отношение длины волокна к его диаметру
В одну ступень	22,1	41,1	20 018	18,0
	22,0	41,5	21 153	19,2
	23,0	40,4	22 248	17,4
	22,8	42,2	22 517	17,0
	22,9	40,1	22 210	18,2
В две ступени	21,5	32,1	18 567	14,6
	20,1	31,2	18 214	13,0
	22,4	30,9	18 914	16,4
	21,2	32,8	18 817	14,3
	21,8	33,7	19 100	13,8

Как видно из представленной на рис. 4 эпюры, максимальная деформация возникает в зубьях с углом при вершине 23° и высотой 7,6 мм. В процессе укорачивания зубьев деформация снижается. В результате анализ результатов имитационного моделирования процесса воздействия внешних сил на единичное волокно при прохождении через элемент для фибриллирования и эпюры деформаций показал, что зубья оказывают на волокно преимущественно разрывающее и режущее воздействие. Это благоприятно влияет на формирование магистральной трещины, а также способствует значительному фибриллированию как внешней, так и внутренней поверхности волокна. Основываясь на результатах аналитического расчета и имитационного моделирования исследуемого процесса, приходим к выводу, что наиболее целесообразно изготавливать устройства для дополнительного фибриллирования из стали марки 40Х. Данная марка стали является легированной, что придает устойчивость к коррозии, а повышенное содержание углерода и наличие хрома обеспечивают прочность и твердость.

В целях обоснования эффективности предложенной конструкции рафинера К-1150/382 и сравнительного анализа получаемого древесноволокнистого полуфабриката с традиционным способом размола щепы в две ступени была изготовлена опытная модель и реализована серия экспериментов. Эксперименты проводились в лабораторных условиях при соблюдении базовых принципов выполнения данных видов работ.

Как видно на рис. 5, при получении древесноволокнистого полуфабриката в рафинере К-1150/382 волокно хорошо фибриллировано и расщеплено вдоль оси.

На рис. 6, а представлена фотография, которая наглядно демонстрирует, что древесноволокнистый полуфабрикат состоит в основном из средней и крупной фракции, при этом мелкое волокно практически отсутствует. Полуфабрикат состоит

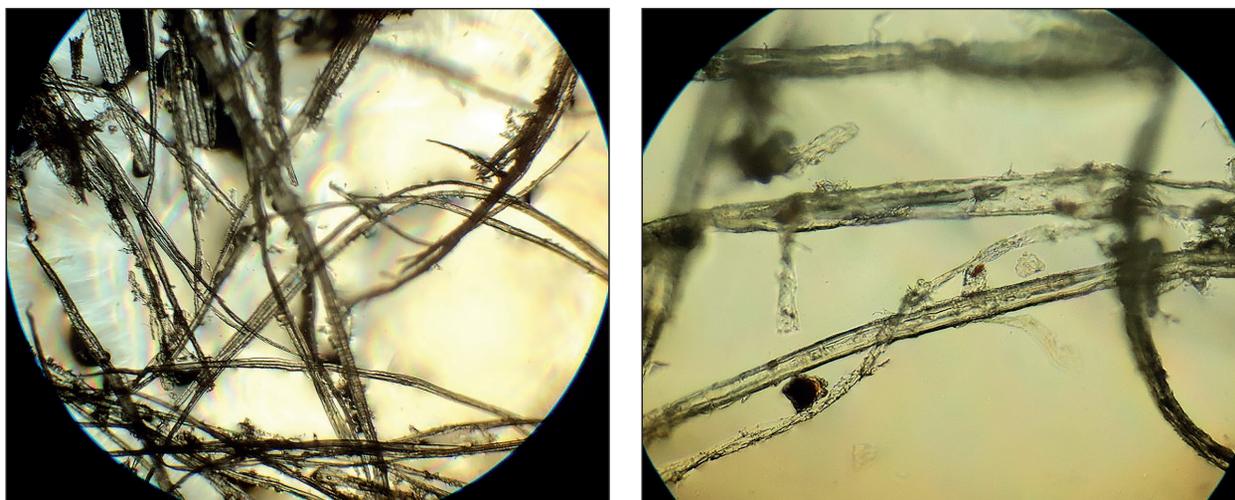
*a**б*

Рис. 5. Древесноволокнистый полуфабрикат, произведенный в рафинере К-1150/382: *a* — ув. $\times 20$; *б* — ув. $\times 70$
Fig. 5. Wood fibre semi-finished product produced in the refiner K-1150/382: *a* — e.g. $\times 20$; *б* — e.g. $\times 70$

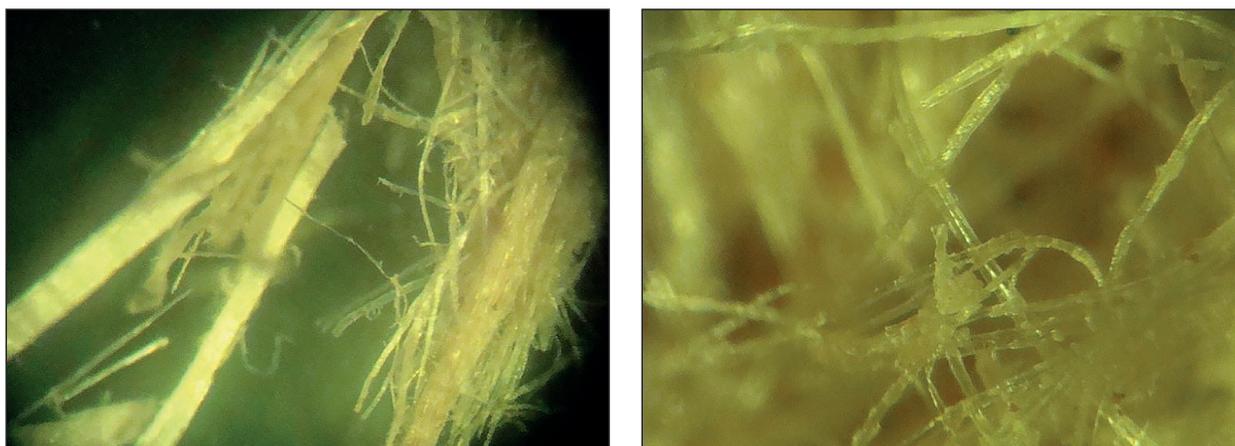
*a**б*

Рис. 6. Древесноволокнистый полуфабрикат после первой и второй ступени размла: *a* — древесная масса после первой ступени размла (ув. $\times 50$); *б* — древесная масса после второй ступени размла (ув. $\times 50$)
Fig. 6. Wood fiber semi-finished product after the first and second grinding stages: *a* — wood pulp after the first grinding stage (eq. $\times 50$); *б* — wood pulp after the second grinding stage (eq. $\times 50$)

из волокна с частично удаленными в процессе ножевого воздействия первичного и наружного слоями вторичной стенки. В продольном направлении к оси волокна происходит разделение их пучков в результате появления и дальнейшего увеличения микротрещин. Повсеместно наблюдаются расчесывание концов волокон и их обрывы. При этом поперечные разрушения выражаются в наличии в общей древесной массе пучков и отдельных волокон с ровными срезами с разломченными и закругленными концами.

Как наглядно демонстрирует фотография (см. рис. 6), после второй ступени размла древесной массы волокна не подвергаются укорачиванию. Пучки и отдельные волокна — мягкие и тонкие. В большом количестве присутствуют

волокна, представляющие собой плоские ленты с характерной сплюснутостью, внутренними слоистостью и фибриллизацией.

Итоги оценки качественных показателей и морфологических характеристик древесного волокна, произведенного традиционно в две ступени размла технологической щепы и в одну на рафинере К-1150/382, сведены в таблице.

Анализ результатов экспериментальных исследований, представленных в таблице, показал, что произведенный древесноволокнистый полуфабрикат с использованием рафинера К-1150/382 обладает высокими качественными показателями и хорошими морфологическими характеристиками. Кроме того, полуфабрикат имеет волокна большой длины и высокую степень фибрилляции.

Как отмечали исследователи [30–32], древесноволокнистый полуфабрикат с такими свойствами способствует лучшему образованию когезионных связей при изготовлении готовой товарной продукции.

Таким образом, основная цель исследуемого оборудования полностью достигнута. Предложенная разработка имеет существенные преимущества перед традиционно используемыми и ресурсоемкими альтернативами. В условиях необходимости модернизации всего лесопромышленного комплекса, подобные разработки должны выступать основой для качественных преобразований в отрасли.

Исследование экономической эффективности и целесообразности внедрения предложенного оборудования проводили с помощью классических методов расчета себестоимости, ее изменений и оценки инвестиционных решений [33–35]. В качестве базы для сравнения использовались сведения о работе и расходах на производство древесноволокнистых плит по нескольким предприятиям страны. Анализ показал, что в результате модернизации с привлечением разработанного рафинера возможно снижение себестоимости продукции на 10...13 %. Экономия происходит за счет сокращения расходов на электроэнергию, оплату труда (и отчислений), ремонт и обслуживание. Данные изменения объясняются меньшим энергопотреблением, количеством единиц оборудования и, как следствие, потребностями в обслуживании (персонал и ремонты), а также рядом производственных факторов. В зависимости от объемов деятельности, производственных мощностей и стоимости ресурсов для конкретных предприятий срок окупаемости предложенных разработок не превышает 1,5 года.

Подобные модернизации должны выступать важнейшим элементом по реализации государственной политики по повышению внимания к окружающей среде и, в частности, отдельных принципов устойчивого развития. Таким образом, внедрение предложенного оборудования выгодно предприятиям лесной отрасли и положительно повлияет на окружающую среду.

Выводы

Конструкция ножевой размалывающей машины позволяет получать древесноволокнистый полуфабрикат с высокими связеобразующими свойствами в одну ступень размала щепы. Использование рафинера К-1150/382 в производственном процессе показало высокую эффективность. Полученные результаты наглядно продемонстрировали преимущества предложенной разработки по сравнению с действующими технологическими решениями. Также важно, что

принятый правительством страны курс на реализацию принципов устойчивого развития, находит отражение при внедрении подобных разработок. Снижение материальных и энергетических затрат уменьшает отрицательное влияние на окружающую среду и высвобождает ценные ресурсы для использования в альтернативных направлениях.

Исследование выполнено за счет гранта Российской государственной академии наук № 22-78-10002, <https://rscf.ru/project/22-78-10002/>

Список литературы

- [1] Казымов Д.С., Махотина Л.Г., Никандров А.Б., Кузнецов А.Г., Аким Э.Л. Особенности переработки древесины *Larix Sibirica Ledeb* (Pinaceae) в волокнистые полуфабрикаты высокого выхода // *Химия растительного сырья*, 2021. № 1. С. 317–325.
- [2] Тамби А.А., Угрюмов С.А., Бирман А.Р., Черноградская И.А., Рунова Е.М., Никифорова В.А. Обоснование необходимости внедрения процессов комплексного использования древесины на лесопильных предприятиях // *Системы. Методы. Технологии*, 2020. № 2 (46). С. 47–54.
- [3] Полянская О.А., Тамби А.А., Михайлова А.Е. Развитие лесопромышленного комплекса Российской Федерации: проблемы и перспективы // *Петербургский экономический журнал*, 2020. № 4. С. 65–74.
- [4] Wu Y., Tham J. The impact of environmental regulation, Environment, Social and Government Performance, and technological innovation on enterprise resilience under a green recovery // *Heliyon*, 2023, no. 9(10), p. 2027. <https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2023.e20278>
- [5] Chang Y., Liu B., Gao M. Mechanism and prediction of china-russia timber trade from the perspective of sustainable development // *International J. of Sustainable Development and Planning*, 2020, no. 15(4), pp. 559–567.
- [6] Koçak, E., Önderol, S., Khan, K. Structural change, modernization, total factor productivity, and natural resources sustainability: An assessment with quantile and non-quantile estimators // *Resources Policy*, 2021, no. 74, p. 10243. <https://doi.org/10.1016/j.resourpol.2021.102433>
- [7] Ariko S.Ye., Kononovich D.A., Voinash S.A., Sokolova V.A., Polyanskaya O.A., Garbuzova T.G., Andronov A.V. Selection of parameters of machines for collection of logging waste // *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science. Krasnoyarsk Science and Technology City Hall of the Russian Union of Scientific and Engineering. Krasnoyarsk*, 2021, p. 52019.
- [8] Gryazkin A.V., Beliaev V.V., Beliaeva N.V., Petrik V.V., Kuznetsov E.N., Shakhov A.G. The logging waste as inexhaustible resource for alternative energy // *Thermal Science*, 2017, no. 21(2), pp. 1135–1142.
- [9] Larchenko Y.G., Shusharina G.A., Tretyakov A.V. State and prospects of logging and sawmilling waste management in khabarovsk territory // *Business 4.0 as a Subject of the Digital Economy*, Cham, 2022, pp. 887–892.
- [10] Pinchevska O., Lakyda Y., Baranova O., Biletskyi M., Holovach V., Oliinyk R., Yeroshenko A. Designing a new wood-composite material made from logging waste // *Eastern-European J. of Enterprise Technologies*, 2020, no. 4(1–106), pp. 91–97.
- [11] Vititnev A., Alashkevich Y., Marchenko R., Zyryanov M., Mokhirev A. Use of logging waste in technologies for deep chemical processing of wood // *Wood Research*, 2021, no. 66(5), pp. 821–832.

- [12] Конюхова В.В., Юртаева Л.В., Алашкевич Ю.Д. Механизм обработки вторичного волокнистого материала хвойных пород древесины при комбинированном способе размола // Хвойные бореальной зоны, 2018. Т. 36. № 4. С. 371–374.
- [13] Карелина А.А., Алашкевич Ю.Д., Кожухов В.А. Размол волокнистых материалов высокой концентрации из одолетних растений в производстве готовой продукции // Экологические аспекты современных технологий в химико-лесном комплексе: сб. науч. материалов I и II науч.-практ. конф., Архангельск, 31 мая 2022 года – 17 мая 2024 года. Архангельск: Изд-во Федерального исследовательского центра комплексного изучения Арктики имени академика Н.П. Лаврова УрО РАН, 2024. С. 58–62.
- [14] Аким Э.Л., Рыбников О.В., Пекарец А.А., Федорова О.В., Махотина Л.Г., Луканин П.В., Роговина С.З., Берлин А.А. Инновационные технологии биорефининга лиственницы и осины как важные шаги на пути к углеродной нейтральности российского ЛПК // Проблемы механики целлюлозно-бумажных материалов. Архангельск: Изд-во Северного (Арктического) федерального университета имени М.В. Ломоносова, 2023. С. 296–301.
- [15] Иванова В.Н., Уварова Д.Ю., Махотина Л.Г., Аким Э.Л. Переработка волокнистых полуфабрикатов высокого выхода // ИзВУЗ Лесной журнал, 2017. № 6 (360). С. 145–150.
- [16] Ушаков А.В., Алашкевич Ю.Д., Кожухов В.А. Возможность размола волокнистых полуфабрикатов высокой концентрации в дисковой мельнице // Современные тенденции развития химической технологии, промышленной экологии и техносферной безопасности. СПб.: Изд-во СПбГУПТД, 2020. С. 270–272.
- [17] Чистова Н.Г., Матыгулина В.Н., Алашкевич Ю.Д. Подготовка древесноволокнистых полуфабрикатов в ножевых размалывающих машинах различной модификации // Химия растительного сырья, 2020, № 4, С. 459–466.
- [18] Вититнев А.Ю., Алашкевич Ю.Д., Чистова Н.Г., Матыгулина В.Н. Влияние степени помола древесных волокон после первой ступени размола на физико-механические свойства древесноволокнистых материалов // Проблемы механики целлюлозно-бумажных материалов. Архангельск: Изд-во Северного (Арктического) федерального университета имени М.В. Ломоносова, 2021. С. 157–160.
- [19] Kudryavtsev P., Kudryavtsev N., Trossman A. New research and development in the field of inorganic composite materials // Scientific Israel – Technological Advantages, 2017, t. 19, no. 3, pp. 25–39.
- [20] Vititnev A.Yu., Alashkevich Yu.D., Chistova N.G., Marchenko R.A. Improving the construction of grinding disk mill for producing fibrous semi-finished products // IOP Conference Series: Materials Science and Engineering. Krasnoyarsk Science and Technology City Hall., Krasnoyarsk, Russian Federation, 2021, p. 12172.
- [21] Sergeevichev A., Kushnerev V., Sergeevichev V., Sokolova V., Onegin V. Analysis of the influence of instrumental and regime factors on the quality of wood grinding // J. of Physics: Conference Series. International Scientific Conference «Conference on Applied Physics, Information Technologies and Engineering – APITECH-2019». Krasnoyarsk Science and Technology City Hall of the Russian Union of Scientific and Engineering Associations; Polytechnical Institute of Siberian Federal University, 2019, p. 44043.
- [22] Slyusarskiy K.V., Larionov K.B., Gubin V.E. The complex research on the technical conditions of energy application of wood pyrolysis bio-oil // Энерго-ресурсоэффективность в интересах устойчивого развития (SEWAN – 2021). Sustainable And Efficient Use Of Energy, Water And Natural Resources (SEWAN – 2021). Материалы III Междунар. науч. конф. SEWAN – 2021. Санкт-Петербург, 2021, С. 104–105.
- [23] Shishmareva A.V., Moiseeva E.E. Complex processing assessment of wood waste of the Krasnoyarsk region forestry complex // European Proceedings of Social and Behavioural Sciences EpSBS. Krasnoyarsk Science and Technology City Hall. Krasnoyarsk, 2020, pp. 258–268.
- [24] Larionov K.B., Slyusarskiy K.V., Kirgina M.V., Gvozdyakov D.V., Zenkov A.V., Bogdanov I.A., Kaltaev A.Z., Gubin V.E. The complex research on the technical conditions of energy application of wood pyrolysis bio-oil // Energy, Ecology and Environment, 2022, no. 3, p. 245.
- [25] Jarman S. Processed wood can be moulded into complex 3d structures // Physics World, 2022, no. 35(1), p. 711.
- [26] Sereda T.G., Kostarev S.N. Modeling of industrial stream and resources of machine-building enterpriser complex of wood preparation // IOP Conference Series: Materials Science and Engineering, 2018, p. 22094.
- [27] Завьялов М.В. Механизм государственной политики в процессе управления устойчивым развитием кластера лесопромышленной сферы // Региональная экономика и управление, 2020, № 4 (64), с. 5.
- [28] Третьяков А.Г., Майоров И.Г. Модернизация лесного планирования // Труды Санкт-Петербургского научно-исследовательского института лесного хозяйства, 2023, № 1. С. 70–81.
- [29] Зырянов М.А., Чистова Н.Г., Аксенов Н.В., Шинкевич И.В., Матыгулина В.Н. Устройство для фибриллирования и сепарирования волокнистых материалов. Патент № RU 2657685 C2 РФ D21D 1/00. № 2016119217; заявл. 17.05.2016; опубл. 14.06.2018, Бюл. №17. 10 с.
- [30] Зырянов М.А. Получение полуфабрикатов в одну ступень размола для производства древесноволокнистых плит мокрым способом: дис. ... канд. техн. наук: 05.21.03. Красноярск, 2012. 171 с.
- [31] Чистова Н.Г. Переработка древесных отходов в технологическом процессе получения древесноволокнистых плит: дис. ... д-ра техн. наук: 05.21.03. Красноярск, 2010. 415 с.
- [32] Набиева А.А., Алашкевич Ю.Д., Ковалев В.И. Анализ формирования технологических параметров ножевых размалывающих гарнитур // Химия растительного сырья, 2009. № 3. С. 169–172.
- [33] Осипова И.В. Разработка методики расчета показателей оценки эффективности внедрения нового оборудования // Известия Юго-Западного государственного университета. Серия: Экономика. Социология. Менеджмент, 2015. № 4 (17). С. 203–207.
- [34] Морковина С.С., Панявина Е.А., Цепляев А.Н. Инновационные технологии в лесном хозяйстве регионов: экономический аспект // Вестник Академии знаний, 2020. № 41 (6). С. 206–215.
- [35] Рудакова Т.А., Семиколенова М.Н., Ракшина Н.А. Калькулирование себестоимости продукции лесного хозяйства // Социально-экономический и гуманитарный журнал, 2017. № 1(5). С. 151–165.

Сведения об авторах

Зырянов Михаил Алексеевич  — канд. техн. наук, доцент, науч. сотр., ФГБОУ ВО «Сибирский государственный университет науки и технологий имени академика М.Ф. Решетнева», zuryanov13@mail.ru

Медведев Сергей Олегович — канд. экон. наук, ст. науч. сотр., ФГБОУ ВО «Сибирский государственный университет науки и технологий имени академика М.Ф. Решетнева», medvedev_serega@mail.ru

Мохирев Александр Петрович — д-р. техн. наук, ст. науч. сотр., ФГБОУ ВО «Сибирский государственный университет науки и технологий имени академика М.Ф. Решетнева», ale-mokhirev@yandex.ru

Поступила в редакцию 13.02.2024.

Одобрено после рецензирования 01.04.2024.

Принята к публикации 05.09.2024.

MODERN TECHNICAL SOLUTIONS FOR WOOD FIBER SEMI-PRODUCTS PRODUCTION

M.A. Zyryanov , **S.O. Medvedev**, **A.P. Mokhirev**

Reshetnev Siberian State University of Science and Technology, 31, Krasnoyarskii rabochii av., 660037, Krasnoyarsk, Russia

zuryanov13@mail.ru

It is known that the most promising direction for increasing the coefficient of integrated use of wood is the production of semi-finished wood fiber products for its further use in the manufacture of structural, finishing and insulating materials that are widely used both in construction and in the production of furniture. At the same time, high demands are placed on the morphological characteristics and quality indicators of semi-finished wood fiber products. It has been established that today it is possible to produce wood pulp with high bond-forming properties only in two stages of grinding chips on disc knife machines. Since the technology involves two grinding machines, the production of semi-finished wood fiber products is an expensive process due to high energy consumption and material costs for equipment maintenance. As a result, this research is devoted to the development of equipment design and technology that allows the production of semi-finished wood fiber products with high bond-forming properties in one stage of grinding chips, which can significantly reduce its cost by reducing the cost of electricity and equipment maintenance. The paper presents original design solutions and, based on the method of simulation of the process under study, as well as analysis of experimental data, justifies the efficiency of the proposed grinding equipment. Based on the results of a study of microphotographs, a comparative analysis of the wood-fiber semi-finished product produced by the traditional method of grinding in two stages and proposed in one using the proposed equipment is given. The research results can be widely used both in the design of modern grinding equipment and in the board and pulp and paper industries.

Keywords: grinding, wood chips, semi-finished wood fiber product, knives, efficiency, waste

Suggested citation: Zyryanov M.A., Medvedev S.O., Mokhirev A.P. *Sovremennyye tekhnicheskie resheniya dlya proizvodstva drevesnovoloknistykh polufabrikatov* [Modern technical solutions for wood fiber semi-products production]. *Lesnoy vestnik / Forestry Bulletin*, 2024, vol. 28, no. 6, pp. 104–114.

