

ЛЕСНОЙ ВЕСТНИК / FORESTRY BULLETIN

Научно-информационный журнал

№ 4 ' 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. Королева, 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 ВГЛТУ им. Г.Ф. Морозова, Воронеж
Евдокимов Юрий Михайлович, канд. хим. наук, профессор, академик Нью-Йоркской академии наук, чл.-корр. РАЕН, член центрального правления Нанотехнологического общества России, Москва
Залесов Сергей Вениаминович, д-р с.-х. наук, профессор, УГЛТУ, Екатеринбург
Запруднов Вячеслав Ильич, д-р техн. наук, профессор, Мытищинский филиал МГТУ им. Н.Э. Баумана, Москва
Иванкин Андрей Николаевич, д-р хим. наук, профессор, академик МАНВШ, Мытищинский филиал МГТУ им. Н.Э. Баумана, Москва
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 01.07.2024

Тираж 600 экз.

Заказ №

Объем 20,75 п. л.

Цена свободная

LESNOY VESTNIK / FORESTRY BULLETIN

Scientific Information journal

No. 4 ' 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
Martynyuk 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 01.07.2024
Circulation 600 copies
Order №
Volume 20,75 p. p.
Price free

СОДЕРЖАНИЕ

БИОЛОГИЧЕСКИЕ И ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЕ АСПЕКТЫ ЛЕСНОГО ХОЗЯЙСТВА

Бессчетнов Н.Н., Бессчетнов В.П. Пигментный состав хвои саженцев сосны горной и сосны обыкновенной в Нижегородской области	5
Виноградова Ю.А., Ковалева В.А., Пристова Т.А. Комплекс почвенных микромицетов в лесной подстилке лиственных насаждений при естественном лесовозобновлении среднетаежных лесов Республики Коми	19
Козыкин А.В., Наквасина Е.Н. Современный лес как отражение исторической трансформации земель в Кенозерском национальном парке	31
Румянцев Д.Е., Чумаченко С.И., Липаткин В.А., Киселева В.В., Шипинская У.С., Лежнев Д.В., Парфенова А.Е. Оценка влияния климатического режима на относительную интенсивность депонирования углерода в древостоях сосны обыкновенной в условиях карбонового полигона Фряновского лесничества (Московская область)	43
Куксин Г.В., Секерин И.М., Залесов С.В. Обнаружение зимующих торфяных пожаров дистанционными методами	53
Григорьева О.И., Савченкова В.А., Григорьев И.В., Должиков И.С., Лоренц А.С., Гринько О.И. Новые технические и технологические решения в сфере тушения лесных пожаров	66

ЛАНДШАФТНАЯ АРХИТЕКТУРА

Кругляк В.В., Гурьева Е.И., Акашева В.Г. Комплексная стратегия озеленения внутриквартальной территории в градостроительстве (на примере исторического квартала г. Воронежа)	78
Лебедев А.В. Ассортимент и устойчивость древесных растений в системе озеленения дворянских усадеб биосферного резервата «Кологривский лес»	91
Соколова В.В., Сенатор С.А., Гревцова В.В. Результаты инвентаризации древесных насаждений Москвы на примере районов Тверской, Коптево и Ховрино	103

ДЕРЕВООБРАБОТКА И ХИМИЧЕСКАЯ ПЕРЕРАБОТКА ДРЕВЕСИНЫ

Кононов Г.Н., Липаткин В.А., Петухов В.А., Федорова М.В. Микелиз древесины, его продукты и их использование. VI. «Белая гниль» древесины как волокнистый полуфабрикат и химическое сырье	118
Олиференко Г.Л., Иванкин А.Н., Устюгов А.В. Кислотная деградация древесных отходов как способ получения целевых продуктов	130
Запруднов В.И., Серегин Н.Г., Курдюков А.С. Большепролетные клееные деревянные конструкции и технология их изготовления	138
Гайнуллин Рен.Х., Гайнуллин Риш.Х., Цветкова Е.М., Сафин Р.Р. Разработка и обоснование метода определения плотности древесины	147

ЛЕСОИНЖЕНЕРНОЕ ДЕЛО

Высоцкая И.А., Скрыпников А.В., Боровлев Ю.А., Самцов В.В., Романов П.О. Применение теории надежности организационных систем при решении частных задач проектирования организации строительства магистральных лесовозных автомобильных дорог	157
--	-----