DOI: 10.18698/2542-1468-2024-6-104-114

References

- [1] Kazymov D.S., Makhotina L.G., Nikandrov A.B., Kuznetsov A.G., Akim E.L. *Osobennosti pererabotki drevesiny Larix Sibirica Ledeb (Pinaceae) v voloknistye polufabrikaty vysokogo vykhoda* [Features of processing Larix Sibirica Ledeb (Pinaceae) wood into high-yield fibrous semi-finished products]. *Khimiya rastitel'nogo syr'ya* [Chemistry of plant raw materials], 2021, no. 1, pp. 317–325.
- [2] Tambi A.A., Ugrymov S.A., Birman A.R., Chernogradskaya I.A., Runova E.M., Nikiforova V.A. *Obosnovanie neobkhodimosti vnedreniya protsessov kompleksnogo ispol'zovaniya drevesiny na lesopil'nykh predpriyatiyakh* [Justification of the need to introduce processes for the integrated use of wood at sawmills]. *Sistemy. Metody. Tekhnologii* [Systems. Methods. Technologies], 2020, no. 2 (46), pp. 47–54.
- [3] Polyanskaya O.A., Tambi A.A., Mikhaylova A.E. *Razvitie lesopromyshlennogo kompleksa Rossiyskoy Federatsii: problemy i perspektivy* [Development of the forestry complex of the Russian Federation: problems and prospects]. *Peterburgskiy ekonomicheskii zhurnal* [Petersburg Economic Journal], 2020, no. 4, pp. 65–74.
- [4] Wu Y., Tham J. The impact of environmental regulation, Environment, Social and Government Performance, and technological innovation on enterprise resilience under a green recovery. *Heliyon*, 2023, no. 9(10), p. 2027. <https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2023.e20278>
- [5] Chang Y., Liu B., Gao M. Mechanism and prediction of china-russia timber trade from the perspective of sustainable development. *International J. of Sustainable Development and Planning*, 2020, no. 15(4), pp. 559–567.
- [6] Koçak, E., Önderol, S., Khan, K. Structural change, modernization, total factor productivity, and natural resources sustainability: An assessment with quantile and non-quantile estimators. *Resources Policy*, 2021, no. 74, p. 10243. <https://doi.org/10.1016/j.resourpol.2021.102433>

- [7] Ariko S.Ye., Kononovich D.A., Voinash S.A., Sokolova V.A., Polyanskaya O.A., Garbuzova T.G., Andronov A.V. Selection of parameters of machines for collection of logging waste. IOP Conference Series: Earth and Environmental Science. Krasnoyarsk Science and Technology City Hall of the Russian Union of Scientific and Engineering. Krasnoyarsk, 2021, p. 52019.
- [8] Gryazkin A.V., Beliaev V.V., Beliaeva N.V., Petrik V.V., Kuznetsov E.N., Shakhov A.G. The logging waste as inexhaustible resource for alternative energy. Thermal Science, 2017, no. 21(2), pp. 1135–1142.
- [9] Larchenko Y.G., Shusharina G.A., Tretyakov A.V. State and prospects of logging and sawmilling waste management in khabarovsk territory. Business 4.0 as a Subject of the Digital Economy, Cham, 2022, pp. 887–892.
- [10] Pinchevska O., Lakyda Y., Baranova O., Biletskyi M., Holovach V., Oliinyk R., Yeroshenko A. Designing a new wood-composite material made from logging waste. Eastern-European J. of Enterprise Technologies, 2020, no. 4(1–106), pp. 91–97.
- [11] Vitiitnev A., Alashkevich Y., Marchenko R., Zyryanov M., Mokhirev A. Use of logging waste in technologies for deep chemical processing of wood. Wood Research, 2021, no. 66(5), pp. 821–832.
- [12] Konyukhova V.V., Yurtaeva L.V., Alashkevich Yu.D. *Mekhanizm obrabotki vtorichnogo voloknistogo materiala khvoynykh porod drevesiny pri kombinirovannom sposobe razmola* [Mechanism of processing secondary fibrous material of coniferous wood species using a combined grinding method]. *Khvoynye boreal'noy zony* [Conifers of the boreal zone], 2018, v. 36, no. 4. Pp. 371–374.
- [13] Karelina A.A., Alashkevich Yu.D., Kozhukhov V.A. *Razmol voloknistykh materialov vysokoy kontsentratsii iz odnoletnikh rasteniy v proizvodstve gotovoy produktsii* [Grinding of high-concentration fibrous materials from annual plants in the production of finished products]. *Ekologicheskie aspekty sovremennykh tekhnologiy v khimiko-lesnom komplekse: sb. nauch. materialov I i II nauchno-prakticheskikh konferentsiy* [Ecological aspects of modern technologies in the chemical-forestry complex: collection of scientific materials of the I and II scientific and practical conferences], Arkhangelsk, May 31, 2022 – May 17, 2024. Arkhangelsk: Federal'nyy issledovatel'skiy tsentr kompleksnogo izucheniya Arktiki im. akad. N.P. Laverova UrO RAN [Federal Research Center for Integrated Study of the Arctic named after academician N.P. Laverova UrB RAS], 2024, pp. 58–62.
- [14] Akim E.L., Rybnikov O.V., Pekarets A.A., Fedorova O.V., Makhotina L.G., Lukanin P.V., Rogovina S.Z., Berlin A.A. *Innovatsionnye tekhnologii biorefayninga listvenitsy i osiny kak vazhnye shagi na puti k uglerodnoy neytral'nosti rossiyskogo LPK* [Innovative technologies for larch and aspen biorefining as important steps towards carbon neutrality of the Russian forestry complex]. *Problemy mekhaniki tsellyulozno-bumazhnykh materialov* [Problems of Mechanics of Pulp and Paper Materials]. Arkhangelsk: Northern (Arctic) Federal University named after M.V. Lomonosov, 2023, pp. 296–301.
- [15] Ivanova V.N., Uvarova D.Yu., Makhotina L.G., Akim E.L. *Pererabotka voloknistykh polufabrikatov vysokogo vykhoda* [Processing of high-yield fibrous semi-finished products]. *Lesnoy Zhurnal* (Russian Forestry Journal), 2017, no. 6 (360), pp. 145–150.
- [16] Ushakov A.V., Alashkevich Yu.D., Kozhukhov V.A. *Vozmozhnost' razmola voloknistykh polufabrikatov vysokoy kontsentratsii v diskovoy mel'nitse* [Possibility of grinding high-concentration fibrous semi-finished products in a disk mill]. *Sovremennye tendentsii razvitiya khimicheskoy tekhnologii, promyshlennoy ekologii i tekhnosfernoy bezopasnosti* [Modern trends in the development of chemical technology, industrial ecology and technosphere safety]. SPb.: SPbGUPTD, 2020, pp. 270–272.
- [17] Chistova N.G., Matyugulina V.N., Alashkevich Yu.D. *Podgotovka drevesnovoloknistykh polufabrikatov v nozhevykh razmalyvayushchikh mashinakh razlichnoy modifikatsii* [Preparation of wood fiber semi-finished products in knife grinding machines of various modifications]. *Khimiya rastitel'nogo syr'ya* [Chemistry of plant raw materials], 2020, no. 4, pp. 459–466.
- [18] Vitiitnev A.Yu., Alashkevich Yu.D., Chistova N.G., Matyugulina V.N. *Vliyaniye stepeni pomola drevesnykh volokon posle pervoy stupeni razmola na fiziko-mekhanicheskie svoystva drevesnovoloknistykh materialov* [Influence of the degree of grinding of wood fibers after the first stage of grinding on the physicochemical properties of wood fiber materials]. *Problemy mekhaniki tsellyulozno-bumazhnykh materialov* [Problems of mechanics of pulp and paper materials]. Arkhangelsk: [Northern (Arctic) Federal University named after M.V. Lomonosov], 2021, pp. 157–160.
- [19] Kudryavtsev P., Kudryavtsev N., Trossman A. New research and development in the field of inorganic composite materials. *Scientific Israel – Technological Advantages*, 2017, v. 19, no. 3, pp. 25–39.
- [20] Vitiitnev A.Yu., Alashkevich Yu.D., Chistova N.G., Marchenko R.A. Improving the construction of grinding disk mill for producing fibrous semi-finished products. IOP Conference Series: Materials Science and Engineering. Krasnoyarsk Science and Technology City Hall., Krasnoyarsk, Russian Federation, 2021, p. 12172.
- [21] Sergeevichev A., Kushnerev V., Sergeevichev V., Sokolova V., Onegin V. Analysis of the influence of instrumental and regime factors on the quality of wood grinding. *J. of Physics: Conference Series*. International Scientific Conference «Conference on Applied Physics, Information Technologies and Engineering – APITECH-2019». Krasnoyarsk Science and Technology City Hall of the Russian Union of Scientific and Engineering Associations; Polytechnical Institute of Siberian Federal University, 2019, p. 44043.
- [22] Slyusarskiy K.V., Larionov K.B., Gubin V.E. The complex research on the technical conditions of energy application of wood pyrolysis bio-oil. *Sustainable And Efficient Use Of Energy, Water And Natural Resources (SEWAN – 2021)*. St. Petersburg, 2021, pp. 104–105.
- [23] Shishmareva A.V., Moiseeva E.E. Complex processing assessment of wood waste of the Krasnoyarsk region forestry complex. *European Proceedings of Social and Behavioural Sciences EpSBS*. Krasnoyarsk Science and Technology City Hall. Krasnoyarsk, 2020, pp. 258–268.
- [24] Larionov K.B., Slyusarskiy K.V., Kirgina M.V., Gvozdyakov D.V., Zenkov A.V., Bogdanov I.A., Kaltaev A.Z., Gubin V.E. The complex research on the technical conditions of energy application of wood pyrolysis bio-oil. *Energy, Ecology and Environment*, 2022, no. 3, p. 245.
- [25] Jarman S. Processed wood can be moulded into complex 3d structures. *Physics World*, 2022, no. 35(1), p. 711.
- [26] Sereda T.G., Kostarev S.N. Modeling of industrial stream and resources of machine-building enterpriser complex of wood preparation. IOP Conference Series: Materials Science and Engineering, 2018, p. 22094.
- [27] Zav'yalov M.V. *Mekhanizm gosudarstvennoy politiki v protsesse upravleniya ustoychivym razvitiem klastera lesopromyshlennoy sfery* [The mechanism of state policy in the process of managing the sustainable development of the forest industry cluster]. *Regional'naya ekonomika i upravlenie* [Regional Economy and Management], 2020, no. 4 (64), p. 5.

- [28] Tret'yakov A.G., Mayorov I.G. *Modernizatsiya lesnogo planirovaniya* [Modernization of forest planning]. Trudy Sankt-Peterburgskogo nauchno-issledovatel'skogo instituta lesnogo khozyaystva [Proceedings of the St. Petersburg Forestry Research Institute], 2023, no. 1, pp. 70–81.
- [29] Zyryanov M.A., Chistova N.G., Aksenov N.V., Shinkevich I.V., Matygulina V.N. *Ustroystvo dlya fibrillirovaniya i separirovaniya voloknistykh materialov* [Device for fibrillation and separation of fibrous materials]. Patent No. RU 2657685 C2 RF D21D 1/00. no. 2016119217; declared. 17.05.2016; publ. 14.06.2018, Bulletin no. 17, 10 p.
- [30] Zyryanov M.A. *Poluchenie polufabrikatov v odnu stupen' razmola dlya proizvodstva drevesnovoloknistykh plit mokrym sposobom* [Obtaining semi-finished products in one grinding stage for the production of fiberboards by the wet method]. Dis. Cand. Sci. (Tech.) 05.21.03. Krasnoyarsk, 2012. 171 p.
- [31] Chistova N.G. *Pererabotka drevesnykh otkhodov v tekhnologicheskoy protsesse polucheniya drevesnovoloknistykh plit* [Processing of wood waste in the technological process of obtaining fiberboards]. Dis. Dr. Sci. (Tech.), 05.21.03. Krasnoyarsk, 2010, 415 p.
- [32] Nabieva A.A., Alashkevich Yu.D., Kovalev V.I. *Analiz formirovaniya tekhnologicheskikh parametrov nozhevykh razmalyvayushchikh garnitur* [Analysis of the formation of technological parameters of knife grinding sets]. Khimiya rastitel'nogo syr'ya [Chemistry of plant raw materials], 2009, no. 3, pp. 169–172.
- [33] Osipova I.V. *Razrabotka metodiki rascheta pokazateley otsenki effektivnosti vnedreniya novogo oborudovaniya* [Development of a methodology for calculating indicators for assessing the effectiveness of the introduction of new equipment]. Izvestiya Yugo-Zapadnogo gosudarstvennogo universiteta. Seriya: Ekonomika. Sotsiologiya. Menedzhment [Bulletin of the South-West State University. Series: Economics. Sociology. Management], 2015, no. 4 (17), pp. 203–207.
- [34] Morkovina S.S., Panyavina E.A., Tseplyaev A.N. *Innovatsionnye tekhnologii v lesnom khozyaystve regionov: ekonomicheskiy aspekt* [Innovative technologies in forestry of the regions: economic aspect]. Vestnik Akademii znaniy [Bulletin of the Academy of Knowledge], 2020, no. 41 (6), pp. 206–215.
- [35] Rudakova T.A., Semikolenova M.N., Rakshina N.A. *Kal'kulirovanie sebestoimosti produktsii lesnogo khozyaystva* [Calculation of the cost of forestry products]. Sotsial'no-ekonomicheskiy i gumanitarnyy zhurnal [Socio-economic and humanitarian J.], 2017, no. 1(5), pp. 151–165.

The research was supported by the grant of the Russian Science Foundation №22-78-10002, <https://rscf.ru/project/22-78-10002/>.

Authors' information

Zyryanov Mikhail Alekseevich  — Cand. Sci. (Tech.), Associate Professor, Researcher of the Reshetnev Siberian State University of Science and Technology, zyryanov13@mail.ru

Medvedev Sergey Olegovich — Cand. Sci. (Economy), Senior Researcher of the Reshetnev Siberian State University of Science and Technology, medvedev_serega@mail.ru

Mokhirev Aleksandr Petrovich — Dr. Sci. (Tech.), Senior Researcher of the Reshetnev Siberian State University of Science and Technology, ale-mokhirev@yandex.ru

Received 13.02.2024.

Approved after review 01.04.2024.

Accepted for publication 05.09.2024.

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

ОБОСНОВАНИЕ ВЫБОРА ОПТИМАЛЬНОГО СПОСОБА ТРАНСПОРТИРОВКИ ТЕХНОЛОГИЧЕСКОЙ ЩЕПЫ

О.В. Мурашова✉, Т.В. Чельшева

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

o.murashova@narfu.ru

Представлено обоснование выбора оптимального способа транспортировки технологической щепы. Приведен расчет транспортных затрат для трех способов транспортировки. Обоснована экономическая эффективность оптимального способа. Технологическая щепа является сырьем для целлюлозно-бумажного производства. В исследовании представлены два способа транспортировки технологической щепы с ЗАО «Лесозавод 25» на ОАО «Архангельский ЦБК». Особенность расположения данных предприятий заключается в том, что при незначительной удаленности друг от друга (максимальное расстояние не превышает 60 км), транспортное сообщение может осуществляться двумя способами: автомобильным и водным в баржах. Автомобильный транспорт в настоящее время является основным способом транспортировки, обеспечивая высокую скорость и регулярность поставок. Однако он имеет высокую стоимость. Водный транспорт в баржах предлагает значительную экономию, но имеет ограниченный период навигации и требует сложных погрузочно-разгрузочных операций. Чтобы преодолеть недостатки каждого способа, предлагается комбинированный подход, использующий баржи в навигационный период и автотранспортные средства в межсезонье. Результаты исследования показывают, что комбинированный способ является наиболее экономичным вариантом, обеспечивая снижение годовых транспортных затрат на 21,33 % по сравнению с использованием только автомобильного транспорта.

Ключевые слова: технологическая щепа, автомобильный транспорт щепы, водный транспорт щепы, затраты на транспортировку

Ссылка для цитирования: Мурашова О.В., Чельшева Т.В. Обоснование выбора оптимального способа транспортировки технологической щепы // Лесной вестник / Forestry Bulletin, 2024. Т. 28. № 6. С. 115–126. DOI: 10.18698/2542-1468-2024-6-115-126

Щепа является продуктом переработки вторичных ресурсов деревопереработки, постоянно присутствующим на лесопромышленных предприятиях [1–11]. Предприятия используют ее преимущественно для собственных хозяйственных нужд, иногда отправляют на реализацию.

Существует внутренний и внешний рынок щепы. Правительство России 9 марта 2022 г. установило запрет на вывоз в ряд стран некоторых видов лесоматериалов, в том числе и щепы. Одним из основных потребителей российской щепы являлась Финляндия [12]. В марте 2022 г. в эту страну было отправлено 60,7 тыс. т щепы, что на 71,8 % меньше по сравнению с аналогичным периодом 2021 г. Далее следовала Эстония с объемами 2,4 тыс. т (+26,8 %). В Латвию было отгружено всего 0,1 тыс. т (–92,4 %) щепы.

В марте 2022 г. объем экспорта щепы из России в Европейский союз упал на 72 %, до 63,2 тыс. т. Стоимость экспорта упала на 73,4 % до 3,6 млн долл., а средняя цена уменьшилась на 6,6 % до 56,6 долл. за 1 т. По итогам I квартала 2022 г. снижение составило 30 %. Всего в январе–марте 2022 г. на внешние рынки было отгружено 442,1 тыс. т щепы. Стоимость поставок упала на

31,1 % до 27 млн долл., а средняя цена понизилась на 1,1 % до 61 долл. за 1 т. [13].

В марте 2023 г. правительство России внесло изменение в Постановление № 313 и разрешило экспорт щепы через три порта: Владивосток, Находка и Ольга, расположенных на берегу Японского моря в Приморском крае. Тем самым для отечественных лесопромышленников были открыты рынки сбыта Японии и Южной Кореи [14].

Япония до введения запрета являлась крупным импортером щепы. За первые три месяца 2022 г. Россия экспортировала в Японию 14,6 тыс. т щепы. Стоимость поставок составила 2,2 млн долл. Однако в марте 2022 г. Япония вслед за запретом экспорта щепы из России, ввела ответные санкции в отношении России и запретила импорт щепы. Таким образом, отмена экспорта с нашей стороны ситуацию не изменила, поскольку продолжает действовать запрет со стороны Японии.

Что касается Южной Кореи, то в 2021 г. объем экспорта щепы из России составил чуть более 2 млн т. на сумму 100 тыс. долл. В 2022 г. поставок из России в Южную Корею не было. Однако общий импорт щепы Южной Кореи в 2022 г. превысил 1 млн т., что на 23 % больше, чем в 2021 г. Таким образом, возможность поставлять щепу

в Южную Корею позитивно сказалась на предприятиях Дальнего Востока и Приморского края. Однако для лесопромышленников Северо-Запада России введение разрешения на экспорт проблеме не решает, и предприятия вынуждены искать другие пути реализации [15, 16]

В связи с сокращением экспорта щепы многие предприятия перенаправили экспортные потоки на внутренний рынок. Крупными потребителями щепы являются целлюлозно-бумажные комбинаты. Практически все ЦБК обладают собственной сырьевой базой, а также прочными связями и контактами со сторонними поставщиками.

ОАО «Архангельский ЦБК» и ЗАО «Лесозавод 25» являются давними партнерами. «Лесозавод 25» реализует технологическую щепу, отвечающую требованиям «Архангельского ЦБК». При этом оба предприятия являются одними из крупнейших лесопромышленных предприятий Северо-Запада России.

Общая концепция доставки грузов предполагает использование самых дешевых, но в то же время эффективных способов. Реализация данной концепции во многом зависит от правильного выбора подвижного состава, а также средств и способов выполнения погрузочно-разгрузочных работ.

Указанные особенности обуславливают необходимость поиска решений по снижению себестоимости транспортировки, определения оптимального расстояния перевозок и снижения транспортных рисков в процессе транспортировки технологической щепы.

Цель работы

Цель работы — выбор оптимального способа транспортировки технологической щепы с ЗАО «Лесозавод 25» на ОАО «Архангельский ЦБК».

Материалы и методы

Под щепой понимают «...измельченную древесину установленных размеров, получаемую в результате измельчения древесного сырья рубильными машинами и специальными устройствами в составе технологических линий, используемую в качестве технологического сырья или топлива» [17].

Различают топливную и технологическую щепу. Технологическую щепу используют для производства целлюлозы, древесно-волоконистых плит древесно-стружечных плит и других продуктов деревопереработки. Топливную — для нужд локальной энергетики [18].

Среди производителей щепы в Архангельской области можно выделить ЗАО «Лесозавод 25», ООО «Устьянский лесопромышленный комплекс» (ГК «УЛК»), АО «Онежский ЛДК». Для этих

предприятий щепы не является основным продуктом производства, а лишь продуктом переработки вторичных ресурсов. Покупают щепу АО «Архангельский фанерный завод», АО «АЦБК», филиал АО «Группа “Илим”» в г. Коряжме и некоторые другие предприятия.

ЗАО «Лесозавод 25» — один из крупнейших деревоперерабатывающих предприятий в Архангельской области, специализирующийся на переработке древесины хвойных пород (ели, сосны). Основным видом деятельности предприятия является производство экспортных пиломатериалов камерной сушки и древесных гранул (пеллет) [19]. Сопутствующий вид производства представлен выпуском технологической щепы, которую предприятие реализует на АО «АЦБК». Годовой объем производства технологической щепы в 2021 г. составил 2,1 м³. Оба предприятия находятся в городской черте г. Архангельска и его спутника г. Новодвинска. Расстояние между промышленными объектами не превышает 60 км. При этом у предприятий имеется возможность транспортировки как автомобильным, так и водным транспортом.

В ходе исследования нами были проанализированы существующий (автомобильный) и альтернативный (водный) способы транспортировки щепы с ЗАО «Лесозавод 25» на АО «АЦБК» и в результате выявлен оптимальный.

Результаты и обсуждение

Основной вид транспортировки щепы с ЗАО «Лесозавод 25» на АО «АЦБК» — автомобильный. При этом осуществляться он может с применением собственного парка автомобилей или найма автомобилей сторонних организаций [20].

В технологическом процессе используются следующие машины и оборудование: щепной бункер (рис. 1), ковшовый погрузчик, щеповоз. В качестве погрузчика используется Volvo L180E или Volvo L90F [21].

В качестве щеповозов предприятие использует автомобили [22]:

- Mercedes-Benz Actros 2545 LS (6 шт.);
- Volvo FM 6×2 (4 шт.);
- Volvo FM Truck 6×2 (3 шт.).

Кроме того, в транспортировке участвуют следующие прицепы: КОМЕ ТРВ-3КРК, TOPLIFT Finland P31-ANZ. Объем прицепов до 26 м³.

В случае найма автомобилей сторонних организаций используют автомобили МАН, Scania, Volvo, Mercedes с прицепами объемом до 31 м³.

Организация работы транспорта соответствует технологии и логистике лесопромышленных предприятий [23–28] и заключается в следующем. Смена щеповоза составляет 12 ч, из которых на



Рис. 1. Открытый щепной бункер на ЗАО «Лесозавод 25»
Fig. 1. Open chip bunker at CJSC Lesozavod 25

транспортировку уходит около 9 ч. В день автомобиль успевает совершить три рейса, т. е. один рейс занимает до 3 ч. Погрузка щеповоза занимает около 10 мин. В среднем в день работает четыре щеповоза, т. е. выполняется 12 рейсов. Работа осуществляется в две смены. Рабочая неделя состоит из семи рабочих дней.

Погрузка щепы из бункера осуществляется ковшовым погрузчиком Volvo L180F в щеповоз следующим образом (рис. 2):

- щеповоз подъезжает к месту погрузки, водитель открывает крышу кузова машины и становится на место ожидания окончания погрузки;

- машинист погрузчика подъезжает к куче древесной щепы в бункере или у бункера, опускает ковш до уровня захвата груза и движением погрузчика вперед продвигает ковш в кучу, избегая высыпания груза, наклоняя соответствующим образом ковш;

- машинист погрузчика задним ходом отъезжает от места захвата груза и перемещается к месту погрузки, где высыпает груз в кузов (груз не должен быть выше бортов); при погрузке с ковшем вместимостью 4,6 м³, машинист выгружает в кузов пять ковшей щепы, что составляет примерно 25 м³;

- после завершения погрузки машинист погрузчика разравнивает щепу в кузове с помощью ковша, отъезжает к бункеру и дает звуковой сигнал об окончании погрузки;

- водитель щеповоза закрывает крышу кузова и транспортирует щепу.

Для определения затрат транспортировки с использованием собственного и стороннего автотранспорта были определены маршруты доставки щепы на АО «АЦБК» с трех производственных участков ЗАО «Лесозавод 25» (рис. 3).

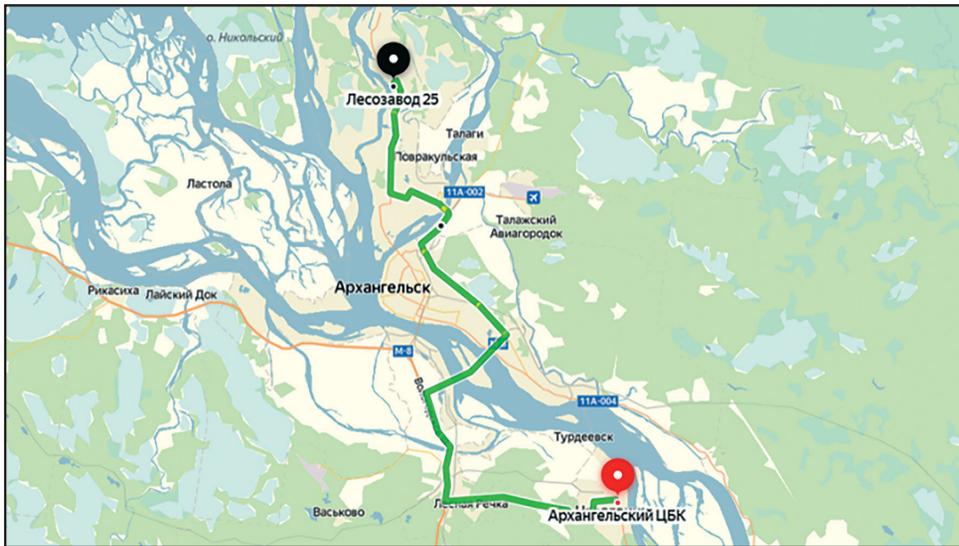


Рис. 2. Схема транспортировки щепы с применением автотранспорта
Fig. 2. Scheme of chip transportation using motor transport

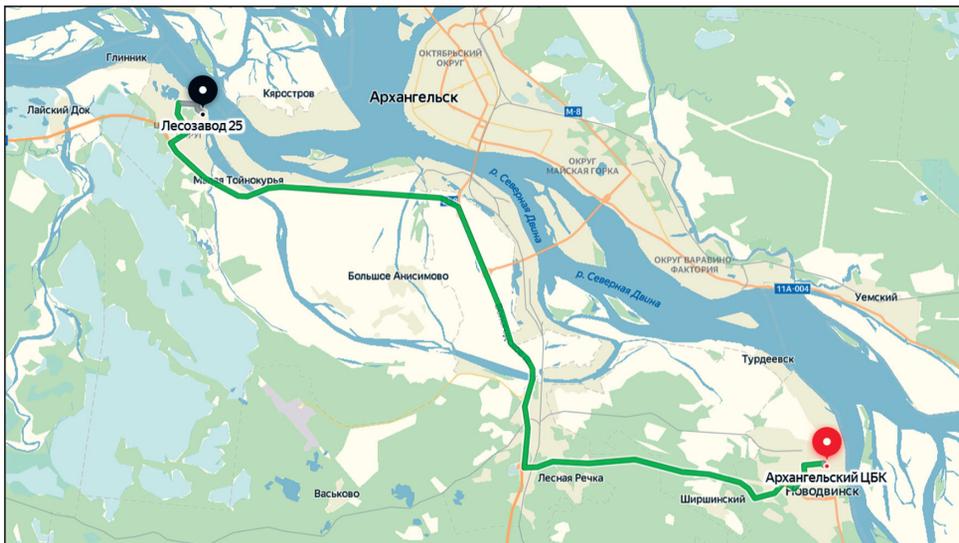
Участки № 1 и № 3 находятся на расстоянии 3 км один от другого, поэтому их маршруты транспортировки проходят по одним и тем же транспортным путям.

При калькуляции транспортных издержек учитываются следующие статьи расходов:

- на зарплату водителей с отчислениями;
- топливо;
- смазочные материалы;
- техническое обслуживание и текущий ремонт;
- автошины;
- амортизацию подвижного состава;
- общехозяйственные расходы.



а



б

Рис. 3. Маршруты транспортировки щепы автотранспортом с ЗАО «Лесозавод 25» на АО «АЦБК»: а — маршрут транспортировки с участков № 1 и № 3; б — маршрут транспортировки с участка № 2

Fig. 3. Chip transportation routes by motor transport from CJSC Lesozavod 25 to JSC APPM: а — transport route from sites No. 1 and No. 3; б — transport route from site No. 2.



Рис. 4. Баржа (проект 945), используемая для транспортировки щепы

Fig. 4. Barge (project 945) used for chip transportation

Т а б л и ц а 1

**Затраты на транспортировку технологической щепы с ЗАО «Лесозавод 25»
на ОАО «АЦБК» за один рейс по каждому маршруту**

Costs for industrial chips transportation from CJSC Lesozavod 25 to JSC APPM for one trip on each route

Номер участка	Транспорт	Длина маршрута, км	Объем грузовой партии, м ³	Затраты, руб./м ³	Затраты на перевозку грузовой партии без НДС, руб.	Затраты на перевозку грузовой партии с НДС, руб.
1	Собственный	49	26	550	14 300	17 160
	Сторонний	49	31	550	17 050	20 460
2	Собственный	35	26	360	9360	11 232
	Сторонний	35	31	360	11 160	13 392
3	Собственный	52	26	550	14 300	17 160
	Сторонний	52	91	550	17 050	204 060

Примечание. Пункты отправления — причалы на участках, пункт назначения — причал ОАО «АЦБК», грузовая единица — прицеп.

Т а б л и ц а 2

Суммарные затраты на транспортировку щепы автотранспортом

Total costs of chip transportation by motor transport

Номер участка	Транспорт	Количество рейсов			Суммарные затраты на транспортировку, тыс. руб.			Годовые затраты с НДС, тыс. руб.
		в день	в месяц	в год	в день	в месяц	в год	
1	Собственный	21	616	7353	294	8810	105 715	126 858
	Сторонний	17	517	6200	294	8810	105 715	126 858
2	Собственный	22	671	8052	209	6281	75 368	90 441
	Сторонний	19	563	6752	209	9281	75 368	90 441
3	Собственный	26	767	9200	365	10 963	131 556	157 867
	Сторонний	21	643	7716	365	10 963	131 556	157 867
Суммарно по всем участкам	Собственный	68	2054	24 644	868	26 053	312 638	375 166
	Сторонний	57	1722	20 670	868	26 053	312 638	375 166

После подсчета суммарных транспортных расходов определяют, какая их доля приходится на 1 м³ лесопродукции. В данном случае стоимость перевозки 1 м³ щепы автотранспортом с участков № 1 и № 3 составляет 550 руб./м³, с участка № 2 (Цигломень) — 360 руб./м³.

Стоимость перевозки собственными щеповозами и сторонних организаций одинаковая (табл. 1, 2).

Альтернативным способом транспортировки является водный транспорт. Для этих целей предполагают использовать баржи проекта 945 (рис. 4) [29].

В технологический процесс также включены щепной бункер, ковшовый погрузчик, щеповоз, перегружатель. Для погрузки барж используется перегружатель Sennebogen 830M [30].

Выделим следующие организационные моменты:

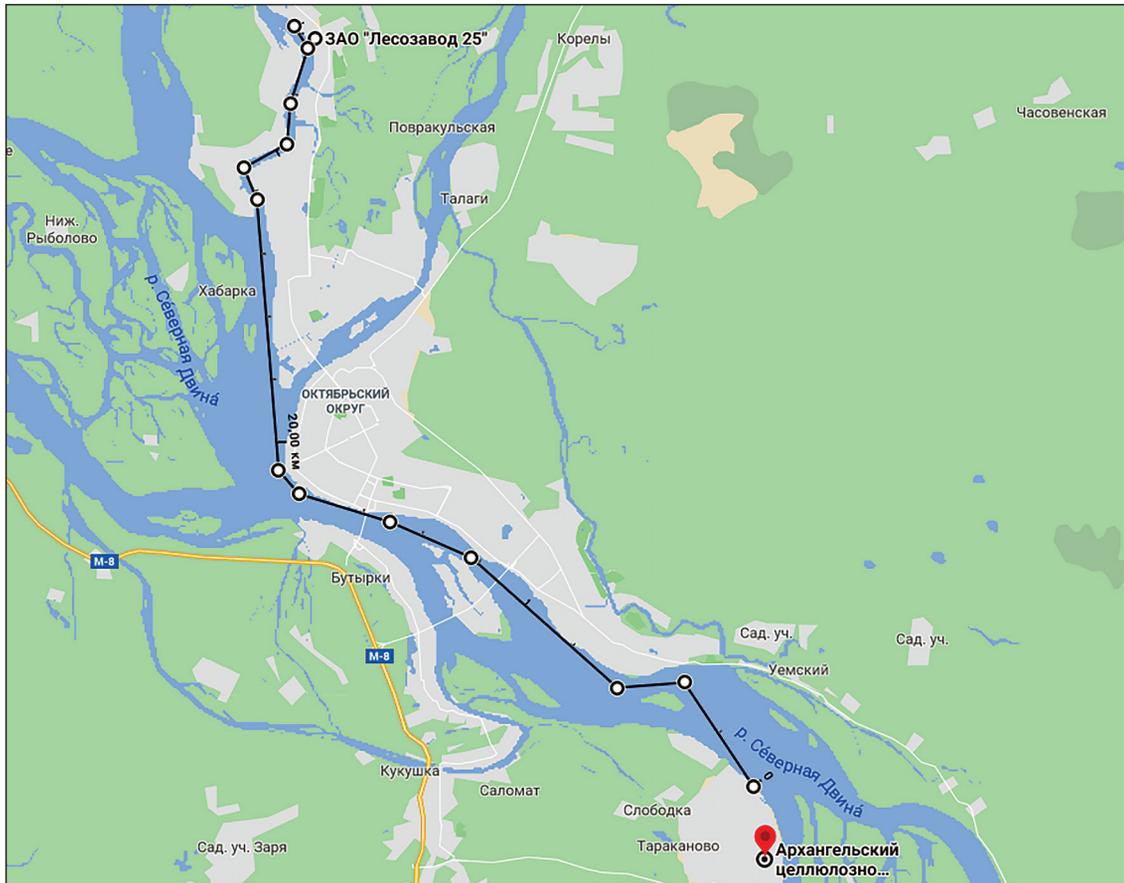
– навигационный период для действия барж продолжается с мая по октябрь;

– баржи подаются по заявкам, когда формируется запас в куче объемом более 1000 м³;

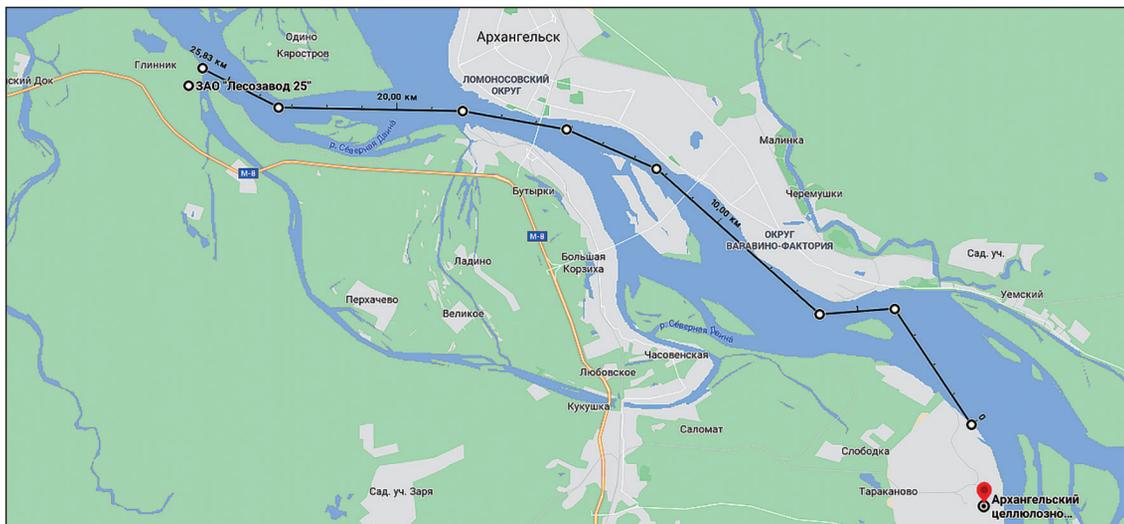


Рис. 5. Схема транспортировки щепы с применением водного транспорта

Fig. 5. Scheme of wood chips transportation using waterborne transport



а



б

Рис. 6. Маршруты транспортировки щепы водным транспортом с производственных участков ЗАО «Лесозавод 25» на АО «АЦБК»: а — маршрут транспортировки с участка № 2; б — маршрут транспортировки с участков № 1 и № 3

Fig. 6. Chip transportation routes by waterborne transport from the production sites of CJSC Lesozavod 25 to JSC ACPM: а — transportation route from site No. 2; б — transportation route from sites No. 1 and No. 3

Т а б л и ц а 3

Затраты на один рейс баржи с технологической щепой по каждому из трех маршрутов

Costs per barge voyage with industrial chips for each of the three routes

Номер участка	Длина маршрута	Объем грузовой партии, м ³	Затраты, руб./м ³					
			На внутренние перевозки	На окучивание бульдозером	На перемещение перегружателем	Итого	На перевозку грузовой партии без НДС	На перевозку грузовой партии с НДС
1	34	1000	8,19	5,87	0,64	321,7	321 704,17	386 045,60
2	26	1000	8,43	5,87	0,86	322,17	322 167,08	386 600,50
3	38	1000	15,34	5,94	1,28	329,56	329 557,82	395 469,39

Примечание. Пункты отправления — причалы на участках, пункт назначения — причал ОАО «АЦБК», грузовая единица — баржа.

Т а б л и ц а 4

Суммарные транспортные затраты на транспортировку технологической щепы водным транспортом по каждому из трех маршрутов

Total transport costs for transporting process chips by water transport for each of the three routes

Номер участка	Количество рейсов		Сумма затрат на транспортировку, тыс. руб.		Сумма затрат в год с НДС, тыс. руб.
	в месяц	в год (период навигации)	в месяц	в год (период навигации)	
1	28	189	9007,71	63 053,97	75 665
2	30	210	9665,01	67 655,07	81 186
3	34	238	10 953,68	76 675,76	92 011
Суммарно по всем участкам	92	637	29 626,4	207 384,8	248 862

– баржи предоставляются буксирно-баржевым флотом ЗАО «АКС»;

– погрузка происходит на отдельном причале: причал располагается на расстояниях 730 м, 820 м и 1,45 км от бункера щепы, в зависимости от расположения участка;

– необходим перегон самого перегружателя на заданное расстояние и транспортировка щепы до причала с помощью щеповозов;

– на причале формируется куча щепы, привезенной от бункеров;

– бульдозер применяется в двух точках: у щепного бункера для погрузки щепы в щеповоз и на причале, где бульдозер используется для окучивания щепы;

– погрузка осуществляется с помощью колесного перегружателя;

– погрузка баржи занимает около 6 ч, при этом перегружатель снимается с производства [31–33].

На рис. 5 представлена технологическая схема транспортировки щепы с использованием барж, на которой обозначены основные операции и необходимая техника, а также продемонстрированы причины усложнения технологического процесса перевозки щепы водным транспортом в отличие от автомобильного, а именно:

– увеличение количества операции при погрузке и разгрузке щепы;

– увеличение промежуточных площадок хранения щепы;

– вовлечение дополнительного оборудования. Таким образом, можно выделить следующие недостатки:

– усложнение погрузочно-разгрузочных работ;

– увеличение степени влияния погодных и температурных условий, что вместе вызывает рост вероятности снижения качества технологической щепы;

– невысокая средняя скорость транспортировки — 6,2 узла, или 11,5 км/ч при наибольшем километраже (40,7 км) обусловит продолжительность транспортировки от 3,5 ч;

– значительно возросшее время на погрузку транспорта (6 ч для баржи против 10 мин для щеповоза) повышает вероятность отправки транспорта в ночное время, что в свою очередь усиливает нагрузку на персонал.

При определении затрат на транспортировку водным транспортом были также определены маршруты (рис. 6).

Средняя вместимость барж составляет 1250 м³, при этом реально используется 50...80 %

Суммарные транспортные затраты при транспортировке комбинированным транспортом

Total transport costs for transportation by combined transport

Номер участка	Способ транспортировки	Количество рейсов			Затраты на транспортировку, тыс. руб.			Суммарные затраты в год с НДС, тыс. руб.	Всего затраты, тыс. руб.
		в день	в месяц	в год	в день	в месяц	в год		
1	Автомобильный	17	517	3100	294	8810	52 858	63 429	295 143
	Водный	0	14	84	0	4504	27 023	32 428	
2	Автомобильный	19	563	3317	209	6281	37 684	45 221	
	Водный	0	15	90	0	4833	29 905	34 794	
3	Автомобильный	21	643	3585	365	10 963	65 778	78 933	
	Водный	0	17	102	0	5602	33 615	40 338	
Всего	Автомобильный	57	1722	10 335	868	26 053	156 319	187 583	
	Водный	0	46	276	0	17 342	89 633	107 560	

(т. е. 1000 м³) грузоподъемности во избежание сильной осадки баржи или потерь щепы [30]. Стоимость транспортировки 1 м³ щепы устанавливает предприятие-перевозчик — 200 руб. без учета НДС.

При использовании барж технологический процесс погрузки — разгрузки усложняется, что в свою очередь требует дополнительных затрат:

- на внутренние перевозки;
- окучивание бульдозером;
- перемещения перегружателя;
- потери от отвлечения перегружателя;
- выгрузку щепы в месте назначения.

Затраты на один рейс с каждого участка ЗАО «Лесозавод 25» представлены в табл. 3, 4.

Несмотря на существенную дешевизну, водный транспорт имеет значимый минус — наличие навигационного периода для плавания судов. В Архангельской области навигационный период начинается в мае и заканчивается в октябре/ноябре, т. е. составляет 6–7 месяцев [34, 35]. При средней скорости буксировки 11,5 км/ч на каждом участке должно работать не менее двух барж. К тому же у АО «АЦБК» должна быть промплощадка, способная вместить межсезонный запас щепы, рассчитанный на полгода. Комбинированный способ транспортировки способен решить данные проблемы (табл. 5).

Условиями комбинированного способа являются следующие:

– в течение периода навигации, который составляет 6 месяцев (с мая по октябрь), следует применять только водный способ транспортировки, что позволяет значительно снизить затраты на перевозку;

– в остальное время (также 6 месяцев) можно использовать только автомобильный транспорт, причем сторонних организаций.

Экономический эффект от перехода с автомобильного транспорта на водный составит

126 304 тыс. руб., от перехода с автомобильного на комбинированный — 80 023 тыс. руб.

Выводы

Использование только водного транспорта, даже несмотря на замедление и усложнение технологии погрузочно-разгрузочных работ, является наиболее дешевым способом транспортировки технологической щепы. Однако с учетом особенностей его применения, в частности навигационного периода, возникает необходимость использования других видов транспорта в несудоходные месяцы.

Внедрение комбинированного способа позволит снизить объем годовых транспортных затрат на 80 023 тыс. руб. с НДС, или на 21,33 %, по сравнению со способом, где используется только автотранспорт.

Однако такой способ обладает следующими недостатками:

- регулярное отвлечение колесных перегружателей от основного производства;
- усложнение технологии погрузки щепы и отвлечение тягачей на внутренние перевозки;
- низкая скорость транспортировки баржами.

Тем не менее выполненные расчеты позволяют сделать вывод, что комбинированный способ является экономически оптимальным.

Список литературы

- [1] Никишов В.Д. Комплексное использование древесины. М.: Лесная пром-сть, 1985. 264 с.
- [2] Мохирев А.П., Аксенов Н.В., Шверев О.В. О рациональном природопользовании и эксплуатации ресурсов в Красноярском крае // Инженерный вестник Дона, 2014. № 4–1 (31). С. 20.
- [3] Мохирев А.П., Безруких Ю.А., Медведев С.О. Переработка древесных отходов предприятий лесопромышленного комплекса как фактор устойчивого природопользования // Инженерный вестник Дона, 2015. № 2. Ч. 2. С. 36.

- [4] Чельшева Т.В., Мурашова О.В. О внедрении элементов бережливого производства на лесопромышленных предприятиях Архангельской области // Инженерные задачи: проблемы и пути решения. Матер. IV Всероссийской (национальной) науч.-практ. конф. Высшей инженерной школы САФУ, Архангельск, 16–18 ноября 2022 года. Архангельск: Изд-во САФУ, 2022. С. 156–159.
- [5] Сафин Р.Г., Саттарова З.Г., Хабибуллин И.Г., Зиатдинов Р.Р., Степанова Т.О. Современные направления переработки лесных ресурсов // Вестник Казанского технологического университета, 2015. Т. 18. № 21. С. 90–93.
- [6] Технологическая щепка — востребованный продукт // ЛесПромИнформ, 2016. № 8 (122). URL: <https://lesprominform.ru/jarticles.html?id=4547> (дата обращения 21.03.2023).
- [7] Мурашова О.В., Главатских Н.С., Перфильев П.Н., Задраускайте Н.О. Перспективы комплексного использования отходов лесозаготовительного производства // Лесной вестник / Forestry Bulletin, 2022. Т. 26. № 4. С. 119–127. DOI: 10.18698/2542-1468-2022-4-119-127
- [8] Perfiliev P.N., Murashova O.V., Glavatskih N.S., Zadrauskaite N.O. Improvement of logging waste usage efficiency // 21st International Multidisciplinary Scientific GeoConference SGEM 2021, 16–22 August, 2021, SGEM 21, Bulgaria, 2021, v. 21, book 3.1, pp. 609–618. DOI: 10.5593/sgem2021/3.1/s14.76
- [9] Машины для измельчения древесины // ЛесПромИнформ, 2010. № 2 (68). URL: <https://lesprominform.ru/jarticles.html?id=1176> (дата обращения 21.03.2023).
- [10] Превратить отходы лесозаготовки в доходы поможет техника компании Bandit Industries Inc. // ЛесПромИнформ, 2011. № 5 (79). URL: <https://lesprominform.ru/jarticles.html?id=2372> (дата обращения 01.01.2023).
- [11] Производство пиломатериалов, профилированных по кромке; производство древесного полотна, древесной муки; производство технологической щепы или стружки в Архангельской области // Rusprofile. URL: <https://www.rusprofile.ru/codes/161020/arkhangelskaya-oblast> (дата обращения 21.03.2023).
- [12] Ранга-Корхонен Т., Сойнинен Х., Эрк А.Ф. Производство и использование древесной щепы в приграничных районах России и Финляндии // АгроЭкоИнженерия, 2020. № 103. С. 12–19.
- [13] Экспортная щепка пошла на внутренний рынок // Lesprom Network. URL: <https://www.lesprom.com/ru/news> (дата обращения 29.03.2024).
- [14] Постановление Правительства РФ от 09.03.2022 № 313 «О мерах по реализации Указа Президента Российской Федерации от 8 марта 2022 г. № 100». Таможенные документы // Альта-Софт. URL: <https://www.alta.ru/tamdoc/22ps0313/?ysclid=lvkx2y8tp4570156422> (дата обращения 29.03.2024).
- [15] Правительство разрешило экспорт щепы в недружественные страны: Лесная промышленность // Lesonline.ru: Лесная промышленность. URL: <https://www.lesonline.ru/news/?n=415666> (дата обращения 29.03.2024).
- [16] Кряж и щепка не достанутся Европе // Газета РБК. URL: <https://www.rbc.ru/newspaper/2022/03/11/6229ca959a794754ab9afa74?ysclid=lvkwvirha8723283676> (дата обращения 29.03.2024).
- [17] ГОСТ 17462–84 Продукция лесозаготовительной промышленности. Термины и определения (с изменением № 1) // Электронный фонд правовой и нормативно-технической документации. URL: <http://docs.cntd.ru/document/1200014926>, свободный (дата обращения 03.03.2023).
- [18] Рынок щепы: тенденции и прогнозы // Лесной комплекс РФ. URL: <https://forestcomplex.ru/2019/04/gynok-shhepy-tendencii-i-prognozy/> (дата обращения 23.03.2023).
- [19] Лесозавод 25/Продукция // Лесозавод 25. URL: <https://www.sawmill25.ru/продукция/> (дата обращения 21.03.2023).
- [20] Предприятие сегодня // Лесозавод 25. URL: <http://www.sawmill25.ru> (дата обращения 01.07.2020).
- [21] Volvo L180F: технические характеристики, описание, обзор // Экскаватор.ру. URL: https://excavator.ru/excapedia/technic/volvo_l180f (дата обращения 21.03.2023).
- [22] Mercedes-Benz Actros 2545 LS 6x2 — технические характеристики и описание // Коммерческий транспорт и спецтехника. URL: <https://truck-and-bus.ru/catalog/mercedes-benz/mercedes-benz-actros/mercedes-benz-actros-2545-ls-6x2/> (дата обращения 21.03.2023).
- [23] Еремеева Л.Э. Основы лесопромышленной логистики. Сыктывкар: СЛИ, 2014. 208 с.
- [24] Перфильев П.Н., Мурашова О.В., Задраускайте Н.О. Моделирование и оптимизация технологических процессов предприятий лесопромышленного комплекса. Архангельск: Изд-во САФУ, 2018. 94 с.
- [25] Гаспарян Г.Д. Особенности транспортировки и сбыта щепы лесозаготовительными предприятиями // Systems Methods Technologies, 2019. № 2. С. 94–99.
- [26] Салминен Э.О., Овчинников М.М., Бит Ю.А. Организация перевозок лесопродукции. СПб.: ИЦ Интермедия, 2014. 494 с.
- [27] Алябьев В.И., Ильин Б.А., Кувалдин Б.И. Сухопутный транспорт леса. М.: Лесная пром-сть, 1990. 416 с.
- [28] Полувагоны-щеповозы // Евросиб. URL: <http://www.eurosib.biz/ru/aktivy/podvizhnoj-i-tyagovyj-sostavy/poluvagony-shepovozy> (дата обращения 01.01.2020).
- [29] Korabel.ru — Технические характеристики проекта 945 Судно Баржа. URL: <https://www.korabel.ru/fleet/info/27437.html> (дата обращения 21.03.2023).
- [30] Sennebogen 830M RU // Sennebogen. URL: <https://lonmadi.ru/catalog/sennebogen/peregruzhateli-kolesnye/830.html> (дата обращения 21.03.2023).
- [31] Суков Г.Я., Главатских Н.С., Штаборов Д.А. Транспорт лесопродукции по внутренним водным путям. Архангельск: САФУ, 2019. 180 с.
- [32] Камусин А.А., Суков Г.Я., Войтко П.Ф. Транспорт лесных грузов по внутренним водным путям. Йошкар-Ола: ПГТУ, 2017. 476 с.
- [33] Овчинников М.М., Евдокимов Л.И. Судовые перевозки лесоматериалов. СПб.: СПбГЛТУ, 2007. 104 с.
- [34] Об установлении сроков открытия навигации на водных объектах Архангельской области в 2022 году // Портал проектов нормативных правовых актов Архангельской области. URL: https://docs.yandex.ru/docs/view?tm=1677844544&tld=ru&lang=ru&name=v-arhangelskoy-oblasti-opredeleny-sroki-otkrytiya-navigacii-na-vodnyh-obektah_1650616960888415049.pdf (дата обращения 03.03.2023).
- [35] Об установлении сроков закрытия навигации на водных объектах Архангельской области в 2022 году // Портал проектов нормативных правовых актов Архангельской области. URL: <http://publication.pravo.gov.ru/Document/View/2900202210210001> (дата обращения 21.03.2023).