CONTENTS

BIOLOGICAL AND TECHNOLOGICAL ASPECTS OF FORESTRY

Besschetnova N.N., Besschetnov V.P. Needles pigment composition of Mountain pine and Scots pine seedlings in Nizhny Novgorod region	5
Vinogradova Yu.A., Kovaleva V.A., Pristova T.A. Soil microscopic fungi complex in deciduous forest litter during middle taiga forests natural reforestation in Komi Republic	19
Kozykin A.V., Nakvasina E.N. Modern forests as historical lands transformation reflection in Kenozersky national park.....	31
Rumyantsev D.E., Chumachenko S.I., Lipatkin V.A., Kiseleva V.V., Shipinskaya U.S., Lezhnev D.V., Parfenova A.E. Assessment of climatic regime influence on relative intensity of carbon sequestration in Scots pine stands in Fryanovo forestry (Moscow region) carbon polygon	43
Kuksin G.V., Sekerin I.M., Zalesov S.V. Detection of wintering peat-bog fires by remote methods	53
Grigor'eva O.I., Savchenkova V.A., Grigor'ev I.V., Dolzhikov I.S., Lorents A.S., Grin'ko O.I. New technical and technological solutions to extinguish forest fires.....	66

LANDSCAPE ARCHITECTURE

Kruglyak V.V., Gur'eva E.I., Akasheva V.G. Inner-block territory landscaping integrated strategy in urban planning (on example of historical block in Voronezh).....	78
Lebedev A.V. Woody plants variety and sustainability in noble estates landscapes in Kologrivsky forest biosphere reserve	91
Sokolova V.V., Senator S.A., Grevtsova V.V. Tree plants inventory in Moscow in Tverskoy, Koptevo and Khovrino districts	103

WOODWORKING AND CHEMICAL WOOD PROCESSING

Kononov G.N., Lipatkin V.A., Petukhov V.A., Fedorova M.V. Mycolysis of wood, its products and their uses. VI. «White rot» of wood as a fibrous semi-finished product and chemical raw materials.....	118
Oliferenko G.L., Ivankin A.N., Ustyugov A.V. Wood waste acid degradation to obtain target products	130
Zaprudnov V.I., Seregin N.G., Kurdyukov A.S. Large-span glued wooden structures and their manufacturing technology.....	138
Gainullin Ren.H., Gainullin Rich.H., Tsvetkova E.M., Safin R.R. Wood density determination development and justification method	147

FOREST ENGINEERING

Vysotskaya I.A., Skrypnikov A.V., Borovlev Yu.A., Samtsov V.V., Romanov P.O. Organisational systems reliability theory application in solving particular problems of designing main truck haulroads	157
---	-----

ПИГМЕНТНЫЙ СОСТАВ ХВОИ САЖЕНЦЕВ СОСНЫ ГОРНОЙ И СОСНЫ ОБЫКНОВЕННОЙ В НИЖЕГОРОДСКОЙ ОБЛАСТИ

Н.Н. Бессчетнова, В.П. Бессчетнов[✉]

ФГБОУ ВО «Нижегородский государственный агротехнологический университет», Россия, 603107, г. Нижний Новгород, пр. Гагарина, д. 97

lesfak@bk.ru

Представлены результаты изучения пигментного состава хвои 4-летних саженцев сосны горной (*Pinus mugo* Turra.) и сосны обыкновенной (*Pinus sylvestris* L.). Обеспечено соблюдение принципа единственного логического различия, выдержаны базовые требования к постановке опыта. Реализован полевой стационарный и лабораторный методы с фиксаций наличия в однолетней хвое хлорофилла *a*, хлорофилла *b* и каротиноидов. Применен спектрофотометр СФ-2000 с программным обеспечением GRASS GIS 7.6.1 / QGIS 3.4. Использованы 96%-е спиртовые вытяжки из гомогенизированной измельченной навески биоматериала, масса которой определена с точностью до 0,001 г на прецизионных аналитических весах Acculab VIC-300d3. Выполнен расчет концентраций пигментов по уравнениям Веттштейна и Хольма. Установлены слабые межвидовые различия в содержании и соотношении пластидных пигментов при хорошо заметных индивидуальных фенотипических различиях между особями семенного происхождения. По содержанию хлорофилла *a* у с. горной наибольшее среднее ($7,38 \pm 0,15$ мг/г) в 1,29 раза превосходило наименьшее ($5,72 \pm 0,24$ мг/г); у с. обыкновенной наибольшее среднее ($7,35 \pm 0,54$ мг/г) превысило наименьшее ($5,53 \pm 0,08$ мг/г) в 1,25 раза. Дана оценка влияния межвидовых и внутривидовых различий в пигментном составе хвои на формирование общего фона дисперсии его показателей, а также установлены эффекты их взаимодействия. Зафиксировано наибольшее влияние видоспецифичности в тестируемых характеристиках пигментного состава хвои: по доле содержания каротиноидов ($18,35 \pm 1,28$ %) и по отношению содержания каротиноидов к общей сумме содержания хлорофилла ($18,08 \pm 1,28$ %). Характер накопления пигментов в хвое сосны обыкновенной и сосны горной указывает на общность их экологических реакций и возможность введения последней в состав искусственных насаждений в Нижегородской области.