Сведения об авторах

Мурашова Ольга Валерьевна  — канд. техн. наук, доцент, ФГАОУ ВО «Северный (Арктический) федеральный университет имени М.В. Ломоносова (САФУ), o.murashova@narfu.ru

Челышева Татьяна Валерьевна — канд. техн. наук, доцент, ФГАОУ ВО «Северный (Арктический) федеральный университет имени М.В. Ломоносова (САФУ), t.chelusheva@narfu.ru.

Поступила в редакцию 24.04.2023.

Одобрено после рецензирования 13.11.2023.

Принята к публикации 16.10.2023.

RATIONALE FOR CHOOSING OPTIMAL INDUSTRIAL CHIPS TRANSPORTATION METHOD

O.V. Murashova , **T.V. Chelusheva**

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

o.murashova@narfu.ru

The paper provides a rationale for choosing the optimal method of transporting industrial chips. The calculation of transport costs for three transportation modes is given. The economic efficiency of the optimal method is justified. Wood chips are a product of processing secondary resources of a timber industry enterprise. At the same time, industrial chips are raw materials for pulp and paper production. Therefore, if the chip meets the technological requirements, it is advisable to use it for its intended purpose. The study presents two ways of transporting technological chips from CJSC Lesozavod 25 to JSC Arkhangelsk Pulp and Paper Mill. The location peculiarity of these enterprises involves a small distance from each other (the maximum distance does not exceed 60 km), transport link can be carried out in two ways either by road or by water in barges. Highway transport is currently the main mode of transportation, ensuring high speed and regularity of deliveries. However, it has a high cost. Waterborne transport carried out by barges offers significant savings, but has a limited navigation period and requires complex loading and unloading operations. To overcome the disadvantages of each method, a combined approach is proposed, using barges during the navigation period and motor vehicles during the off-season. The results of the study show that the combined method is the most economical option, providing a reduction in annual transport costs by 21,33 % compared with using only road transport.

Keywords: industrial chips, automobile transport of chips, waterborne transport of chips, transportation costs

Suggested citation: Murashova O.V., Chelusheva T.V. *Obosnovanie vybora optimal'nogo sposoba transportirovki tekhnologicheskoy shchepy* [Rationale for choosing optimal industrial chips transportation method]. *Lesnoy vestnik / Forestry Bulletin*, 2024, vol. 28, no. 6, pp. 115–126. DOI: 10.18698/2542-1468-2024-6-115-126

References

- [1] Nikishov V.D. *Kompleksnoe ispol'zovanie drevesiny* [Complex use of wood]. Moscow: Lesnaya promyshlennost' [Timber industry], 1985, 264 p.
- [2] Mokhirev A.P., Aksenov N.V., Sheverev O.V. *O ratsional'nom prirodopol'zovanii i ekspluatatsii resursov v Krasnoyarskom krae* [On rational environmental management and exploitation of resources in the Krasnoyarsk Territory]. *Inzhenernyy vestnik Dona* [Engineering Bulletin of the Don], 2014, no. 4–1 (31), p. 20.
- [3] Mokhirev A.P., Bezrukikh Yu.A., Medvedev S.O. *Pererabotka drevesnykh otkhodov predpriyatiy lesopromyshlennogo kompleksa, kak faktor ustoychivogo prirodopol'zovaniya* [Processing of wood waste from timber industry enterprises as a factor in sustainable environmental management]. *Inzhenernyy vestnik Dona* [Engineering Bulletin of the Don], 2015, no. 2, part 2, p. 36.
- [4] Chelusheva T.V., Murashova O.V. *O vnedrenii elementov berezhlivogo proizvodstva na lesopromyshlennykh predpriyatiyakh Arkhangel'skoy oblasti* [On the implementation of lean manufacturing elements at forestry enterprises in the Arkhangelsk region]. *Inzhenernye zadachi: problemy i puti resheniya: mater. IV Vserossiyskoy (natsional'noy) nauchno-prakticheskoy konferentsii Vysshey inzhenernoy shkoly SAFU* [Engineering tasks: problems and solutions: Proc. IV All-Russian (national) scientific and practical conference of the Higher Engineering School of NArFU], Arkhangelsk, November 16–18, 2022. Arkhangelsk: Northern (Arctic) Federal University named after M.V. Lomonosov, 2022, pp. 156–159.
- [5] Safin R.G., Sattarova Z.G., Khabibullin I.G., Ziatdinov R.R., Stepanova T.O. *Sovremennye napravleniya pererabotki lesnykh resursov* [Modern directions of processing of forest resources]. *Vestnik Kazanskogo tekhnologicheskogo universiteta* [Bulletin of the Kazan Technological University], 2015, t. 18, no. 21, pp. 90–93.
- [6] *Tekhnologicheskaya shchepa — vstrebovannyy produkt* [Process chips — a sought-after product]. *LesPromInform*, 2016, no. 8 (122). Available at: <https://lesprominform.ru/jarticles.html?id=4547> (accessed 21.03.2023).

- [7] Murashova O.V., Glavatskikh N.S., Perfiliev P.N., Zadrauskaite N.O. *Perspektivy kompleksnogo ispol'zovaniya otkhodov lesozagotovitel'nogo proizvodstva* [Prospects for the integrated use of logging production waste]. *Lesnoy vestnik / Forestry Bulletin*, 2022, vol. 26, no. 4, pp. 119–127. DOI: 10.18698/2542-1468-2022-4-119-127
- [8] Perfiliev P.N., Murashova O.V., Glavatskikh N.S., Zadrauskaite N.O. Improvement of logging waste usage efficiency. 21st International Multidisciplinary Scientific GeoConference SGEM 2021, 16–22 August, 2021, SGEM 21, Bulgaria, 2021, v. 21, book 3.1, pp. 609–618. DOI: 10.5593/sgem2021/3.1/s14.76
- [9] *Mashiny dlya izmel'cheniya drevesyiny* [Machines for grinding wood]. *LesPromInform*, 2010, no. 2 (68). Available at: <https://lesprominform.ru/jarticles.html?id=1176> (accessed 21.03.2023).
- [10] *Prevratit' otkhody lesozagotovki v dokhody pomozhet tekhnika kompanii Bandit Industries Inc.* [Equipment from Bandit Industries Inc. will help turn logging waste into income]. *LesPromInform*, 2011, no. 5 (79). Available at: <https://lesprominform.ru/jarticles.html?id=2372> (accessed 21.03.2023).
- [11] *Proizvodstvo pilomaterialov, profilirovannykh po kromke; proizvodstvo drevesnogo polotna, drevesnoy muki; proizvodstvo tekhnologicheskoy shchepy ili struzhki v Arkhangel'skoy oblasti* [Production of edge-profiled lumber; production of wood fiber, wood flour; production of technological chips or shavings in the Arkhangelsk region]. *Rusprofile*. Available at: <https://www.rusprofile.ru/codes/161020/arkhangel'skaya-oblast> (accessed 21.03.2023).
- [12] Ranta-Korkhonen T., Soyninen Kh., Erk A.F. *Proizvodstvo i ispol'zovanie drevesnoy shchepy v prigranichnykh rayonakh Rossii i Finlyandii* [Production and use of wood chips in the border areas of Russia and Finland]. *AgroEkoInzheneriya [AgroEcoEngineering]*, 2020, no. 103, pp. 12–19.
- [13] *Eksportnaya shchepa poshla na vnutrenniy rynek* [Export chips went to the domestic market]. *Lesprom Network*. Available at: <https://www.lesprom.com/ru/news> (accessed 29.03.2024).
- [14] *Postanovlenie Pravitel'stva RF ot 09.03.2022 № 313 «O merakh po realizatsii Ukaza Prezidenta Rossiyskoy Federatsii ot 8 marta 2022 g. № 100». Tamozhennyye dokumenty* [Resolution of the Government of the Russian Federation of 09.03.2022 no. 313 «On measures to implement the Decree of the President of the Russian Federation of March 8, 2022 no. 100». Customs documents]. *Alta-Soft*. Available at: <https://www.alta.ru/tamdoc/22ps0313/?ysclid=lvkx2y8tp4570156422> (accessed 29.03.2024).
- [15] *Pravitel'stvo razreshilo eksport shchepy v nedruzhestvennyye strany: Lesnaya promyshlennost'* [The government allowed the export of chips to unfriendly countries: Forestry]. *Lesonline.ru: Forestry*. Available at: <https://www.lesonline.ru/news/?n=415666> (accessed 29.03.2024).
- [16] *Kryazh i shchepa ne dostanutsya Evrope* [Logs and chips will not reach Europe]. *RBC newspaper*. Available at: <https://www.rbc.ru/newspaper/2022/03/11/6229ca959a794754ab9afa74?ysclid=lvkwvirha8723283676> (accessed 29.03.2024).
- [17] *GOST 17462–84 Produktsiya lesozagotovitel'noy promyshlennosti. Terminy i opredeleniya (s Izmeneniyem № 1)* [GOST 17462–84 Products of the logging industry. Terms and definitions (with Amendment No. 1)]. *Elektronnyy fond pravovoy i normativno-tekhnicheskoy dokumentatsii* [Electronic fund of legal and regulatory technical documentation]. Available at: <http://docs.cntd.ru/document/1200014926>, free (accessed 03.03.2023).
- [18] *Rynok shchepy: tendentsii i prognozy* [Chip market: trends and forecasts]. *Lesnoy kompleks RF [Forestry complex of the Russian Federation]*. Available at: <https://forestcomplex.ru/2019/04/rynek-shchepy-tendentsii-i-prognozy/> (accessed 23.03.2023).
- [19] *Lesozavod 25/Produktsiya* [Sawmill 25/Products]. *Sawmill 25*. Available at: <https://www.sawmill25.ru/products/> (accessed 21.03.2023).
- [20] *Predpriyatie segodnya* [Enterprise today]. *Sawmill 25*. Available at: <http://www.sawmill25.ru> (accessed 01.07.2023).
- [21] *Volvo L180F: tekhnicheskie kharakteristiki, opisaniye, obzor* [Volvo L180F: technical characteristics, description, review]. *Excavator.ru*. Available at: https://excavator.ru/excapedia/technic/volvo_l180f (accessed 21.03.2023).
- [22] *MERCEDES-BENZ Actros 2545 LS 6x2 — tekhnicheskie kharakteristiki i opisaniye* [MERCEDES-BENZ Actros 2545 LS 6x2 — technical characteristics and description]. *Kommercheskiy transport i spetsstekhnika [Commercial vehicles and special equipment]*. Available at: <https://truck-and-bus.ru/catalog/mercedes-benz/mercedes-benz-actros/mercedes-benz-actros-2545-ls-6x2/> (accessed 21.03.2023).
- [23] Eremeeva L.E. *Osnovy lesopromyshlennoy logistiki* [Fundamentals of forestry logistics]. *Syktvykar: SLI*, 2014, 208 p.
- [24] Perfil'ev P.N., Murashova O.V., Zadrauskayte N.O. *Modelirovaniye i optimizatsiya tekhnologicheskikh protsessov predpriyatiy lesopromyshlennogo kompleksa* [Modeling and optimization of technological processes of timber industry enterprises]. *Arkhangel'sk: Northern (Arctic) Federal University named after. M.V. Lomonosova*, 2018, 94 p.
- [25] Gasparyan G.D. *Osobennosti transportirovki i sbyta shchepy lesozagotovitel'nyimi predpriyatiyami* [Features of transportation and sale of woodchips by logging enterprises]. *Systems Methods Technologies [Systems Methods Technologies]*, 2019, no. 2, pp. 94–99.
- [26] Salminen E.O., Ovchinnikov M.M., Bit Yu.A. *Organizatsiya perevozok lesoproduktsii* [Organization of transportation of forest products]. *St. Petersburg: IC Intermedia*, 2014, 494 p.
- [27] Alyab'ev V.I., Il'in B.A., Kuvaldin B.I. *Sukhoputnyy transport lesa* [Land transport of forests]. *Moscow: Lesnaya promyshlennost' [Timber industry]*, 1990, 416 p.
- [28] *Poluvagony-shchepovozy* [Gondola cars for wood chips]. *Eurosib*. Available at: <http://www.eurosib.biz/ru/aktivny/podvizhnoj-i-tyagovyyj-sostavy/poluvagony-shchepovozy> (accessed 01.01.2020).
- [29] *Korabel.ru — Tekhnicheskie kharakteristiki proekta 945 Sudno Barzha* [Korabel.ru — Technical characteristics of the project 945 Vessel Barge]. Available at: <https://www.korabel.ru/fleet/info/27437.html> (accessed 21.03.2023).
- [30] *Sennebogen 830M RU*. *Sennebogen*. Available at: <https://lonmadi.ru/catalog/sennebogen/peregruzhateli-kolesnye/830.html> (accessed 21.03.2023).
- [31] Surov G.Ya., Glavatskikh N.S., Shtaborov D.A. *Transport lesoproduktsii po vnutrennim vodnym putyam* [Transport of forest products via inland waterways]. *Arkhangel'sk: NArFU*, 2019, 180 p.
- [32] Kamusin A.A., Surov G.Ya., Voytko P.F. *Transport lesnykh gruzov po vnutrennim vodnym putyam* [Transport of timber cargo by inland waterways]. *Yoshkar-Ola: PSTU*, 2017, 476 p.

- [33] Ovchinnikov M.M., Evdokimov L.I. *Sudovye perevozki lesomaterialov* [Ship transportation of timber]. St. Petersburg: SPbGLTU, 2007, 104 p.
- [34] *Ob ustanovlenii srokov otkrytiya navigatsii na vodnykh ob'ektakh Arkhangel'skoy oblasti v 2022 godu* [On setting the deadline for opening navigation on water bodies of the Arkhangel'sk region in 2022]. Portal proektov normativnykh pravovykh aktov Arkhangel'skoy oblasti [Portal of draft regulatory legal acts of the Arkhangel'sk region]. Available at: https://docs.yandex.ru/docs/view?tm=1677844544&tld=ru&lang=ru&name=v-arhangel'skoy-oblasti-opredeleny-sroki-otkrytiya-navigacii-na-vodnyh-obektah_1650616960888415049.pdf (accessed 03.03. 2023).
- [35] *Ob ustanovlenii srokov zakrytiya navigatsii na vodnykh ob'ektakh Arkhangel'skoy oblasti v 2022 godu* [On setting deadlines for closing navigation on water bodies of the Arkhangel'sk region in 2022]. Portal proektov normativnykh pravovykh aktov Arkhangel'skoy oblasti [Portal of draft regulatory legal acts of the Arkhangel'sk region]. Available at: <http://publication.pravo.gov.ru/Document/View/2900202210210001> (accessed 21.03.2023).

Authors' information

Murashova Ol'ga Valer'evna ✉ — Cand. Sci. (Tech.), Associate Professor of the Northern (Arctic) Federal University named after M.V. Lomonosov, o.murashova@narfu.ru

Chelysheva Tat'yana Valer'evna — Cand. Sci. (Tech.), Associate Professor of the Northern (Arctic) Federal University named after M.V. Lomonosov, t.chelusheva@narfu.ru

Received 24.04.2023.

Approved after review 13.11.2023.

Accepted for publication 16.10.2024.

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

МОДЕЛИРОВАНИЕ ТЕХНОЛОГИИ УБОРКИ «ЭНЕРГЕТИЧЕСКОЙ» ИВЫ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ МЯГКИХ КОНТЕЙНЕРОВ

С.П. Карпачев[✉], В.И. Запруднов

ФГБОУ ВО «Московский государственный технический университет имени Н.Э. Баумана (национальный исследовательский университет)», (Мытищинский филиал), Россия, 141005, Московская обл., г. Мытищи, ул. 1-я Институтская, д. 1

karpachevs@mail.ru

Рассмотрен технологический процесс уборки «энергетической» ивы с использованием мягких контейнеров. На основе запатентованного автором устройства предложена концептуальная модель уборочной машины, которая состоит из трактора, навесного оборудования для срезания и измельчения на щепу ивы и прицепного устройства для установки, загрузки и сброски на землю контейнеров. Приведены два варианта технологии уборки «энергетической» ивы: 1) применяемая в настоящее время технология, когда уборочная машина работает совместно с транспортной машиной; 2) технология, предлагаемая в настоящей статье, когда уборочная машина работает независимо от транспортной машины с загрузкой щепы в мягкие контейнеры. Разработана математическая модель существующего технологического процесса уборки ивы и технология с использованием мягких контейнеров. Проведены имитационные эксперименты на математических моделях технологических процессов для расстояния от 1 до 5 км от плантации ивы до склада щепы и для разной максимально возможной производительности уборки ивы — от 5 до 15 т/ч. Выявлено, что предложенная технология уборки ивы с использованием контейнеров не зависит от расстояния от плантации до склада и позволяет достичь производительности, которая при равных условиях выше производительности существующей технологии в 2–3 раза. Установлено, что коэффициент загрузки уборочной машины по существующей технологии зависит от расстояния от плантации до склада щепы и изменяется от 0,268 до 0,823. Определены условия, при которых коэффициент загрузки уборочной машины по заявленной технологии равен 1. Рекомендовано использовать технологию уборки ивы с использованием контейнеров для небольших фермерских хозяйств как минимизирующую инвестиционные затраты на закупку техники.

Ключевые слова: быстрорастущая «энергетическая» ива (*salix*), мягкие контейнеры, топливная щепка, математическая модель, имитационное моделирование

Ссылка для цитирования: Карпачев С.П., Запруднов В.И. Моделирование технологии уборки «энергетической» ивы с использованием мягких контейнеров // Лесной вестник / Forestry Bulletin, 2024. Т. 28. № 6. С. 127–138. DOI: 10.18698/2542-1468-2024-6-127-138

Рассмотрим особенности технологии уборки «энергетической» ивы *salix* (далее — ива) с переработкой ее на топливную щепу (далее — щепка).

Для лесо- и сельскохозяйственных предприятий альтернативой традиционным ископаемым видам энергоносителей становятся возобновляемые источники энергии, в частности быстрорастущая ива [1–19]. Интерес к иве как к альтернативному энергоносителю вызван высокими ценами на такие традиционные источники, как газ, бензин и т. п. В структуре себестоимости сельскохозяйственной продукции затраты на энергоресурсы достигают 30 % [19, 20].

Плантации ивы позволяют получать 5–7 урожаев древесины без значительного снижения продуктивности почвы. Себестоимость получаемой из ивы 1 ГДж тепловой энергии оценивается в 4–5 евро (400–500 руб.) [21]. Урожай биомассы первого года составляет 1...3 т/га, поэтому его

не убирают. Начиная со второго года урожай получают ежегодно. Сбор биомассы достигает 10...14 т/га. Уборку обычно проводят с наступлением морозов, когда влажность древесины снижается до 20...25 % [21].

Наибольшие плантации ивы имеются в Швеции (около 16 000 га) (рис. 1), Великобритании (около 13 000 га), Германии (около 1700 га) [21].

Уборка урожая ивы обычно осуществляется с помощью сельскохозяйственных машин [22–24]. Молодые деревья ивы срезают и измельчают на щепу, для чего используют сельскохозяйственные комбайны и тракторы с дополнительным навесным оборудованием. Например, в Белоруссии используют кормоуборочные силосные комбайны типа КСК-100А, «Полесье-3000», «Ягуар», «Марал» и др. [21]. Как дополнительная опция эти машины могут оснащаться собственным прицепом-бункером для щепы [24]. Для приема и транспортировки щепы к месту складирования совместно с уборочным комбайном обычно используют тракторы с прицепом (рис. 2).



Рис. 1. Плантация «энергетической» ивы (Швеция, фото С.П. Карпачева)
Fig. 1. Plantation of «energy» willow (Sweden, photo by S.P. Karpachev)



Рис. 2. Уборка «энергетической» ивы [36]
Fig. 2. «Energy» willow harvesting [36]

Применение обычных сельскохозяйственных комбайнов и тракторов с навесным оборудованием на уборке и транспортировке ивы позволяет снизить инвестиционные затраты, что особенно важно для небольших фермерских хозяйств. Однако применяемые технологии уборки ивы, когда комбайн работает совместно с транспортным трактором с прицепом или когда комбайн оснащен собственным прицепом-бункером, имеют недостатки. Один из главных недостатков таких технологий — простои уборочной машины, вызванные циклами транспортных операций.

Применение мягких контейнеров в технологиях уборки ивы могли бы снизить или даже исключить простои уборочных машин.

Мягкие контейнеры типа биг-бэг (далее — контейнеры) в настоящее время широко применяются в различных отраслях, в том числе в сельском и лесном хозяйствах для перевозки и хранения зерна, картофеля, комбикормов, топливных гранул, древесной щепы и т. п. [25–32]. Контейнеры изготавливают из тканого полипропилена. Грузоподъемность контейнеров — до 2,5 т, объем — до 3 м³ (рис. 3).



Рис. 3. Мягкий контейнер грузоподъемностью 700 кг со щепой (Щелковский учебно-опытный лесхоз, фото С.П. Карпачева)

Fig. 3. A 700 kg soft container with wood chips (Shchelkovsky Educational and Experimental Forestry, photo by S.P. Karpachev)

Цель работы

Цель работы — изучение возможности повышения эффективности технологии сбора и переработки на щепу ивы путем исключения простоев уборочной машины благодаря использованию контейнеров на основе применения запатентованного автором работы [9] устройства.

Исследуемые технологии уборки ивы. Концептуальная модель предлагаемой машины для уборки ивы состоит из энергетического модуля — трактора, навесного оборудования для срезания и измельчения на щепу ивы и прицепного устройства для установки, загрузки и сброски на землю контейнеров (рис. 4). Конструкция прицепного устройства запатентована автором (С.П. Карпачев и др.) [26, 27, 29]. Контейнеры размещаются на площадках устройства с возможностью их наклона, что позволяет сбрасывать упакованные контейнеры на землю самосбросом. Устройство позволяет свести к минимуму или даже исключить остановки уборочной машины на время цикла манипуляций с контейнерами. Устройство устанавливается после прицепного оборудования для срезания и измельчения ивы на щепу под щепопроводом.

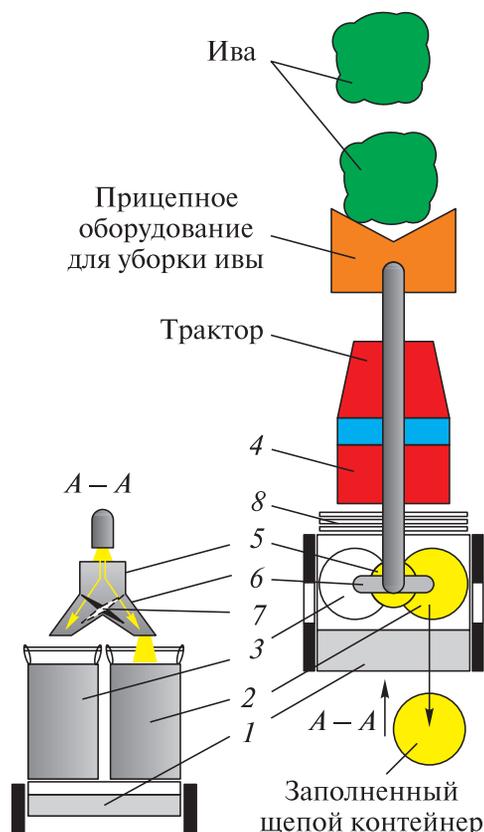


Рис. 4. Концептуальная модель уборочной машины с использованием контейнеров

Fig. 4. Conceptual model of a harvesting machine using containers

Устройство для установки, загрузки и сброски на землю контейнеров (см. рис. 4) состоит из прицепа 1, на котором одновременно могут размещаться два контейнера. Один контейнер 2 находится под загрузкой, а второй 3 порожний, ожидает загрузку. Дополнительные порожние контейнеры хранятся в кассете 8. Между щепопроводом 4 и горловиной загружаемого контейнера 2 размещается бункер-накопитель 5. Бункер-накопитель 5 через выходной патрубок 6 обеспечивает подачу щепы в контейнер 2. Патрубок 6 имеет два отверстия с возможностью их перекрытия задвижкой 7 для регулирования направления подачи щепы в загружаемый контейнер 2. Патрубок перекрывают на время перевода подачи щепы от контейнера 2 к порожнему контейнеру 3, когда контейнер 2 полностью заполнен щепой и его необходимо сбросить на землю. Бункер-накопитель 3 предназначен для компенсации времени на аварийные задержки и не является обязательным. В рассматриваемой нами технологии уборки ивы можно ограничиться только направляющим патрубком 6, установленным на конце щепопровода 4.

Устройство работает следующим образом (рис. 5, см. рис. 4).

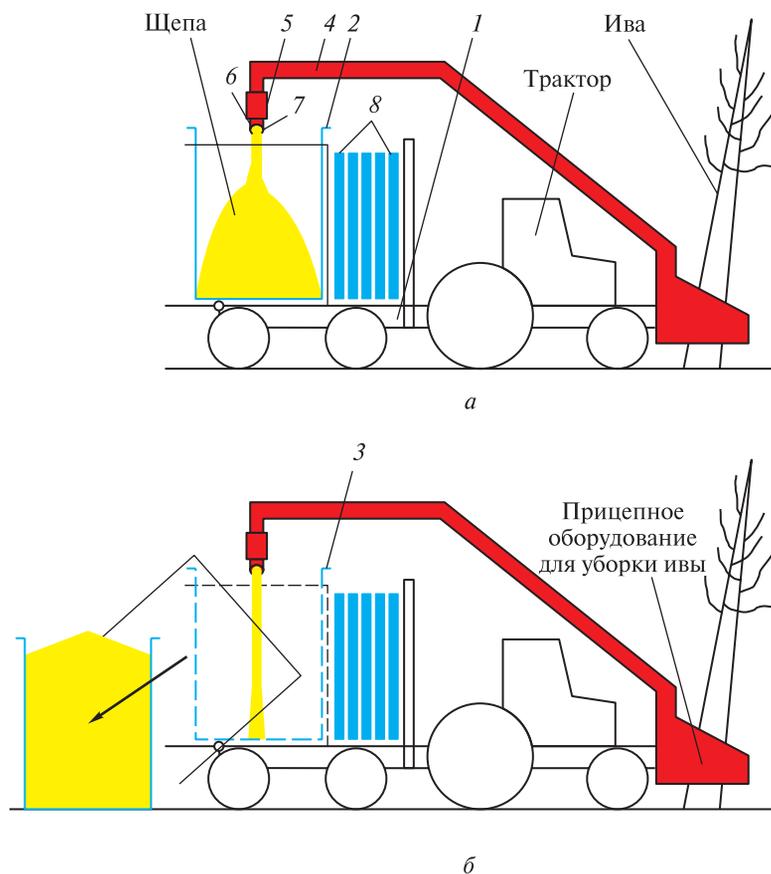


Рис. 5. Устройство и технология уборки ивы с использованием контейнеров: *а* — загрузка контейнера щепой; *б* — сброс заполненного контейнера на землю и начало загрузки порожнего контейнера

Fig. 5. Device and technology of willow harvesting with the use of containers: *a* — loading the container with wood chips; *б* — dumping the filled container on the ground and the beginning of loading the empty container

Перед началом работы уборочной машины на платформе прицепа *1* размещают два порожних контейнера *2* и *3*. С началом работы уборочная машина срезает и измельчает иву на щепу, которая по щепопроводу *4* подается в бункер-накопитель *5* и затем через патрубок *6* в контейнер *2*. После заполнения контейнера *2* щепой задвижка *7* перекрывает одно из отверстий патрубка *6* и открывает другое отверстие, перенаправляя щепу в порожний контейнер *3*. Заполненный контейнер *2* сбрасывают на землю и на его место устанавливают другой контейнер, который подается из кассеты контейнеров *8*. После этого цикл работы с контейнерами повторяется.

Таким образом, запатентованное устройство для установки, загрузки и сброски на землю контейнеров [27] позволяет уборочной машине работать без остановок.

Одно из важных преимуществ предлагаемой в настоящей статье технологии с использованием контейнеров в отличие от известной технологии, когда уборочная машина работает совместно с транспортным трактором, заключается в том, что

позволяет проводить все работы одним энергетическим модулем — трактором, что минимизирует инвестиционные затраты.

Проведем сравнительный анализ двух технологий уборки ивы.

I. Распространенная технология уборки и транспортировки ивы двумя тракторами (далее технология I) (см. рис. 2), которая осуществляется посредством следующих машин и оборудования:

- трактора для уборки ивы;
- прицепного оборудования для срезания и измельчения ивы на щепу;
- трактора для транспортировки ивовой щепы;
- прицепа для приема и перевозки щепы с плантации на склад.

II. Предлагаемая новая технология уборки ивы одним трактором (далее технология II) (рис. 6), которая осуществляется следующими машинами и оборудованием:

- единым трактором для уборки ивы и транспортировки ивовой щепы;
- прицепным оборудованием для срезания и измельчения ивы на щепу;

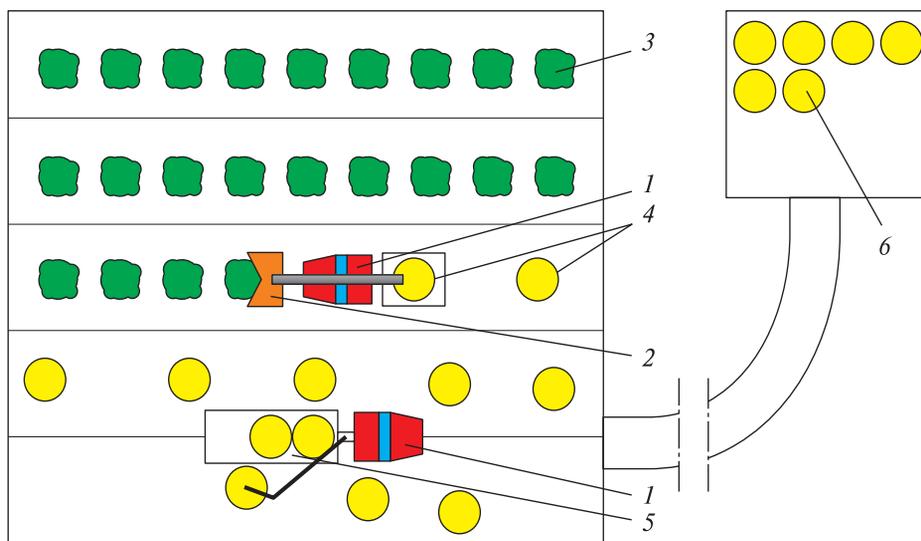


Рис. 6. Схема уборки ивы (технология II): 1 — трактор; 2 — навесное оборудование; 3 — ива; 4 — контейнеры; 5 — прицеп; 6 — склад щепы
Fig. 6. Scheme of willow harvesting (technology II): 1 — tractor; 2 — mounted equipment; 3 — willow; 4 — containers; 5 — trailer; 6 — wood chip storehouse

- устройством загрузки щепы в контейнеры;
- прицепом для сбора и перевозки контейнеров со щепой с плантации на склад.

Применение технологии I требует работы двух тракторов (см. рис. 2), причем совместной. Как только прицеп заполняется щепой, транспортный трактор увозит его с плантации на склад. В это время трактор, занятый срезанием и измельчением ивы вынужден останавливать свою работу.

В технологии II (см. рис. 6) трактор 1 с навесным оборудованием 2 сначала работает на срезании и измельчении ивы 3 на щепу, которую загружает в контейнеры 4. После заполнения щепой контейнер сбрасывают на землю и оставляют на плантации. На место выгруженного контейнера устанавливают порожний, и цикл загрузки повторяется.

Контейнеры со щепой могут находиться на плантации весь период уборки урожая. После сбора ивы со всей плантации тот же трактор 1 меняет прицепное оборудование для срезания и измельчения ивы на щепу 2 на прицеп 5 для транспортировки контейнеров. Затем трактор 1 передвигается по плантации и собирает контейнеры со щепой в кузов прицепа. По заполнении кузова контейнерами трактор 1 доставляет их с плантации на склад щепы 6.

Материалы и методы

В настоящей статье эффективность технологии II по сравнению с технологией I оценивалась по часовой производительности и коэффициенту использования уборочных машин на уборке ивы — тракторов с прицепным оборудованием.

Исследования проводились методами имитационного моделирования на математических моделях [33–35].

Работа трактора на уборке ивы рассматривалась нами как работа уборочной машины непрерывного действия с остановками. Эти остановки (в случае технологии I) вызваны циклами передвижения транспортного трактора со щепой на склад и обратно, а в случае технологии II — циклами на манипуляции с контейнерами.

Производительность непрерывной работы трактора на уборке ивы зависит от продуктивности ивовой плантации и применяемого оборудования. В экспериментах эта величина была принята как независимая переменная, варьируемая в широком диапазоне.

Работа трактора на транспортировке ивовой щепы рассматривалась как работа циклической машины.

Среднее время цикла работы транспортного трактора определялось по формуле

$$T_{\tau} = \frac{l}{v_{гр}} + \frac{l}{v_{хх}} + t_p, \tag{1}$$

где T_{τ} — продолжительность цикла передвижениями трактора со щепой на склад и обратно, с;

l — среднее расстояние от плантации до склада, м;

$v_{гр}$ — скорость трактора с грузом, м/с;

$v_{хх}$ — скорость трактора без груза, м/с;

t_p — среднее время на разгрузку щепы и маневрирование трактора с прицепом, с.

Среднее время цикла манипуляций с контейнерами определялось по формуле

$$T_k = t_{уст} + t_{сбр}, \quad (2)$$

где T_k — продолжительность цикла манипуляций с контейнером, с;

$t_{уст}$ — среднее время на установку контейнера под загрузку, с;

$t_{сбр}$ — среднее время на сброску контейнера на землю, с.

Среднее время цикла манипуляций с контейнерами учитывалось только в случае, если его значение было больше среднего времени на загрузку контейнера щепой, т. е. по выполнению условия

$$T_k > T_{згр}, \quad (3)$$

где $T_{згр}$ — продолжительность цикла загрузки контейнера щепой, с.

В этом случае среднее время остановки работы уборочной машины определялось по формуле

$$T_{зд} = T_{згр} - T_k, \quad (4)$$

где $T_{зд}$ — среднее время задержки работы трактора на уборке ивы, с.

Продолжительность цикла загрузки контейнера щепой определялось по формуле

$$T_{згр} = \frac{3600 \cdot G_k}{\Pi_{II_max}}, \quad (5)$$

где G_k — грузоподъемность контейнера, т;

Π_{II_max} — максимально возможная часовая производительность трактора на уборке ивы, т/ч.

Часовую производительность трактора на уборке ивы по технологии I (Π_I) в модели представляли, как массу загруженной в прицеп транспортного трактора щепы за 1 ч

$$\Pi_I = \sum_{i=1}^n q_{пр_i} \quad (6)$$

где $q_{пр_i}$ — масса щепы в i -м прицепе, т;

n — число загруженных щепой прицепов за 1 ч.

Число загруженных щепой прицепов в модели определялось с учетом цикла работы транспортного трактора по формуле (1).

Часовую производительность уборочной машины по технологии II (Π_{II}) можно представить как массу загруженной в контейнеры щепы за один 1 ч

$$\Pi_{II} = \sum_{i=1}^m q_{к_i}, \quad (7)$$

где $q_{к_i}$ — масса щепы в одном контейнере, т;

m — число загруженных щепой контейнеров за 1 ч.

Число загружаемой в контейнеры щепы в модели определялось с учетом времени манипуляций с контейнером по формуле (4), если выполнялось условие (3).

Время загрузки щепой i -го прицепа и i -го контейнера зависит от производительности уборочной машины при ее непрерывной работе, а также от грузоподъемности прицепа и контейнера.

Время циклов на манипуляции с контейнерами (технология II) и работы транспортного трактора (технология I) в модели определялось как случайное число, распределенное по экспоненциальному закону со средними значениями, рассчитанными по формулам (1) и (4).

Загруженное количество щепы в каждый i -й прицеп и i -й контейнер в модели также определялось как случайное число, распределенное по нормальному закону со средним значением, равным номинальной грузоподъемности и стандартному отклонению в пределах допустимого перегруза.

Результаты и обсуждение

Исследования влияния на производительность машин на уборке ивы в зависимости от расстояния транспортировки щепы и от максимальной возможной производительности трактора на уборке ивы проводились для двух технологий в соответствии с матрицей планирования экспериментов (таблица).

Матрица планирования экспериментов

Experiment planning matrix

Номер эксперимента	Максимально возможная производительность трактора на уборке ивы, т/ч	Расстояние до склада, м
1	5	1000
2	10	1000
3	15	1000
4	5	3000
5	10	3000
6	15	3000
7	5	5000
8	10	5000
9	15	5000

Для получения статистически значимых результатов в экспериментах при моделировании технологии I было назначено 100 000 вывезенных с плантации прицепов, для технологии II — 1 000 000 загруженных контейнеров.

В моделях были приняты тракторный прицеп 2ПТС-4 грузоподъемностью 4 т и контейнер грузоподъемностью 0,5 т.

Результаты исследований были статистически обработаны и представлены в виде зависимостей (рис. 7–10).

Анализ графика, представленного на рис. 7, показывает, что только технология II в случае выполнения условия $T_k < T_{згр}$, достигает максимально возможной производительности трактора на уборке ивы, а в остальных случаях отстает от максимально возможной производительности.

Отметим, что производительность технологии II не зависит от расстояния доставки щепы — с плантации на склад. Так, например, при максимально возможной производительности 5 т/ч по технологии II для $T_{зд} = 30$ с достигается производительность 4,604 т/ч, а при 15 т/ч — 11,921 т/ч для любых расстояний от плантации до склада.

Технология I зависит от расстояния от плантации до склада. С ростом расстояния производительность снижается. Например, при максимально возможной производительности — 5 т/ч и расстоянии 1 км достигается производительность 4,112 т/ч, а при расстоянии 5 км — 2,617 т/ч. Это объясняется увеличением времени цикла транспортировки щепы на склад и, соответственно, увеличением времени простоя трактора на уборке ивы. Отметим, что достигаемая производительность растет с ростом максимально возможной производительности. Однако этот рост нелинейный. Наилучшим образом эти кривые описываются степенной зависимостью, на что указывают достаточно высокие значения коэффициентов детерминации R^2 .

Из рис. 7 видно, что при выполнении условия (3) достигнутая производительность технологии II уменьшается. Так, например, при производительности 5 т/ч, при $T_k < T_{згр}$, достигается производительность 4,986 т/ч, а при выполнении условия (3) и $T_{зд} = 30$ с — 4,112 т/ч. Для выявления влияния среднего времени остановки работы трактора по технологии II с учетом формулы (4) была выполнена дополнительная серия экспериментов (рис. 8).

Из рис. 8 следует, что можно оценить влияние времени остановки уборочной машины по технологии II из-за манипуляций с контейнерами на достигаемую ею производительность. Эта зависимость получена для максимально возможной производительности уборочной машины — 15 т/ч. Для сравнения на рис. 8 показана прямая достигнутой производительности трактора на уборке ивы по технологии I при расстоянии транспортировки $l = 1$ км. С увеличением времени манипуляции с контейнерами производительность рубительной машины уменьшается. Из рис. 8 также следует, что если время цикла манипуляций с контейнерами превышает 76 с, то производительность по технологии II становится меньше, чем по технологии I. В этом случае преимущества контейнерной технологии нивелируются. Например, при $T_{зд} = 90$ с производительность

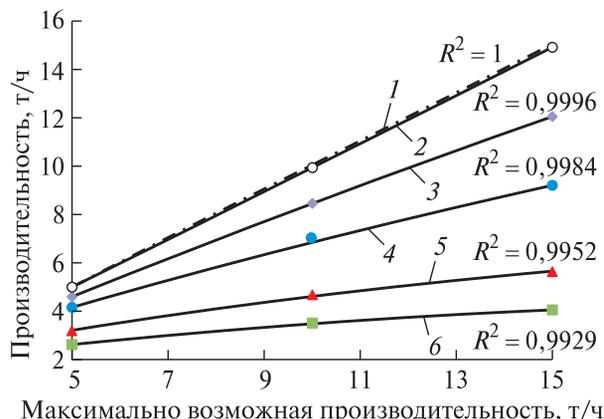


Рис. 7. Достигнутая производительность уборочных машин по сравниваемым технологиям: 1 — максимально возможная производительность; для технологии II: 2 — при условии $T_k < T_{згр}$; 3 — при условии $T_k > T_{згр}$ и $T_{зд} = 30$ с; для технологии I при расстоянии от плантации до склада: 4 — $l = 1$ км; 5 — $l = 3$ км; 6 — $l = 5$ км

Fig. 7. Achieved productivity of harvesting machines for the compared technologies: 1 — maximum possible productivity; for technology II: 2 — under condition $T_k < T_{згр}$; 3 — under condition $T_k > T_{згр}$ and $T_{зд} = 30$ s; for technology I at distance from plantation to warehouse: 4 — $l = 1$ km; 5 — $l = 3$ km; 6 — $l = 5$ km

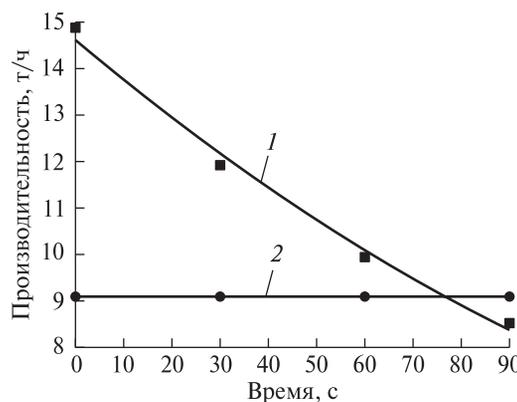


Рис. 8. Достигнутая производительность уборочных машин по разным технологиям (максимально возможная производительность 15 т/ч): 1 — для технологии II; 2 — для технологии I

Fig. 8. Achieved productivity of harvesters for different technologies (maximum possible productivity 15 t/h): 1 — for technology II; 2 — for technology I

уборочной машины по технологии II будет на 8,5 % ниже, чем по технологии I. В этом случае, по показателю производительности контейнерная технология II проигрывает технологии I.

На рис. 9 представлена зависимость коэффициента загрузки тракторов на уборке ивы от расстояния от плантации до склада щепы.

Анализ рис. 9 показал, что наибольшую загрузку машин обеспечивает технология II.

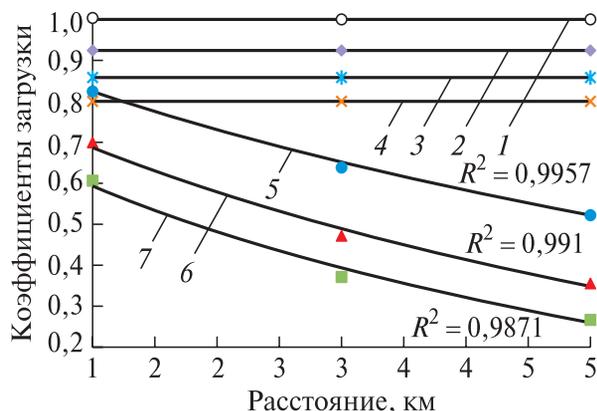


Рис. 9. Зависимость коэффициента загрузки тракторов на уборке ивы по разным технологиям от расстояния от плантации до склада: для технологии II: 1 — при условии $T_k < T_{згр}$; при условии $T_k > T_{згр}$ и $T_{зд} = 30$ с: 2 — максимальная производительность 5 т/ч; 3 — максимальная производительность 10 т/ч; 4 — максимальная производительность 15 т/ч; для технологии I при расстоянии от плантации до склада: 5 — $l = 1$ км; 6 — $l = 3$ км; 7 — $l = 5$ км

Fig. 9. Dependence of the tractor load factor in willow harvesting by different technologies on the distance from the plantation to the warehouse: for technology II: 1 — under condition $T_k < T_{згр}$; under condition $T_k > T_{згр}$ and $T_{зд} = 30$ s: 2 — maximum productivity of 5 t/h; 3 — maximum productivity of 10 t/h; 4 — maximum productivity of 15 t/h; for technology I at the distance from the plantation to the warehouse: 5 — $l = 1$ km; 6 — $l = 3$ km; 7 — $l = 5$ km

По этой технологии, коэффициент загрузки трактора не зависит от расстояния от плантации до склада. Если условие (3) не выполняется, то манипуляции с контейнерами не вызывают остановок уборочной машины и коэффициент загрузки машины равен 1 (см. рис. 9, кривая 1). Если условие (3) выполняется, то загрузка машины определяется продолжительностью остановок трактора на установку и сброску контейнеров (формула (4)) и зависит от максимально возможной производительности уборочной машины (см. рис. 9, кривые 2, 3 и 4). Так, например, при максимально возможной производительности 15 т/ч коэффициент загрузки машины равен 0,801, а при возможной производительности 5 т/ч — 0,923. Увеличение коэффициента загрузки с уменьшением максимально возможной производительности трактора объясняется тем, что чем больше возможная производительность, тем быстрее заполняется щепой контейнер и тем чаще приходится останавливаться на установку нового контейнера. Таким образом увеличивается общее время простоев.