Ключевые слова: сосна обыкновенная, сосна горная, пластидные пигменты, хлорофилл *a*, хлорофилл *b*, каротиноиды, межвидовые различия

Ссылка для цитирования: Бессчетнова Н.Н., Бессчетнов В.П. Пигментный состав хвои саженцев сосны горной и сосны обыкновенной в Нижегородской области // Лесной вестник / Forestry Bulletin, 2024. Т. 28. № 4. С. 5–18. DOI: 10.18698/2542-1468-2024-4-5-18

Род сосна (*Pinus* L.) хорошо известен своими многочисленными видами, подвидами, климатипами и формами, что нашло отражение в многочисленных отечественных [1–5] и зарубежных [6–10] публикациях, в которых, в частности, изложены различные взгляды на его систематику [11–13], сообщается о фертильных межвидовых гибридах [8, 14]. На территории России описано 16 аборигенных и 73 интродуцированных вида сосен [15], многостороннее исследование биологии которых позволило более точно идентифицировать представителей таксонов разных уровня и ранга. В их числе сосна обыкновенная (*Pinus sylvestris* L.), которая неизменно относится к главным лесообразующим породам не только в России [2, 3–5], но и в Евразии [16–18]. Широта ареала и многообразие форм практического использования делают эту группу древесных растений, включая сосну горную (*Pinus mugo* Turra), объектом непрерывного и разностороннего изучения как в России [19–21], так и за ее

пределами [22–27]. При этом пристальное внимание уделяется селекционному совершенствованию [28–31], интродукции [32,33], морфометрии [34–36], физиологии [37–40] и пигментному составу хвои [41–43].

Вовлечение представителей инорайонной флоры в решение практических задач на основе современных методов интродукции существенно расширяет перечень видов деревьев и кустарников, не только формирующих ассортимент защитных или плантационных насаждений, но и способных успешно выполнять санитарно-гигиенические, декоративно-эстетические и рекреационно-бальнеологические функции. Аклиматизация и натурализация растений обеспечат оптимизацию ассортиментного состава городских зеленых насаждений и позволят решить непростые задачи стабилизации ключевых параметров среды урбоэкосистем.

Среди наиболее перспективных в указанном контексте видов сосна горная (*Pinus mugo* Turra.) уверенно занимает передовые позиции [44–48]. В Среднем Поволжье она является экзотом,

активно вводимым в систему озеленения городов лишь в два последних десятилетия. Вместе с тем перспективы ее успешного расселения в новых местах обитания определяются тем, что, по лесорастительному районированию, территория предполагаемой дислокации указанных объектов лежит в границах хвойно-широколиственного лесного района европейской части Российской Федерации (3-й лесорастительный район), который относится к зоне хвойно-широколиственных лесов. Здесь распространены серые лесные, а также дерново-подзолистые и подзолистые почвы и господствует относительно влажный климат с умеренно теплым и влажным летом и умеренно суровой снежной зимой, что предопределяет широкое распространение и успешное развитие большинства древесных пород в зоне средних широт Северного полушария [1, 49].

Критерием соответствия указанных условий среды биологическим особенностям вводимой в культуру сосны горной выступает наличие в данной местности природных популяций близкого ей по биологии и с экологической точки зрения, а также родственного в таксономическом отношении вида — сосны обыкновенной. Если данный вид последовательно и разнопланово исследуется в Нижегородской области [3–5, 19–21], то научных работ по сосне горной, произрастающей в регионе, еще крайне мало [32].

Цель работы

Цель работы — сравнительная оценка пигментного состава хвои саженцев сосны горной и сосны обыкновенной в условиях Нижегородского Поволжья.