Что касается технологии I, то здесь загрузка трактора зависит как от расстояния от плантации до склада, так и от его производительности на уборке ивы (см. рис. 9, кривые 5, 6 и 7). Так, напри-

мер, при производительности трактора 5 т/ч и расстоянии от плантации до склада 1 км коэффициент загрузки равен 0,823, а при производительности 15 т/ч и расстоянии 1 км — 0,607. При одной и той же производительности, например равной 10 т/ч, при расстоянии от плантации до склада 1 км коэффициент загрузки равен 0,699, а при расстоянии 5 км — 0,355. Заметим, что в технологии I изменение коэффициента загрузки от расстояния хорошо описывается экспоненциальной зависимостью. Коэффициент детерминации R^2 больше 0,98.

Выводы

Исследования технологического процесса уборки ивы с использованием контейнеров на математических моделях в сравнении с существующей технологией позволили сделать следующие выводы:

1. Производительность существующей технологии зависит от расстояния транспортировки измельченной ивы от плантации до склада щепы.
2. Предложенная технология уборки ивы с использованием контейнеров не зависит от расстояния до склада и позволяет достичь максимально возможной производительности, которая при равных условиях выше производительности существующей технологии в 2–3 раза.
3. Загрузка уборочной машины по существующей технологии зависит от расстояния от плантации до склада щепы и по результатам опытов изменялась от 0,268 до 0,823.
4. Загрузка уборочной машины по предложенной технологии в случае, когда время загрузки контейнера щепой превышает время на его установку и сброску, достигает максимума и равна 1.
5. Применение на уборке ивы контейнеров позволяет минимизировать инвестиционные затраты, что делает эту технологию экономически привлекательной для небольших лесных и сельских хозяйств.

Список литературы

- [1] Kowalczyk Z., Kwaśniewski D. Life Cycle Assessment (LCA) in Energy Willow Cultivation on Plantations with Varied Surface Area // *Agricultural Engineering*, 2019, no. 23(4), pp. 11–19. DOI:10.1515/agriceng-2019-0032
- [2] Greiffenberg M., Gjerlufsen S. The role of Energy Willow in achieving the fossil fuel free goals of Denmark by 2050 // Master Thesis Cand SOC Organizational Innovation & Entrepreneurship Copenhagen Business School Supervisor: Valeria Giacomini, Department of Management Politics & Philosophy, 15th May 2017. STU Count: 221307, p. 118.
- [3] Willow Energy Solutions For Biomass Production Systems. URL: <https://www.willowenergy.org/> (дата обращения 11.12.2023).
- [4] Dimitriou I., Rutz D. Sustainable Short Rotation Coppice. A Handbook // 2015 by WIP Renewable Energies, Munich, Germany. URL: https://www.srplus.eu/images/Handbook_en.pdf (дата обращения 11.12.2023).

- [5] Bioenergy. URL: <https://www.seai.ie/technologies/bioenergy/> (дата обращения 11.12.2023).
- [6] Boyd J., Christersson L., Dinkelbach L. Energy from Willow // SAC, West Mains Road, Edinburgh EH9 3JG, UK, The Scottish Agricultural College, December 2000, p. 32.
- [7] Mitchell C.P., Stevens E.A., Watters M.P. Short-rotation forestry — operations, productivity and costs based on experience gained in the UK // *Forest Ecol. Manag.*, 1999, no. 121, pp. 123–136.
- [8] Kopp R.L., Abrahamson L.P., White E.H., Volk T.A., Nowak C.A., Fillhart R.C. Willow biomass production during ten successive annual harvests // *Biomass Bioenergy*, 2001, no. 20, pp. 1–7.
- [9] Wickham J., Rice B., Finnan J., McConnon R. A review of past and current research on short rotation coppice in Ireland and abroad // COFORD, Dublin, 2010, p. 36.
- [10] Aylott M.J., Casella E., Tubby I., Street N.R., Smith P., Taylor G. Yield and Spatial Supply of Bioenergy Poplar and Willow Short Rotation Coppice in the UK // *New Phytologist*, 2008, p. 178.
- [11] Kofman P.D. Harvesting short rotation coppice willow // *Harvesting / Transport*, 2012, no. 29.
- [12] Abrahamson L.P., Robison D.J., Volk T.A., White E.H., Neuhauser E.F., Benjamin W.H., Peterson J.M. Sustainability and Environmental Issues Associated with Willow Bioenergy Development in New York (U.S.A) // *Biomass and Bioenergy*, 1998, v. 15, no. 1, pp. 17–22.
- [13] Nordh N.-E. Long Term Changes in Stand Structure and Biomass Production in Short Rotation Willow Coppice. Doctoral Diss., Dept. of Crop Production Ecology, SLU. Acta Universitatis Agriculturae Sueciae, 2005, v. 2005, 120 p.
- [14] Nordh N.-E., Verwijst T. Above-ground biomass assessments and first cutting cycle production in willow (*Salix* sp.) coppice – a comparison between destructive and non-destructive methods // *Biomass and Bioenergy*, 2004, no. 27, pp. 1–8.
- [15] Talagai N., Borz S. A., Ignea G. Performance of brush cutters in felling operations of willow short rotation coppice // *BioRes.*, 2017, no. 12(2), pp. 3560–3569.
- [16] Borz S.A., Talagai N., Cheța M., Gavilanes Montoya A.V., Castillo Vizuete D. Automating Data Collection in Motor-manual Time and Motion Studies Implemented in a Willow Short Rotation Coppice // *BioResources*, 2018, no. 13(2), pp. 3236–3249.
- [17] Antonelli C. Technological knowledge as an essential facility // *J. of Evolutionary Economics*, 2007, no. 17(4), pp. 451–471. <http://doi.org/10.1007/s00191-007-0058-4>
- [18] Energy willow *Salix viminalis* – biomass where you want it. April 26, 2016. URL: <https://balkangreenenergynews.com/energy-willow-salix-viminalis-biomass-where-you-want-it/> (дата обращения 11.12.2023).
- [19] Растишшин С.А., Долгов И.Ю., Тихомиров Д.А., Фильков М.Н. Основные направления развития систем теплоэнергоснабжения сельскохозяйственного производства. // Энергообеспечение и энергосбережение в сельском хозяйстве: Труды 8-й Междунар. науч.-техн. конф. (16–17 мая 2012 года, г. Москва, ГНУ ВИЭСХ). В 5 ч. Ч. 1. Проблемы энергообеспечения и энергосбережения. М.: Изд-во ГНУ ВИЭСХ, 2012. 384 с.
- [20] Морозов Н.М. Социально-экономическое значение энергосбережения в сельском хозяйстве // Энергообеспечение и энергосбережение в сельском хозяйстве: Труды 8-й Междунар. науч.-техн. конф. (16–17 мая 2012 года, г. Москва, ГНУ ВИЭСХ). В 5 ч. Ч. 1. Проблемы энергообеспечения и энергосбережения. М.: Изд-во ГНУ ВИЭСХ, 2012. 384 с.
- [21] Купцов Н.С., Попов Е.Г. Энергоплатации. Справочное пособие по использованию энергетических растений. Минск: Конфидо, 2015, 128 с.
- [22] Albertsson J. Weed problems and their control in salix for biomass. Introductory Paper at the Faculty of Landscape Planning // *Horticulture and Agricultural Science*, 2012, v. 5, p. 31.
- [23] Родькин О.И. Экономические аспекты производства возобновляемой энергии из древесины быстрорастущей // Научный журнал НИУ ИТМО. Серия «Экономика и экологический менеджмент», 2013. № 2. URL: <http://www.economics.ihbt.ifmo.ru> (дата обращения 11.12.2023).
- [24] Pecenka R., Ehlert D., Lenz H. Efficient harvest lines for Short Rotation Coppices (SRC) in Agriculture and Agroforestry // *Agronomy Research*, 2014, no. 12(1), pp. 151–160.
- [25] Karpachev S.P., Koverkina E.V., Shmyrev V.I. Several socio-economic aspects of the production of fuel chips from salix: the case of Russia // *Ecological Agriculture and Sustainable Development. Publishers: Research Development Center-FBEE, Belgrade, Serbia and Proceedings Filodiritto, Bologna, Italy*, 2019, no. 1, pp. 237–242.
- [26] Karpachev S.P. Simulation of salix harvesting and processing technology using soft containers // *E3S Web of Conferences. International Conference on Efficient Production and Processing, ICEPP 2020, 2020*, p. 01047. DOI: <https://doi.org/10.1051/e3sconf/202016101047>
- [27] Карпачев С.П., Щербаков Е.Н., Шмырев Д.В., Карпачева И.П., Евстратова К.А. Устройство для производства щепы на лесосеке / Патент № 140310 от 07.04.2014 г.
- [28] Карпачев С.П., Щербаков Е.Н., Шмырев Д.В. Заготовка щепы на лесосеке с использованием мягких контейнеров // *Актуальные направления научных исследований XXI века: теория и практика*, 2014. № 3–4 (8–9). С. 217–222.
- [29] Федоренчик А.С., Ледницкий А.В., Корзун И.И. Организация производства топливной щепы на предприятиях лесного комплекса // *Лесное и охотничье хозяйство*, 2006. № 1. С. 28–31.
- [30] Матвейко А.П., Глинская Е.И. Производительность самоходных и передвижных рубительных машин на заготовке щепы в условиях лесосек // *Труды Белорусского государственного технологического университета, Серия 2. Лесная и деревообрабатывающая промышленность*, 2008. № 2. С. 119–121.
- [31] Карпачев С.П., Щербаков Е.Н., Шмырев Д.В., Шмырев В.И., Камусин А.А., Редькин А.К. Моделирование технологических процессов освоения биоресурсов леса с использованием мягких контейнеров на лесосеке // *Техника и оборудование для села*, 2017. № 2 (236). С. 45–48.
- [32] Карпачев С.П., Запруднов В.И. Моделирование технологических процессов освоения лесосечных отходов для биоэнергетики с использованием мягких контейнеров // *Развитие идей Г.Ф. Морозова при переходе к устойчивому лесоуправлению: Матер. Междунар. науч.-техн. юбилейной конф., 20–21 апреля 2017 г. / под ред. С.М. Матвеева. Воронеж: Изд-во ВГЛУ, 2017. С. 262–265.*
- [33] Karpachev S.P., Diev R.I. Modeling of technology for cleaning up forest debris of wood natural mortality using the multioperation machine // *BIO Web Conf. Volume 48, 2022. The 2nd Int. Conf. «Sport and Healthy Lifestyle Culture in the XXI Century» (SPORT LIFE XXI)*. Article 04004 Number 10. Section General Environmental Issues. DOI <https://doi.org/10.1051/bioconf/20224804004>
- [34] Боев В.Д. Имитационное моделирование систем. М.: Юрайт, 2023. 253 с.
- [35] GPSS World reference manual. Fourth Edition 2001. Copyright Minuteman Software. Holly Springs, NC, U.S.A. 2001.
- [36] Энергетическое лесное хозяйство. URL: <https://www.hisour.com/ru/energy-forestry-41155/amp/> (дата обращения 11.12.2023).

Сведения об авторах

Карпачев Сергей Петрович✉ — д-р техн. наук, профессор, ФГБОУ ВО «Московский государственный технический университет имени Н.Э. Баумана (национальный исследовательский университет)» (Мытищинский филиал), karpachevs@mail.ru

Запруднов Вячеслав Ильич — д-р техн. наук, ФГБОУ ВО «Московский государственный технический университет имени Н.Э. Баумана (национальный исследовательский университет)» (Мытищинский филиал), zaprudnov@mgul.ac.ru

Поступила в редакцию 25.12.2023.

Одобрено после рецензирования 26.01.2024.

Принята к публикации 18.10.2024.

MODELLING OF «ENERGY» WILLOW HARVESTING TECHNOLOGY USING SOFT CONTAINERS

S.P. Karpachev✉, **V.I. Zaprudnov**

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

karpachevs@mail.ru

The technological process of harvesting «energy» willow using soft containers is considered. On the basis of the device patented by the author the conceptual model of the harvesting machine is offered, which consists of a tractor, mounted equipment for cutting and chopping willow and a trailed device for installation, loading and dumping of containers on the ground. Two variants of «energy» willow harvesting technology are presented: 1) the currently used technology, when the harvesting machine works together with the transport machine; 2) the technology proposed in this paper, when the harvesting machine works independently of the transport machine with chip loading into soft containers. A mathematical model of the existing technological process of willow harvesting and the technology using soft containers has been developed. Simulation experiments on mathematical models of technological processes for the distance from 1 to 5 km from willow plantation to wood chips warehouse and for different maximum possible productivity of willow harvesting — from 5 to 15 t/h have been carried out. It is revealed that the proposed technology of willow harvesting with the use of containers does not depend on the distance from the plantation to the warehouse and allows to achieve productivity, which under equal conditions is 2–3 times higher than the productivity of the existing technology. It is established that the load factor of the harvester according to the existing technology depends on the distance from the plantation to the wood chip warehouse and varies from 0,268 to 0,823. The conditions under which the load factor of the harvester according to the declared technology is equal to 1 have been determined. It is recommended to use the technology of willow harvesting with the use of containers for small farms as minimising investment costs for the purchase of machinery.

Keywords: fast-growing «energy» willow (salex), soft containers, chip fuel, mathematical model, simulation modeling

Suggested citation: Karpachev S.P., Zaprudnov V.I. *Modelirovaniye tekhnologii uborki «energeticheskoy» ivy s ispol'zovaniyem myagkikh konteynerov* [Modelling of «energy» willow harvesting technology using soft containers]. *Lesnoy vestnik / Forestry Bulletin*, 2024, vol. 28, no. 6, pp. 127–138. DOI: 10.18698/2542-1468-2024-6-127-138

References

- [1] Kowalczyk Z., Kwaśniewski D. Life Cycle Assessment (LCA) in Energy Willow Cultivation on Plantations with Varied Surface Area. *Agricultural Engineering*, 2019, no. 23(4), pp. 11–19, DOI:10.1515/agriceng-2019-0032
- [2] Greiffenberg M., Gjerlufsen S. The role of Energy Willow in achieving the fossil fuel free goals of Denmark by 2050. Master Thesis Cand SOC Organizational Innovation & Entrepreneurship Copenhagen Business School Supervisor: Valeria Giacomini, Department of Management Politics & Philosophy, 15th May 2017. STU Count: 221307, p. 118.
- [3] Willow Energy Solutions For Biomass Production Systems. Available at: <https://www.willowenergy.org/> (accessed 11.12.2023).
- [4] Dimitriou I., Rutz D. Sustainable Short Rotation Coppice. A Handbook. 2015 by WIP Renewable Energies, Munich, Germany. Available at: https://www.srcplus.eu/images/Handbook_en.pdf (accessed 11.12.2023).
- [5] Bioenergy. Available at: <https://www.seai.ie/technologies/bioenergy/> (accessed 11.12.2023).
- [6] Boyd J., Christersson L., Dinkelbach L. Energy from Willow. SAC, West Mains Road, Edinburgh EH9 3JG, UK, The Scottish Agricultural College, December 2000, p. 32.
- [7] Mitchell C.P., Stevens E.A., Watters M.P. Short-rotation forestry — operations, productivity and costs based on experience gained in the UK. *Forest Ecol. Manag.*, 1999, no. 121, pp. 123–136.

- [8] Kopp R.L., Abrahamson L.P., White E.H., Volk T.A., Nowak C.A., Fillhart R.C. Willow biomass production during ten successive annual harvests. *Biomass Bioenergy*, 2001, no. 20, pp. 1–7.
- [9] Wickham J., Rice B., Finnan J., McConnon R. A review of past and current research on short rotation coppice in Ireland and abroad. COFORD, Dublin, 2010, p. 36.
- [10] Aylott M.J., Casella E., Tubby I., Street N.R., Smith P., Taylor G. Yield and Spatial Supply of Bioenergy Poplar and Willow Short Rotation Coppice in the UK. *New Phytologist*, 2008, p. 178.
- [11] Kofman P.D. Harvesting short rotation coppice willow. *Harvesting / Transport*, 2012, no. 29.
- [12] Abrahamson L.P., Robison D.J., Volk T.A., White E.H., Neuhauser E.F., Benjamin W.H., Peterson J.M. Sustainability and Environmental Issues Associated with Willow Bioenergy Development in New York (U.S.A). *Biomass and Bioenergy*, 1998, v. 15, no. 1, pp. 17–22.
- [13] Nordh N.-E. Long Term Changes in Stand Structure and Biomass Production in Short Rotation Willow Coppice. Doctoral Diss., Dept. of Crop Production Ecology, SLU. *Acta Universitatis Agriculturae Sueciae*, 2005, v. 2005, 120 p.
- [14] Nordh N.-E., Verwijst T. Above-ground biomass assessments and first cutting cycle production in willow (*Salix* sp.) coppice — a comparison between destructive and non-destructive methods. *Biomass and Bioenergy*, 2004, no. 27, pp. 1–8.
- [15] Talagai N., Borz S. A., Ignea G. Performance of brush cutters in felling operations of willow short rotation coppice. *BioRes.*, 2017, no. 12(2), pp. 3560–3569.
- [16] Borz S.A., Talagai N., Cheța M., Gavilanes Montoya A.V., Castillo Vizuete D. Automating Data Collection in Motor-manual Time and Motion Studies Implemented in a Willow Short Rotation Coppice. *BioResources*, 2018, no. 13(2), pp. 3236–3249.
- [17] Antonelli C. Technological knowledge as an essential facility. *J. of Evolutionary Economics*, 2007, no. 17(4), pp. 451–471. <http://doi.org/10.1007/s00191-007-0058-4>
- [18] Energy willow *Salix viminalis* — biomass where you want it. April 26, 2016. Available at: <https://balkangreenenergynews.com/energy-willow-salix-viminalis-biomass-where-you-want-it/> (accessed 11.12.2023).
- [19] Rastimeshin S.A., Dolgov I.Yu. Tikhomirov D.A., Filkov M.N. *Osnovnyye napravleniya razvitiya sistem teploenergostonazheniya sel'skokhozyaystvennogo proizvodstva* [Main directions of development of heat and power supply systems for agricultural production]. Energy supply and energy saving in agriculture. Proceedings of the 8th International Scientific and Technical Conference (May 16–17, 2012, Moscow, State Scientific Institution VIESH). In 5 parts. Part 1. Problems of energy supply and energy saving. Moscow: GNU VIESH, 2012, 384 p.
- [20] Morozov N.M. *Sotsial'no-ekonomicheskoye znachenie energosberezheniya v sel'skom khozyaystve* [Socio-economic importance of energy saving in agriculture]. Energy supply and energy saving in agriculture. Proceedings of the 8th International Scientific and Technical Conference (May 16–17, 2012, Moscow, State Scientific Institution VIESH). In 5 parts. Part 1. Problems of energy supply and energy saving. Moscow: GNU VIESH, 2012, 384 p.
- [21] Kuptsov N.S., Popov E.G. *Energoplantatsii. Spravochnoye posobiye po ispol'zovaniyu energeticheskikh rasteniy* [Energy plantations. A reference guide to the use of energy plants]. Minsk: Confido, 2015, 128 p.
- [22] Albertsson J. Weed problems and their control in salix for biomass. Introductory Paper at the Faculty of Landscape Planning, Horticulture and Agricultural Science, 2012, v. 5, p. 31.
- [23] Rodkin O.I. *Ekonomicheskiye aspekty proizvodstva vozobnovlyayemoy energii iz drevesiny bystrorastushchey* [Economic aspects of the production of renewable energy from fast-growing wood]. Scientific journal of NRU ITMO. Series Economics and Environmental Management, 2013, no. 2. Available at: <http://www.economics.ihbt.ifmo.ru> (accessed 11.12.2023).
- [24] Pecenka R., Ehlert D., Lenz H. Efficient harvest lines for Short Rotation Coppices (SRC) in Agriculture and Agroforestry. *Agronomy Research*, 2014, no. 12(1), pp. 151–160.
- [25] Karpachev S.P., Koverkina E.V., Shmyrev V.I. Several socio-economic aspects of the production of fuel chips from salix: the case of Russia. *Ecological Agriculture and Sustainable Development*. Publishers: Research Development Center-FBEE, Belgrade, Serbia and Proceedings Filodiritto, Bologna, Italy, 2019, no. 1, pp. 237–242.
- [26] Karpachev S.P. Simulation of salix harvesting and processing technology using soft containers. E3S Web of Conferences. International Conference on Efficient Production and Processing, ICEPP 2020, 2020, p. 01047. DOI: <https://doi.org/10.1051/e3sconf/202016101047>
- [27] Karpachev S.P., Shcherbakov E.N., Shmyrev D.V., Karpacheva I.P., Evstratova K.A. *Ustroystvo dlya proizvodstva shchepy na lesoseke* [Device to produce chips in the cutting area]. The patent for useful model, no 140310, 07.04.2014.
- [28] Karpachev S.P., Shcherbakov E.N., Shmyrev D.V. *Zagotovka shchepy na lesoseke s ispol'zovaniyem myagkikh konteynerov* [Harvesting wood chips at a logging site using soft containers]. Current directions of scientific research XXI: theory and practice. Collection of scientific papers based on the materials of the international correspondence scientific and practical conference. Ecological and resource-saving technologies and systems in forestry and agriculture. June 03-05, 2014, Voronezh. pp. 217–222.
- [29] Fedorenchik A.S., Lednitskiy A.V., Korzun I.I. *Organizatsiya proizvodstva toplivnoy shchepy na predpriyatiyakh lesnogo kompleksa* [Organization of fuel chip production at forestry enterprises]. *Lesnoe i okhotnich'ye khozyaystvo* [Forestry and hunting industry], 2006, no. 1, pp. 28–31.
- [30] Matveyko A.P., Glinskaya E.I. *Proizvoditel'nost' samokhodnykh i peredvizhnykh rubitel'nykh mashin na zagotovke shchepy v usloviyakh lesosek* [Productivity of self-propelled and mobile chipping machines for chipping in logging conditions]. *Trudy Belorusskogo gosudarstvennogo tekhnologicheskogo universiteta, Seriya 2. Lesnaya i derevoobrabatyvayushchaya promyshlennost'* [Transactions of the Belarusian State Technological University, Series 2. Forestry and woodworking industry], 2008, no. 2, pp. 119–121.
- [31] Karpachev S.P., Shmyrev V.I., Shmyrev D.V., Kamusin A.A., Redkin A.K. *Modelirovaniye tekhnologicheskikh protsessov osvoineniya bioresursov lesa s ispol'zovaniyem myagkikh konteynerov na lesoseke* [Simulation of technological processes of forest bioresources development using soft containers in the cutting area]. *Equipment and equipment for the village*, 2017, no. 2 (236), pp. 45–48

- [32] Karpachev S.P., Zaprudnov V.I. *Modelirovaniye tekhnologicheskikh protsessov osvoyeniya lesosechnykh otkhodov dlya bioenergetiki s ispol'zovaniyem myagkikh konteynerov* [Modeling of technological processes for the development of logging waste for bioenergy using soft containers]. Development of ideas by G.F. Morozov in the transition to sustainable forest management: materials of the international scientific and technical anniversary conference on April 20-21, 2017. Ed. S.M. Matveev; Ministry of Education and Science of the Russian Federation, VSLTU. Voronezh, 2017, pp. 262–265.
- [33] Karpachev S.P., Diev R.I. Modeling of technology for cleaning up forest debris of wood natural mortality using the multioperation machine. *BIO Web Conf.* Volume 48, 2022. The 2nd International Conference «Sport and Healthy Lifestyle Culture in the XXI Century» (SPORT LIFE XXI). Article 04004 Number 10. Section General Environmental Issues. DOI <https://doi.org/10.1051/bioconf/20224804004>
- [34] Boev V. D. *Imitatsionnoye modelirovaniye sistem: uchebnoye posobiye dlya vuzov* [Simulation modeling of systems: a textbook for universities]. Moscow: Yurayt, 2023, 253 p.
- [35] GPSS World reference manual. Fourth Edition 2001. Copyright Minuteman Software. Holly Springs, NC, U.S.A. 2001.
- [36] *Energeticheskoe lesnoe khozyaystvo* [Energy forestry]. Available at: <https://www.hisour.com/ru/energy-forestry-41155/amp/> (accessed 11.12.2023).

Authors' information

Karpachev Sergey Petrovich  — Dr. Sci. (Tech.), Professor of the BMSTU (Mytishchi branch), karpachevs@mail.ru

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

Received 25.12.2023.