Материалы и методы

Объектом исследований служили саженцы сосны горной и сосны обыкновенной, произраставшие в школьном отделении учебно-опытного питомника Нижегородского государственного агротехнологического университета — географические координаты: N56°19'43", E44°00'07", абсолютная высота 141 м. При выращивании посадочного материала была использована рядовая посадка двухлетних сеянцев в открытый грунт по схеме 35×10 см. Каждый вид был представлен восьмью рядами, которые выступали повторности опыта. Предметом исследования выступал пигментный состав хвои растений семенного происхождения, имевших биологический возраст 4 года (2 года — сеянцы и 2 года — саженцы).

Работы проведены полевым стационарным и лабораторным методом. Каждый вид сосны был представлен в восьми повторностях, которыми выступали отдельные ряды разделенные при этом на пять равновеликих по протяженности учетных

отрезков. Последние служили источником биологических проб хвои, общее количество которых составило 80 шт.

Теоретической платформой исследований служили имеющиеся фундаментальные работы по пластидным пигментам [50, 51]. Наличие в хвое хлорофилла *a*, хлорофилла *b*, их суммарное количество и концентрацию каротиноидов выявляли спектрофотометрическим методом по оптической плотности экстракционной вытяжки [50–53] с помощью спектрофотометра СФ-2000. Его программное обеспечение GRASS GIS 7.6.1 / QGIS 3.4 позволяло строить спектры поглощения хлорофилла *a*, хлорофилла *b* и каротиноидов, а также фиксировать их максимумы при длинах волн: 665; 649; 452,5 нм соответственно. Была учтена возможность некоторого смещения указанных максимумов в зависимости от оптических свойств используемого экстрагента [50–53], вследствие чего готовили его тестовый эталон. Концентрацию указанных веществ в миллиграммах на один грамм (мг/г) сырой массы хвои вычисляли по уравнениям Ветштейна и Хольма [51–53]. Массу навески устанавливали с точностью до 0,001 г на прецизионных аналитических весах Acculab VIC-300d3. Содержание пигментов на единицу массы сухого вещества вычисляли с определением его доли в каждой навеске после высушивания хвои до абсолютно сухого состояния [3, 5, 41, 43]. Далее расчетным путем находили [3, 5, 51–54]: отношение содержания разных форм хлорофилла; отношение их содержания к содержанию каротиноидов; долю каждого в пигментном составе; общее количество пигментов.

Такой подход традиционен в изучении фотосинтезирующего комплекса древесных растений [55–57], а введение в схему опыта производных признаков в методическом плане общепринято в биологических [58–61] и лесоводственных исследованиях [62–66].

Результаты и обсуждение

В исследовании установлено, что содержание и соотношение пластидных пигментов в хвое одновозрастных саженцев сосны горной и сосны обыкновенной неодинаково при сохранении индивидуальных различий между особями семенного происхождения, относящимися к каждому из двух сравниваемых видов (рис. 1–5). В частности, по содержанию хлорофилла *a* наблюдается слабовыраженная разница в его концентрации в тканях хвои разных видов, но достаточно заметна индивидуальная изменчивость внутри каждого из них (см. рис. 1).

По содержанию хлорофилла *a* в хвое сосны горной отмечено наибольшее среднее значение

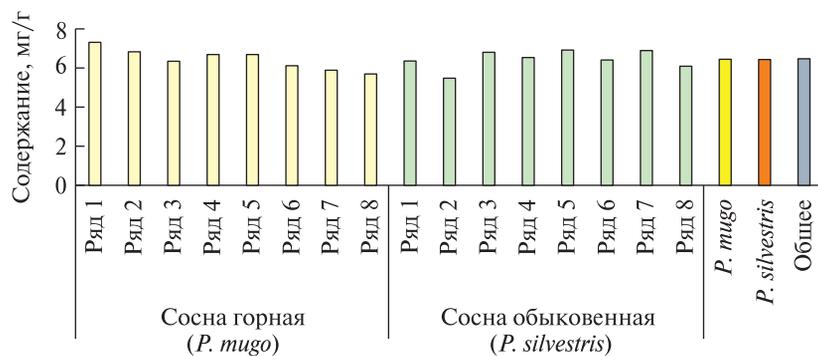


Рис. 1. Содержание хлорофилла *a* в хвое сосны горной и сосны обыкновенной
Fig. 1. The content of chlorophyll *a* in the needles of Mountain pine and Scots pine seedlings