Approved after review 26.01.2024.

Accepted for publication 18.10.2024.

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

МАТЕМАТИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ ОПТИМАЛЬНОГО ФОРМИРОВАНИЯ ЦЕПОЧЕК ПОСТАВОК СЫРЬЯ И ОБЪЕМОВ ПРОИЗВОДСТВА С ТЕХНОЛОГИЕЙ РАСКРОЯ НА ЛЕСОПРОМЫШЛЕННЫХ ПРЕДПРИЯТИЯХ

Р.С. Рогулин

ФГБОУ ВО «Владивостокский государственный университет», Россия, 690014, г. Владивосток, ул. Гоголя, д. 41

rafassiaofusa@mail.ru

Рассмотрены важные аспекты, связанные с проблемами формирования цепочек поставок и объемов производства на лесоперерабатывающих предприятиях с наиболее часто встречающейся технологией производства — раскрой поступающего сырья. Основной акцент делается на проблеме оценки оптимальности принятых решений. Исследование фокусируется на лесопромышленных предприятиях без собственных источников сырья, которые стремятся найти оптимальное решение в конце горизонта планирования на основе данных о реализованных сделках на товарно-сырьевой бирже. Разработана математическая модель, учитывающая технологию раскроя поступающего сырья, время лотов в пути и факторы неопределенности. Тестирование модели на данных биржи и предприятия в Приморском крае позволило определить оптимальную траекторию прибыли, объема производства и других важных показателей. Рассмотрены вопросы планирования цепочек поставок и объемов производства. Проанализированы регионы — источники сырья. Приведены преимущества и недостатки представленной математической модели. Показано, что разработанная модель может служить основой для рациональных сырьевых сделок и представлять интерес для топ-менеджмента лесопромышленных предприятий, стремящегося повысить эффективность их деятельности.

Ключевые слова: формирование цепочек поставок, объемы производства, лесоперерабатывающие предприятия, математическая модель, доля полезного объема сырья, время лотов в пути

Ссылка для цитирования: Рогулин Р.С. Математическая модель оптимального формирования цепочек поставок сырья и объемов производства с технологией раскроя на лесопромышленных предприятиях // Лесной вестник / Forestry Bulletin, 2024. Т. 28. № 6. С. 139–148. DOI: 10.18698/2542-1468-2024-6-139-148

Современные вызовы и возможности управления цепочками поставок сырья. В условиях глобальной экономики и быстроизменяющейся бизнес-среды эффективное формирование цепочек поставок сырья становится стратегически важным фактором для успешной деятельности лесопромышленных предприятий. Для этих предприятий сырьевая база является неотъемлемой составляющей производственного процесса, и эффективное управление цепочками поставок сырья оказывает прямое влияние на их конкурентоспособность и прибыльность.

Формирование устойчивых цепочек поставок сырья сталкивается с некоторыми сложностями, особенно при наличии факторов неопределенности. Изменения спроса, колебания объемов и скачки качества сырья, транспортные ограничения и географические особенности — факторы, создающие условия неопределенности и риска для принятия решений. Такая ситуация обусловила необходимость разработки математической модели, которая бы учитывала все эти факторы и обеспечивала поиск оптимальных решений по формированию цепочек поставок сырья.

Стремление к снижению издержек, повышению эффективности производства, оптимизации использования ресурсов и улучшению общей конкурентоспособности предприятий наряду с быстрыми изменениями в бизнес-среде обусловили актуальность данного исследования.

Представленная математическая модель может стать ценным инструментом при принятии решений в области формирования цепочек поставок сырья с учетом сложностей и факторов неопределенности, с которыми предприятия регулярно сталкиваются при осуществлении деятельности.

Исследования в области управления цепочками поставок сырья в условиях неопределенности часто ограничены применением эвристических подходов и эмпирических методов, поскольку их точность и применимость в динамичной среде с постоянно изменяющимися условиями достаточно сомнительна.

В связи с этим разработанная математическая модель, основанная на оптимизационных методах, может служить важным шагом в направлении обеспечения эффективности формирования цепочек поставок сырья на лесопромышленные предприятия.

Разработанная математическая модель предоставляет предприятиям более точные инструменты управления цепочками поставок сырья и позволит оптимизировать его использование, что будет способствовать повышению конкурентоспособности предприятий и их адаптации к быстро изменяющимся условиям на мировом рынке. Кроме того, математическая модель учитывает разнообразные сценарии и помогает принять более обоснованное решение с учетом всех факторов неопределенности.

Эффективное управление цепочками поставок сырья является ключевым фактором для успешной деятельности лесопромышленных предприятий в современных условиях, а разработка математических моделей, способных решать задачи при наличии фактов неопределенности, откроет новые горизонты для оптимизации и повышения эффективности производства, тем самым укрепит позиции предприятий на рынке и обеспечит их долгосрочную устойчивость.

Обзор литературы. В сфере управления цепями поставок проведено множество исследований. В работе [1] рассмотрена цепь поставок, состоящая из одного поставщика и двух конкурирующих розничных продавцов, обращено внимание на конкуренцию в сфере услуг и в ценовой политике. В ней также отмечается, что в определенных сценариях конкурирующие розничные продавцы призывают к усилению конкуренции.

Другое исследование [2] посвящено взаимодействию сотрудничества и конкуренции в цепи поставок, включающей розничный и прямой каналы.

Авторы работы [3] разработали общую модель стохастического равновесия в запасах, включая обслуживание и конкуренцию в ценообразовании в качестве ключевых факторов.

Совместное исследование [4] сфокусировано на влиянии обмена информацией на оптимальные стратегии для розничных продавцов, предоставляющих услуги с добавленной стоимостью.

Группа ученых в работе [5] сравнила влияние чувствительности розничных рисков на стратегии участников канала поставок в двух различных цепях. Ими подробно рассмотрена структура конкуренции в политике ценообразования и обслуживания, основанной на неопределенности спроса, а также показано, что розничные продавцы с более высокой чувствительностью к риску имеют более низкие оптимальные уровни обслуживания и розничные цены.

В дополнительном исследовании [6] оценены общие стратегии обслуживания и ценообразования в различных каналах поставок, в которых розничные продавцы могут корректировать уровень обслуживания последовательно или одновременно.

Автор работы [7] исследовал двухуровневую цепь поставок по влиянию обслуживания и ценовой конкуренции между известными производителями и производителями, внедряющими новые продукты. Он отметил, что уровень ценовой и сервисной конкуренции оказывает влияние на затраты на переработку и инвестиции в услуги, особенно для производителей, внедряющих новые продукты.

В работе [8] авторы представили двухуровневую конкурентную модель цепи поставок, с учетом конкуренции по ценам и по уровню обслуживания.

Автор исследования [9] провел анализ цепи поставок, подверженной колебаниям спроса, в которой несколько конкурирующих розничных продавцов реализовали стратегии ценообразования и обслуживания.

Коллектив ученых в работе [10] оценил двухканальную модель цепи поставок, также подверженную колебаниям спроса, с акцентом на сотрудничество розничных продавцов и конкуренцию в области политики обслуживания и цен. В этом исследовании использованы методы теории игр для достижения равновесия как по Штакельбергу, так и по Нэшу, поскольку два конкурирующих розничных продавца и поставщик предлагали продукт через прямой онлайн-канал.

Автор работы [11] исследовал распространение одного продукта одним производителем среди нескольких розничных продавцов в рамках цепи поставок, обращая внимание на пополнение прибыли и ценовую политику, основанную на конкуренции по моделям Бертрана и Курно. Затем авторы расширили область исследований, в частности поведения ритейлеров в отношении конкуренции и сотрудничества [12].

В работе [13] авторы представили модель цепи поставок, основанную на неопределенности спроса, с децентрализованной структурой, включая одного поставщика и несколько конкурирующих розничных продавцов. Они представили модель контрактов, позволяющую цепи поставок демонстрировать децентрализованное поведение.

Авторы работы [14] нашли приближенное решение задачи инвентаризации в двухуровневой модели цепи поставок с одним производителем и несколькими розничными продавцами, согласно которой они могли конкурировать или сотрудничать.

Коллектив ученых в работе [15] проанализировал децентрализованные и централизованные модели цепей поставок с акцентом на ценовую конкуренцию. Они представили модель цепи поставок с одним поставщиком и несколькими дифференцированными розничными продавцами, указав, что поставщики стремятся максимизировать количество розничных продавцов [16].

Приведенные исследования представляют собой важный вклад в понимание сложных взаимосвязей в управлении цепями поставок и улучшение стратегий участников рынка, обеспечивая лучшую адаптацию к современным быстроизменяющимся рыночным условиям.

Сфера управления цепями поставок широко исследована [17–35]. Некоторые из этих работ заслуживают особого внимания. Так, в работе [22] авторы рассмотрели координацию и совместное использование запасов в цепи поставок, в которой розничные продавцы имели независимое право определения заказов и совместное распределение запасов. В работе [31] приведена модель цепи поставок с децентрализованной структурой, включающая в себя производителя-монополиста и несколько зависимых розничных продавцов, причем особое внимание уделено политике ценообразования перевалки. Коллектив авторов в работе [32] представил модель цепи поставок с одним производителем и двумя розничными продавцами, проанализировав вопросы ценовой конкуренции и сотрудничества. Авторы работы [33] исследовали интеграцию поставщиков и конкуренцию между розничными продавцами, когда поставщику предоставляется выбор сотрудничества с розничными продавцами. Они провели сравнение стратегий пополнения запасов и ценовой политики в моделях цепей поставок с одним производителем и несколькими розничными продавцами, учитывая и централизованные и децентрализованные структуры [34].

Управление цепями поставок в рамках товарно-сырьевых бирж представляет собой актуальную исследовательскую тему, которая, при этом недостаточно исследована с точки зрения управления рисками и факторами неопределенности, особенно на примере товарно-сырьевых бирж. В большинстве случаев сырьевые сделки осуществляются напрямую между производителями и покупателями в формате *B2B*, что не обеспечивает прозрачность и эффективное управления рисками. В некоторых отраслях, в том числе в лесопромышленном комплексе, наблюдается практика уклонения от уплаты налогов и установления связей между участниками сделок, что может привести к утрате потенциальных клиентов и негативно воздействовать на ценообразование и налоговые поступления в бюджет. Введение инструментов товарно-сырьевых бирж в процесс сделок способствует повышению прозрачности и доступности для потенциальных клиентов, включая иностранные компании, что, в свою очередь, способствует снижению цен на сырье и увеличению его эффективной реализации.

В области управления цепями поставок в лесопромышленном комплексе проведено не-

достаточно исследований, особенно с учетом факторов неопределенности и рисков. Научные исследования в данной области ограничены, и это большая проблема, поскольку отрасль отличается сложностью и уникальными особенностями.

Модели управления цепями поставок учитывают особенности отрасли, однако практически не предусматривают оценку прибыли в условиях неопределенности. Данная проблема имеет важное значение для повышения эффективности стратегий управления, с помощью информационных технологий и менеджмента. Кроме того, особенность лесопромышленной отрасли заключается в значительной утрате объема древесины при ее транспортировке от производителя до покупателя, что необходимо учитывать при разработке стратегий управления цепями поставок и производственных планов.

Цель работы

Цель работы — разработка математической модели по определению оптимальных объемов производства товаров по технологии раскроя, поступающего на склад сырья на основе формируемых цепочек поставок с товарно-сырьевой биржи, которая бы учитывала условия неопределенности в предложении и логистике в целях оценки максимальной прибыли на протяжении всего планировочного периода.

Материалы и методы

Рассмотрим два ключевых этапа производственного процесса: закупка сырья на бирже и его последующая переработка, а также управление производственными объемами на основе имеющихся запасов сырья.

Важно учитывать источники поступления сырья на биржу. Биржа заключает договоры с арендаторами, представляющими различные регионы, дает им возможность осуществлять торговые операции на ее площадке. После успешного завершения сделки между предприятием (заказчиком) и продавцом (арендатором, специализирующимся на добыче сырья), согласно условиям контракта, определенное количество сырья отправляется заказчику [23, 25]. Как правило, предприятия получают заказы от своих клиентов заблаговременно, что позволяет им строить долгосрочные планы.

Однако спрос на продукцию в лесопромышленной отрасли подвержен сезонным колебаниям, что вносит компаниям дополнительные вызовы в процесс планирования [23, 25].

Математическая модель. Производство в лесопромышленной сфере или в другой области невозможно без надлежащего запаса сырья. В данном исследовании мы воспользовались данными, предоставляемыми Санкт-Петербургом-

ской международной товарно-сырьевой биржей (далее — Биржа), которые есть в открытом доступе (АО «СПбМТСБ») (<https://spimex.com/markets/wood/trades/results/>). Ежедневно Биржа публикует информацию о сделках, ценах и объемах проданного сырья. Наряду с этим, Биржа предлагает услуги по доставке сырья до конечного потребителя. Предоставляется также возможность выбора того или иного региона, откуда можно получить необходимое сырье. В соответствии с правилами Биржи приобретение сырья возможно только в полном объеме предлагаемого лота. Производственный процесс состоит из следующих этапов: сырье доставляется на склад, затем перерабатывается в труху и прессуется в плиты OSB. Каждый вид сырья требует собственных плит OSB. Транспортировка осуществляется по Транссибирской железнодорожной магистрали, и все расходы на доставку лота включаются отправителем в стоимость конечной продукции.

Введем следующие обозначения параметров и переменных.

Параметры:

N — количество рассматриваемых длин бревен;

R — количество регионов — источников сырья на Бирже;

\bar{d} — максимальное рассматриваемое значение диаметра бревна для раскря;

\underline{d} — минимальное рассматриваемое значение диаметра бревна для раскря;

c_{irm} — цена лота i из региона r , появившаяся на бирже в день m ;

$p_{km}^{(1)}$ — цена реализации на товар типа k в день m ;

N_m^* — множество бревен, доступных в день m ;

$I(m, r)$ — количество лотов в день m в регионе r ;

Len_n — длина бревна n ;

len_n — требуемая длина № n для раскря бревна;

len_a — требуемая длина № a бруса;

$p_{n(m)}^{(2)}(Len_n)$ — функция цены на реализацию бревна длиной Len_n в день m на внутреннем рынке, где находится предприятие, причем

$$n^- \subset N_m^* : \begin{cases} \min(\{len_n\}_n) > Len_n, \\ \underline{d} > D_n, \\ D_n^* > \bar{d} \end{cases}, \forall n^* \in n^-, \quad (1)$$

где $n^*(m) \in \{N_{irm}\}_{i,r}$, $i = 0 : I(m, r)$, $r = 1 : R$;

$$Lot_{irm} = \{N_{irm}, D_n, Len_n, c_{imr}\}, n = 1 : N_{irm}; \quad (2)$$

$$N_m^* = n^-(m) \cup n^+(m); \quad (3)$$

$$n^+(m) = \{N_{nirm}^+, Len_n^+\}, n = 1 : N; \quad (4)$$

$$Len_n^+ = \left\{ \cup \min_{Len_n - len_{n>0}} \left(\{Len_{n_1} - len_n\}_{n_1} \right) \mid n_1 \in N_m^* \right\}; \quad (5)$$

$$n^-(m) = \{N_{nirm}^-, Len_n^-\}, n = 1 : N; \quad (6)$$

где $i = 0 : I(m, r)$, $r = 1 : R$.

Поясним некоторые обозначения: Lot_{irm} — лот с номером i из региона r появившийся на бирже в день m ; N_{irm} — количество бревен в лоте с номером i из региона r появившийся на бирже в день m ; D_n — диаметр бревна n ; c_{imr} — цена лота с номером i из региона r появившийся на бирже в день m ; $n^+(m)$ и $n^-(m)$ — множества бревен подходящих и неподходящих по длине и диаметру для производства в день m соответственно; N_m^+ и N_m^- — количество подходящих и неподходящих бревен длиной Len_n для раскря в день m в заявке i из региона r соответственно; Len_n^+ и Len_n^- — множество бревен, подходящих и не подходящих по длине Len_n для раскря соответственно.

Замечание 1:

$$\Sigma_n (N_{nirm}^- + N_{nirm}^+) = N_{irm}.$$

Замечание 2:

$$\Sigma_{n,i,r} (N_{nirm}^- + N_{nirm}^+) = |N_m^*|.$$

$A_{aen}^{(1)}(len_n, len_a)$ — карта раскря бревна типа n (длиной len_n) на брусья длиной len_a (e — номер варианта раскря);

$A_{aj}^{(2)}$ — норма выкройки заготовок типа j при раскря бруса длиной Len_a ;

$A_{jk}^{(3)}$ — норма потребления заготовок типа j для производства единицы товара типа k ;

B_0 — начальный бюджет;

FC — постоянные издержки;

M — горизонт планирования;

T_{rm} — время, за которое выкупленный в день m лот дойдет до склада;

L_r — расстояние от склада до региона r ;

S_m — расстояние, пройденное заявкой в день m ;

$left$ и $right$ — соответственно минимальное и максимальное значение случайной величины, распределенной по равномерному закону;

$LN(a_m, \delta_m)$ — логнормальное распределение случайной величины с параметрами (a_m, δ_m) в день m соответственно;

\bar{b} — вместимость склада.

Переменные:

x_{km} — объем производства товаров типа k в день m ;

λ_{irm} — решение о покупке лота i из региона r , появившейся на бирже в день m ;

b_{jm} — запас заготовок типа j в день m ;

y_{enm} — количество раскroенных бревен длиной в Len_n типом раскroя e в день m ;

z_{ajm} — количество раскраиваемых брусков длиной Len_a методом j в день m .

Обозначим решаемую задачу для каждого набора параметров e (список параметров указан выше) как $F^{(2,1)}(e)$, которая принимает вид (под e понимаем номер сгенерированных данных, на которых предстоит найти решения для каждой отдельной задачи)

$$-\sum \left(c_{irm} - \sum_{(n^* \in n^-)} p_{n^*m}^{(2)} (Len_{n^*}^-) N_{nirm}^- \right) \lambda_{irm} \rightarrow \max; \quad (7)$$

$$\sum_{e,n} A_{aen}^{(1)} y_{enm} = \sum_j z_{ajm}; \quad (8)$$

$$\sum_e y_{enm} = \sum_{i,r} N_{nirm}^+ \lambda_{irm}, \quad (9)$$

где $\tilde{m} = m - T_{r\tilde{m}}$;

$$b_{jm} = b_{j(m-1)} - \sum_k A_{jk}^{(3)} x_{km} + \sum_a A_{aj}^{(2)} (len_a) z_{ajm}; \quad (10)$$

$$B_0 + \sum_{\tilde{m}=1}^{m^*} \left(\sum_k p_{k\tilde{m}}^{(1)} x_{k\tilde{m}} - \sum_{i,r} \tilde{c}_{i\tilde{m}} \lambda_{i\tilde{m}} \right) - FC \cdot m^* \geq 0, \quad (11)$$

где $m^* = 1:M$; $\tilde{c}_{i\tilde{m}} = c_{irm} - \sum_{(n^* \in n^-)} p_{n^*m}^{(2)} (Len_{n^*}^-) N_{nirm}^-$.

$$\sum_j b_{jm} \leq \bar{b}; \quad (12)$$

$$T_{r\tilde{m}} = m^* : \begin{cases} \left| L_r - \sum_{\tilde{m}=\tilde{m}}^{m^*} S_{\tilde{m}} \right| \rightarrow \min \\ L_r - \sum_{\tilde{m}=\tilde{m}}^{m^*} S_{\tilde{m}} \leq 0 \end{cases}; \quad (13)$$

$$S_m \sim LN(a_m, \delta_m); \quad (14)$$

$$0 \leq x_{km} \leq H_{km}; \quad (15)$$

$$\lambda_{irm} = \{0; 1\}; \quad (16)$$

$$y_{enm}, z_{ajm} \in Z^+; \quad (17)$$

$$b_{jm} \geq 0, m = 1 : M; \quad (18)$$

$$b_{j0} = \text{const}. \quad (19)$$

Рассмотрим выражения (7)–(19) детальнее. Целевая функция (7) направлена на максимизацию значения прибыли:

$\sum p_{km}^{(1)} x_{km}$ — выручка от продажи произведенных товаров,

$\sum (c_{irm} - \sum_{(n^* \in n^-)} p_{n^*m}^{(2)} (Len_{n^*}^-) N_{nirm}^-) \lambda_{irm}$ — издержки.

Издержки состоят из разности суммы затрат на покупку сырья с товарно-сырьевой биржи $\sum c_{irm} \lambda_{irm}$ и суммы проданных бревен, длина которых не попадает под стандарт для дальнейшего раскroя (т. е. слишком короткие)

$$\sum (\sum_{(n^* \in n^-)} p_{n^*m}^{(2)} (Len_{n^*}^-) N_{nirm}^-) \lambda_{irm}.$$

Равенство (8) утверждает, что все раскroенные бруска в день m равны суммарному количеству выработанных заготовок разных типов в соответствии с нормой выработки $A_{aen}^{(1)}$. Равенство (9) утверждает, что все бревна, поступающие на склад через $T_{r\tilde{m}}$ дней, раскраиваются. Соотношение (10) отражает объем запаса заготовок на складе. Ограничение (11) призвано обеспечить предприятию соблюдение бюджетного правила. Ограничение (12) призвано обеспечить не превышение объема заготовок на складе относительно вместимости склада. Правила (13) и (14) отражают предположение, в соответствии с которым рассчитывается время товаров в пути. Неравенство (15) отражает максимальную производительность товаров. Выражения (15)–(19) отражают характер переменных.

Для тестирования модели взяты данные из источников, указанных в работе [25].

Результаты и обсуждение

Рассмотрим результаты тестирования модели (рис. 1–3). На рис. 1 отражена траектория прибыли для различных реализаций. Видно, что даже в оптимуме совсем непросто создать дополнительный финансовый прирост.

На рис. 2 указано, из каких регионов наиболее часто происходят поставки лотов. Здесь особенно интересны регионы 2, 4 и 5.

На рис. 3 отражены запасы заготовок на складе в каждый отдельный день. Исходя из данных, представленных на рис. 2 и 3, ясно, что больше всего производятся заготовки № 1 и 2, заготовок № 3, 4 и 5 меньше хранится на складе.

Рассмотрим положительные и отрицательные стороны полученной модели.

1. Отрицательные стороны

1.1. Менеджеры, ответственные за принятие решений, не владеют сведениями о реальном распределении во времени лотов со всеми их характеристиками, поэтому важно следующее:

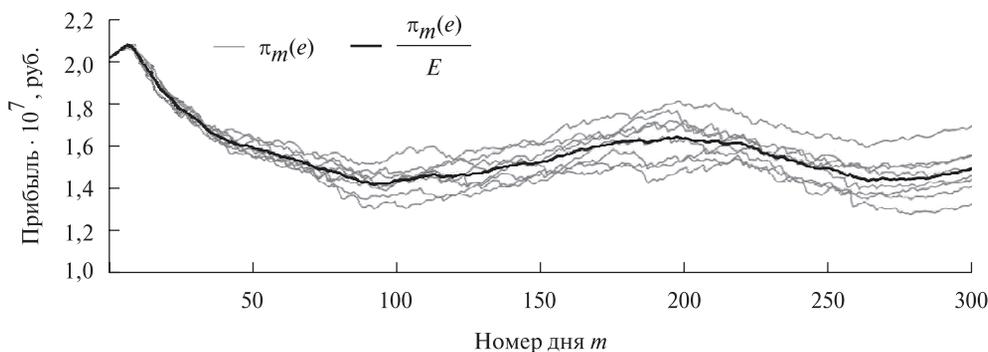


Рис. 1. Визуализация поведения прибыли для каждого сгенерированного набора данных e
Fig. 1. Visualisation of profit behaviour for each generated dataset e

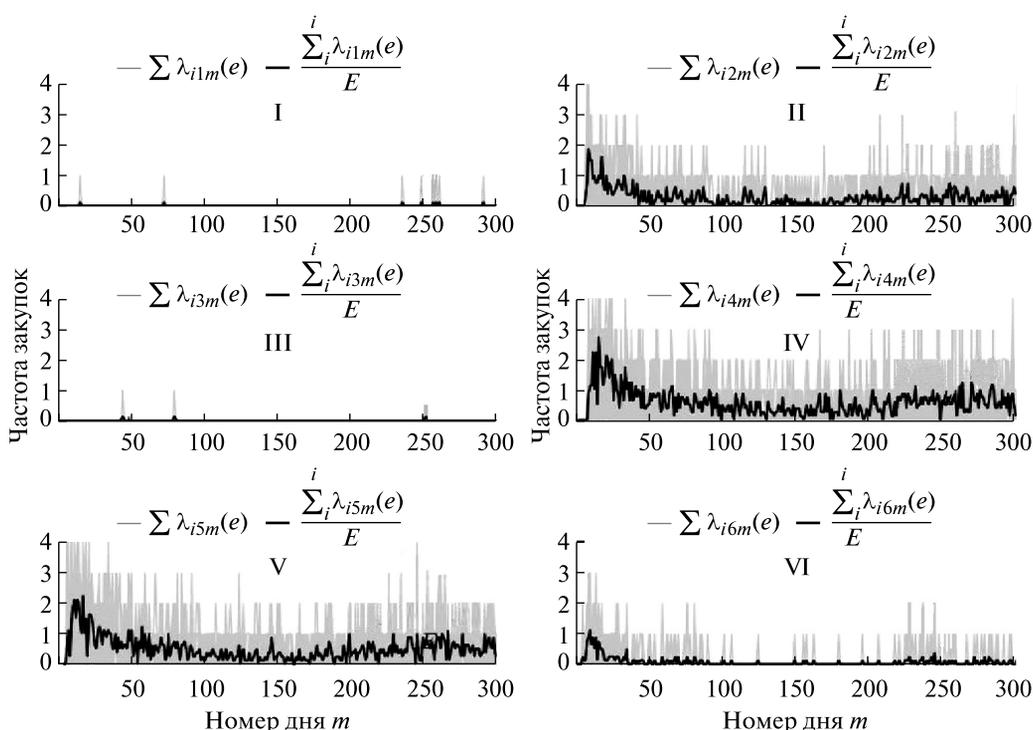


Рис. 2. Визуализация частоты закупок лотов с сырьем с товарно-сырьевой Биржи для каждого сгенерированного набора данных e (I–VI — регионы)
Fig. 2. Visualisation of the frequency of lot purchases with raw materials from the Commodity Exchange for each generated dataset e (I–VI — regions)

1.1.1. Собирать различные данные, связанные с поставленной задачей, за большой промежуток времени, однако на сайте Биржи доступны лишь данные с начала 2010-х годов, что крайне усложняет процесс формирования достаточного объема выборки данных для анализа. С течением времени эта проблема становится менее актуальной, поскольку растет объем отчетов по совершенным сделкам.

1.1.2. Строить сложные математические модели для максимально точного прогноза распределения заявок во времени.

1.2. Высокими темпами расширяются ограничения вследствие линейности модели [24].

1.3. Параметры a_m, δ_m следует знать для каждого дня, поскольку они могут изменяться с течением лет.

1.4. Знать об отсутствии четкого объяснения по поводу допустимости использования логнормального распределения значений, пройденного расстояния лотом.

1.5. Параметр β должен также изменяться во времени, так как летом показатель полезного объема сырья падает быстрее под воздействием температуры, влаги и механических воздействий насекомых [28].

1.6. В реальных условиях ограничение (15) должно включать в себя в качестве верхней оценки

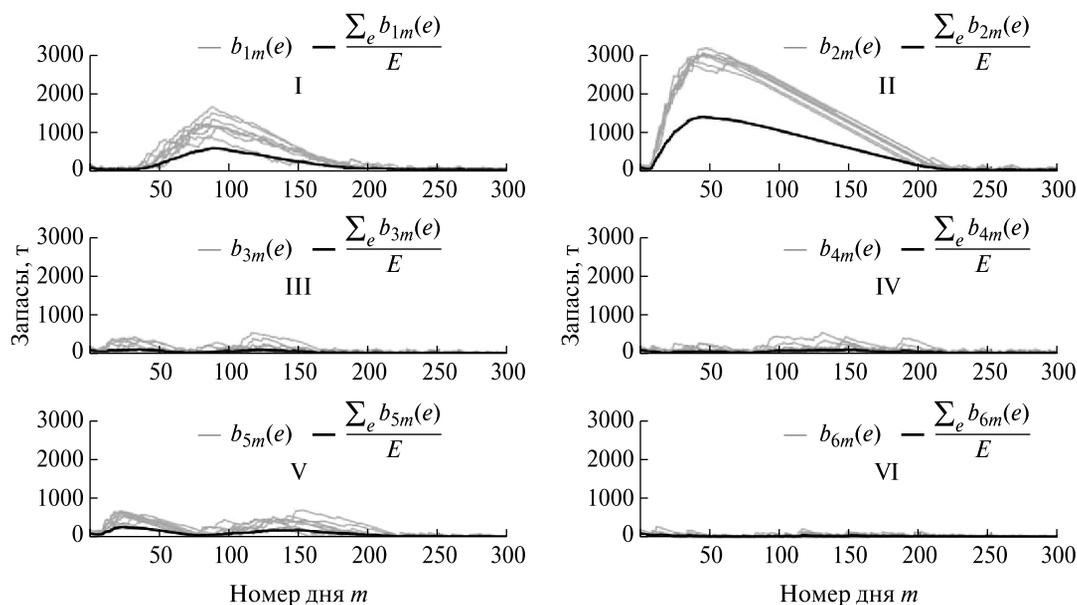


Рис. 3. Визуализация запасов заготовок на складе для каждого сгенерированного набора данных e (I–VI — заготовки)

Fig. 3. Visualisation of lumber stockpiling for each generated dataset e (I–VI — lumber stockpiling)

значение $\min(H_{km}, Q_{km})$, где Q_{km} — функция спроса на товары типа k в день m , что значительно позволит уточнить решение задачи.

1.7. Отсутствует выбор допустимости степени риска, что крайне важно для определения стратегии формирования сырьевого портфеля в современных условиях.

1.8. Предприятия лесопромышленной отрасли не всегда используют в качестве источника сырья Биржу, зачастую пользуются прямыми договорами B2B, которые нивелируют риски — этого нет в модели.

2. Положительные стороны

2.1. Эффективность данной модели с горизонтом планирования один год для верхней оценки прибыльности производства крупнейшей компании лесопромышленного сектора РФ «Сеgezha» (ПАО «Сеgezha Групп» Segezha Group PJSC. Официальный сайт: <https://segezha-group.com/about/>) с достаточно большими значениями объема сырья, лотов и широким участком регионов на Бирже, что наиболее часто встречается на предприятиях отрасли.

2.2. Концептуальная простота модели.

2.3. Возможность учета времени в пути лота путем введения логнормального закона распределения пройденного пути.

2.4. Учет наиболее часто применяющейся технологической концепции лесопромышленного производства — возможность раскря древесины на цельные составляющие.

2.5. Наличие известных методов оптимизации для задач линейного программирования [28].

Выводы

Разработанная модель определяет верхнюю границу прибыли предприятия лесопромышленной отрасли и учитывает время в пути лотов, а также учитывает наиболее распространенную и эффективную структуру производства лесопромышленной отрасли, где происходит раскря сырья. Модель позволяет формировать цепочки поставок сырья и объемы производства, используя бюджет предприятия и политику «just-in-time». Решение модели включает производство, состояние бюджета, цепочки поставок и уровень запасов заготовок. Модель полезна для топ-менеджмента предприятий лесопромышленной отрасли и дополняет экономико-математическую теорию принятия решений.

Список литературы

- [1] Tsay A.A., Agrawal N. Channel dynamics under price and service competition // *Manufacturing & Service Operations Management*, 2000, no. 2, pp. 372–391.
- [2] Tsay A.A., Agrawal N. Channel conflict and coordination in the e-commerce age // *Production and Operations Management*, 2004, no. 13, pp. 93–110.
- [3] Bernstein F., Federgruen A. A general equilibrium model for industries with price and service competition // *Operations Research*, 2004, no. 52, pp. 868–886.
- [4] Yao D.Q., Yue X., Liu J. Vertical cost information sharing in a supply chain with value-adding retailers // *Omega*, 2008, no. 36, pp. 838–851.
- [5] Xiao T., Yang D. Price and service competition of supply chains with risk-averse retailers under demand uncertainty // *International J. of Production Economics*, 2008, no. 114, pp. 187–200.

- [6] Wu D. Joint pricing-servicing decision and channel strategies in the supply chain // *Central European Journal of Operations Research*, 2011, no. 19, pp. 99–137.
- [7] Wu C.H. Price and service competition between new and remanufactured products in a two-echelon supply chain // *International J. of Production Economics*, 2012, no. 140, pp. 496–507.
- [8] Rezapour S., Farahani R.Z. Supply chain network design under oligopolistic price and service level competition with foresight // *Computers & Industrial Engineering*, 2014, no. 72, pp. 129–142.
- [9] Ali S.M., Rahman M.H., Tumpa T.J., Rifat A.A.M., Paul S.K. Examining price and service competition among retailers in a supply chain under potential demand disruption // *J. of Retailing and Consumer Services*, 2018, no. 40 (2018), pp. 40–47.
- [10] Pi Z., Fang W., Zhang B. Service and pricing strategies with competition and cooperation in a dual-channel supply chain with demand disruption // *Computers & Industrial Engineering*, 2019, no. 138, p. 106130.
- [11] Bernstein F., Federgruen A. Pricing and replenishment strategies in a distribution system with competing retailers // *Operations Research*, 2003, no. 51, pp. 409–426.
- [12] Chen K., Xiao T. Pricing and replenishment policies in a supply chain with competing retailers under different retail behaviors // *Computers & Industrial Engineering*, 2017, no. 103, pp. 145–157.
- [13] Bernstein F., Federgruen A. Decentralized supply chains with competing retailers under demand uncertainty // *Management Science*, 2005, no. 51, pp. 18–29.
- [14] Cachon G.P. Stock wars: inventory competition in a two-echelon supply chain with multiple retailers // *Operations Research*, 2001, v. 49, pp. 658–674.
- [15] Anderson E.J., Bao Y. Price competition with integrated and decentralized supply chains // *European J. of Operational Research*, 2010, v. 200, pp. 227–234.
- [16] David A., Adida E. Competition and coordination in a two-channel supply chain // *Production and Operations Management*, 2015, no. 24, pp. 1358–1370.
- [17] Adida E., DeMiguel V. Supply chain competition with multiple manufacturers and retailers // *Operations Research*, 2011, no. 59, pp. 156–172.
- [18] Konur D., Geunes J. Supplier wholesale pricing for a retail chain: implications of centralized vs. decentralized retailing and procurement under quantity competition // *Omega*, 2016, no. 65, pp. 98–110.
- [19] Shenoy P.P. Competitive inventory models // *RAIRO-Operations Research*, 1987, no. 21, pp. 1–19.
- [20] Yang S.L., Zhou Y.W. Two-echelon supply chain models: considering duopolistic retailers' different competitive behaviors // *International J. of Production Economics*, 2006, no. 103, pp. 104–116.
- [21] Zhang P., He Y., Shi C.V. Transshipment and coordination in a two-echelon supply chain // *RAIRO-Operations Research*, 2017, no. 51, pp. 729–747.
- [22] Yan X., Zhao H. Inventory sharing and coordination among n independent retailers // *European J. of Operational Research*, 2015, no. 243, pp. 576–587.
- [23] Роголин Р.С., Мазелис Л.С. Алгоритм и математическая модель формирования устойчивых цепочек поставок древесного сырья из регионов России: сравнение и анализ // *Вестник Пермского университета. Сер. «Экономика»*, 2020. Т. 15. № 3. С. 385–404. DOI: 10.17072/1994-9960-2020-3-385-404
- [24] Роголин Р.С. Моделирование перспектив взаимодействия предприятия лесопромышленного комплекса и товарно-сырьевой биржи России // *J. of Applied Economic Research*, 2020. Т. 19. № 4. С. 489–511. DOI: 10.15826/vestnik.2020.19.4.023
- [25] Роголин Р.С. Модель оптимизации плана закупок сырья из регионов России лесоперерабатывающим комплексом // *Бизнес-информатика*, 2020. Т. 14. № 4. С. 19–35. DOI: 10.17323/2587-814X.2020.4.19.35
- [26] Shukla S., Singh. P. Revolutionizing Supply Chain Management: Real-time Data Processing and Concurrency // *International J. of Innovative Science and Research Technology*, 2024, v. 9, pp. 23–30. DOI: <https://doi.org/10.38124/ijisrt/IJISRT24MAY207>
- [27] Gandomi A., Haider M. Beyond the hype: big data concepts, methods, and analytics // *International J. of Information Management*, 2015, v. 10, pp. 137–144. DOI: <http://dx.doi.org/10.1016/j.ijinfomgt.2014.10.007>
- [28] Mazelis L., Rogulin R. Devising a method for the formation of sustainable chains of supply of raw materials from mercantile exchange to a timber processing enterprise considering uncertainties and risks // *Eastern-European J. of Enterprise Technologies*, 2021, no. 5 (3 (113)), pp. 6–18. DOI: 10.15587/1729-4061.2021.242960
- [29] Тарасов В.Б. От многоагентных систем к интеллектуальным организациям: философия, психология, информатика. М.: Эдиториал УРСС, 2002. 352 с.
- [30] Канторович Л.В. Математические методы организации и планирования производства. Л.: Изд-во ЛГУ, 1939. 68 с.
- [31] Shao J., Krishnan H., McCormick S.T. Incentives for transshipment in a supply chain with decentralized retailers // *Manufacturing & Service Operations Management*, 2011, no. 13, pp. 361–372.
- [32] Huang H., Ke H., Wang L. Equilibrium analysis of pricing competition and cooperation in supply chain with one common manufacturer and duopoly retailers // *International J. of Production Economics*, 2016, no. 178, pp. 12–21.
- [33] Glock C.H., Kim T. The effect of forward integration on a single-vendor–multi-retailer supply chain under retailer competition // *International J. of Production Economics*, 2015, no. 164, pp. 179–192.
- [34] Chen K., Xiao T. Pricing and replenishment policies in a supply chain with competing retailers under different retail behaviors // *Computers & Industrial Engineering*, 2017, v. 103, pp. 145–157.
- [35] Karimi M., Khademi-Zare H., Zare-Mehrjerdi Y., Fakhrzad M.B. Optimizing service level, price, and inventory decisions for a supply chain with retailers' competition and cooperation under VMI strategy // *RAIRO-Operations Research*, 2022, v. 56, pp. 1051–1078. DOI: 10.1051/ro/2022039

Сведения об авторе

Роголин Родион Сергеевич — канд. экон. наук, доцент кафедры «Математика и моделирование», ФГБОУ ВО «Владивостокский государственный университет», rafassiaofusa@mail.ru

Поступила в редакцию 31.01.2024.

Одобрено после рецензирования 23.10.2024.

Принята к публикации 05.11.2024.

MATHEMATICAL MODEL OF OPTIMAL FORMATION OF RAW MATERIAL SUPPLY CHAINS AND PRODUCTION VOLUMES WITH CUTTING TECHNOLOGY AT WOOD ENTERPRISES

R.S. Rogulin

Vladivostok State University, 41, Gogol st., 690014, Vladivostok, Russia

rafassiao@mail.ru

Important aspects related to the issues of forming supply chains and production volumes at wood enterprises with the most common production technology of cutting of incoming raw materials are considered. The main emphasis is placed on the issue of assessing the optimality of the decisions made. The study focuses on timber processing enterprises without their own sources of raw materials, which try to find an optimal solution at the end of the planning horizon on the basis of data on realized transactions at the commodity exchange. A mathematical model has been developed that takes into account the technology of cutting incoming raw materials, the time of lots in transit and uncertainty factors. Testing of the model on the data of the exchange and the enterprise in Primorsky Krai allowed to determine the optimal trajectory of profit, production volume and other important indicators. The issues of supply chain and production volume planning are considered. Regions - sources of raw materials are analyzed. Advantages and disadvantages of the presented mathematical model are given. It is shown that the developed model can serve as a basis for rational raw material transactions and be of interest to the top management of timber enterprises seeking to improve the efficiency of their activities.

Keywords: supply chain formation, production volumes, wood enterprises, mathematical model, share of useful raw material volume, lead time of lots in transit

Suggested citation: Rogulin R.S. *Matematicheskaya model' optimal'nogo formirovaniya tsepohek postavok syr'ya i ob'emov proizvodstva s tekhnologiyey raskroya na lesopromyshlennykh predpriyatiyakh* [Mathematical model of optimal formation of raw material supply chains and production volumes with cutting technology at wood enterprises]. *Lesnoy vestnik / Forestry Bulletin*, 2024, vol. 28, no. 6, pp. 139–148.
DOI: 10.18698/2542-1468-2024-6-139-148

References

- [1] Tsay A.A., Agrawal N. Channel dynamics under price and service competition. *Manufacturing & Service Operations Management*, 2000, no. 2, pp. 372–391.
- [2] Tsay A.A., Agrawal N. Channel conflict and coordination in the e-commerce age. *Production and Operations Management*, 2004, no. 13, 93–110.
- [3] Bernstein F., Federgruen A. A general equilibrium model for industries with price and service competition. *Operations Research*, 2004, no. 52, pp. 868–886.
- [4] Yao D.Q., Yue X., Liu J. Vertical cost information sharing in a supply chain with value-adding retailers. *Omega*, 2008, no. 36, pp. 838–851.
- [5] Xiao T., Yang D. Price and service competition of supply chains with risk-averse retailers under demand uncertainty. *International J. of Production Economics*, 2008, no. 114, pp. 187–200.
- [6] Wu D. Joint pricing-servicing decision and channel strategies in the supply chain. *Central European Journal of Operations Research*, 2011, no. 19, pp. 99–137.
- [7] Wu C.H. Price and service competition between new and remanufactured products in a two-echelon supply chain. *International J. of Production Economics*, 2012, no. 140, pp. 496–507.
- [8] Rezapour S., Farahani R.Z. Supply chain network design under oligopolistic price and service level competition with foresight. *Computers & Industrial Engineering*, 2014, no. 72, pp. 129–142.
- [9] Ali S.M., Rahman M.H., Tumpa T.J., Rifat A.A.M., Paul S.K. Examining price and service competition among retailers in a supply chain under potential demand disruption. *J. of Retailing and Consumer Services*, 2018, no. 40 (2018), pp. 40–47.
- [10] Pi Z., Fang W., Zhang B. Service and pricing strategies with competition and cooperation in a dual-channel supply chain with demand disruption. *Computers & Industrial Engineering*, 2019, no. 138, p. 106130.
- [11] Bernstein F., Federgruen A. Pricing and replenishment strategies in a distribution system with competing retailers. *Operations Research*, 2003, no. 51, pp. 409–426.
- [12] Chen K., Xiao T. Pricing and replenishment policies in a supply chain with competing retailers under different retail behaviors. *Computers & Industrial Engineering*, 2017, no. 103, pp. 145–157.
- [13] Bernstein F., Federgruen A. Decentralized supply chains with competing retailers under demand uncertainty. *Management Science*, 2005, no. 51, pp. 18–29.
- [14] Cachon G.P. Stock wars: inventory competition in a two-echelon supply chain with multiple retailers. *Operations Research*, 2001, v. 49, pp. 658–674.
- [15] Anderson E.J., Bao Y. Price competition with integrated and decentralized supply chains. *European J. of Operational Research*, 2010, v. 200, pp. 227–234.
- [16] David A., Adida E. Competition and coordination in a two-channel supply chain. *Production and Operations Management*, 2015, no. 24, pp. 1358–1370.
- [17] Adida E., DeMiguel V. Supply chain competition with multiple manufacturers and retailers. *Operations Research*, 2011, no. 59, pp. 156–172.

- [18] Konur D., Geunes J. Supplier wholesale pricing for a retail chain: implications of centralized vs. decentralized retailing and procurement under quantity competition. *Omega*, 2016, no. 65, pp. 98–110.
- [19] Shenoy P.P. Competitive inventory models. *RAIRO-Operations Research*, 1987, no. 21, pp. 1–19.
- [20] Yang S.L., Zhou Y.W. Two-echelon supply chain models: considering duopolistic retailers' different competitive behaviors. *International J. of Production Economics*, 2006, no. 103, pp. 104–116.
- [21] Zhang P., He Y., Shi C.V. Transshipment and coordination in a two-echelon supply chain. *RAIRO-Operations Research*, 2017, no. 51, pp. 729–747.
- [22] Yan X., Zhao H. Inventory sharing and coordination among n independent retailers. *European J. of Operational Research*, 2015, no. 243, pp. 576–587.
- [23] Роголин П.С., Мазелис Л.С. Алгоритм и математическая модель формирования устойчивых цепочек поставок древесного сырья из регионов России: сравнение и анализ // Вестник Пермского университета. Сер. «Экономика», 2020. Т. 15. № 3. С. 385–404. DOI: 10.17072/1994-9960-2020-3-385-404
- [24] Роголин П.С. Моделирование перспектив взаимодействия предприятия лесопромышленного комплекса и товарно-сырьевой биржи России // *J. of Applied Economic Research*, 2020. Т. 19. № 4. С. 489–511. DOI: 10.15826/vestnik.2020.19.4.023
- [25] Роголин П.С. Модель оптимизации плана закупок сырья из регионов России лесоперерабатывающим комплексом // Бизнес-информатика, 2020. Т. 14. № 4. С. 19–35. DOI: 10.17323/2587-814X.2020.4.19.35
- [26] Shukla S., Singh. P. Revolutionizing Supply Chain Management: Real-time Data Processing and Concurrency. *International J. of Innovative Science and Research Technology*, 2024, v. 9, pp. 23–30. DOI: <https://doi.org/10.38124/ijisrt/IJISRT24MAY207>
- [27] Gandomi A., Haider M. Beyond the hype: big data concepts, methods, and analytics. *International J. of Information Management*, 2015, v. 10, pp. 137–144. DOI: <http://dx.doi.org/10.1016/j.ijinfomgt.2014.10.007>
- [28] Mazelis L., Rogulin R. Devising a method for the formation of sustainable chains of supply of raw materials from mercantile exchange to a timber processing enterprise considering uncertainties and risks // *Eastern-European J. of Enterprise Technologies*, 2021, no. 5 (3 (113)), pp. 6–18. DOI: 10.15587/1729-4061.2021.242960
- [29] Tarasov V.B. *Ot mnogoagentnykh sistem k intellektual'nym organizatsiyam: filosofiya, psikhologiya, informatika* [From multi-agent systems to intelligent organizations: philosophy, psychology, informatics]. Moscow: Editorial URSS, 2002, 352 p.
- [30] Kantorovich L.V. *Matematicheskie metody organizatsii i planirovaniya proizvodstva* [Mathematical methods of organizing and planning production]. Leningrad: Leningrad State University, 1939, 68 p.
- [31] Shao J., Krishnan H., McCormick S.T. Incentives for transshipment in a supply chain with decentralized retailers. *Manufacturing & Service Operations Management*, 2011, no. 13, pp. 361–372.
- [32] Huang H., Ke H., Wang L. Equilibrium analysis of pricing competition and cooperation in supply chain with one common manufacturer and duopoly retailers. *International J. of Production Economics*, 2016, no. 178, pp. 12–21.
- [33] Glock C.H., Kim T. The effect of forward integration on a single-vendor–multi-retailer supply chain under retailer competition. *International J. of Production Economics*, 2015, no. 164, pp. 179–192.
- [34] Chen K., Xiao T. Pricing and replenishment policies in a supply chain with competing retailers under different retail behaviors. *Computers & Industrial Engineering*, 2017, v. 103, pp. 145–157.
- [35] Karimi M., Khademi-Zare H., Zare-Mehrjerdi Y., Fakhrzad M.B. Optimizing service level, price, and inventory decisions for a supply chain with retailers' competition and cooperation under VMI strategy. *RAIRO-Operations Research*, 2022, v. 56, pp. 1051–1078. DOI: 10.1051/ro/2022039

Author's information

Rogulin Rodion Sergeevich — Cand. Sci. (Economic), Associate Professor of the Vladivostok State University, rafassiaofusa@mail.ru

Received 31.01.2024.

Approved after review 23.10.2024.

Accepted for publication 05.11.2024.