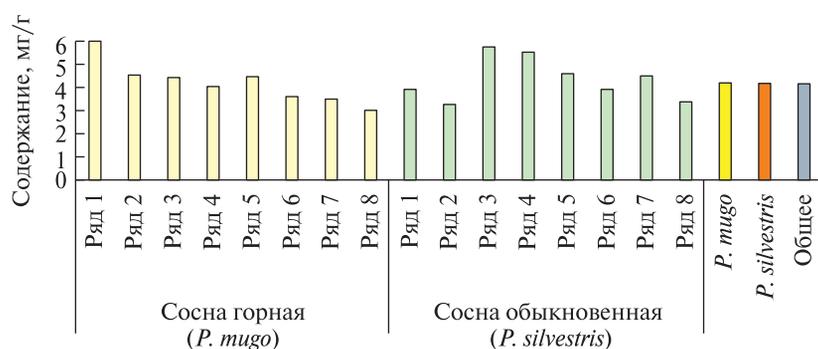


Рис. 2. Содержание хлорофилла *b* в хвое сосны горной и сосны обыкновенной
Fig. 2. The content of chlorophyll *b* in the needles of Mountain pine and Scots pine seedlings

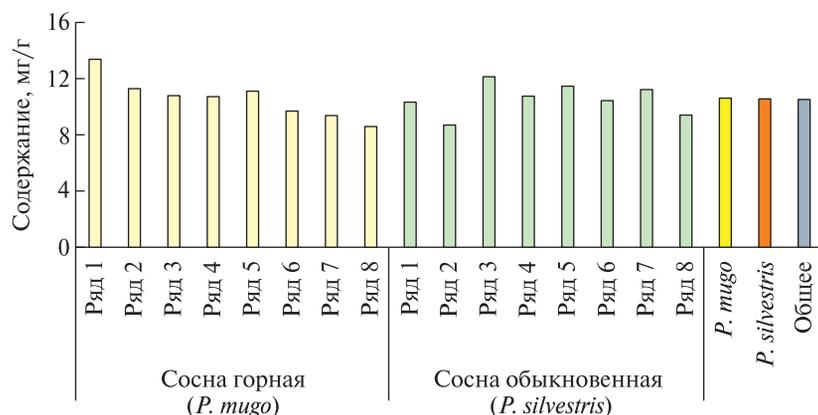


Рис. 3. Суммарное содержание хлорофилла *a* и хлорофилла *b* в хвое сосны горной и сосны обыкновенной
Fig. 3. The total content of chlorophyll *a* and chlorophyll *b* in the needles of Mountain pine and Scots pine seedlings

(7,38 ± 0,15 мг/г), которое наблюдалось в ряду 1, в 1,29 раза или на 1,66 мг/г превосходит наименьшее значение (5,72 ± 0,24 мг/г), отмеченное в ряду 8. Обобщенное по сосне горной среднее значение составило 6,46 ± 0,11 мг/г. Масштаб индивидуальных различий по сосне обыкновенной вполне сопоставим, и в этом случае наибольшее среднее значение (7,35 ± 0,54 мг/г), зафиксиро-

ванное в ряду 5, в 1,25 раза или на 1,38 мг/г превосходит наименьшее значение (5,53 ± 0,08 мг/г), отмеченное в ряду 2. Обобщенное по сосне обыкновенной среднее значение составило 6,46 ± 0,08 мг/г. Несколько иная картина соотношений между сравниваемыми видами, прежде всего представляющими их особями, складывается по содержанию хлорофилл *b* (см. рис. 2).

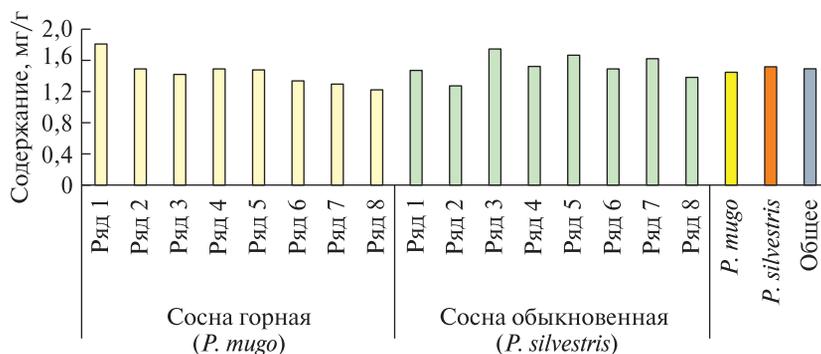


Рис. 4. Содержание каротиноидов в хвое сосны горной и сосны обыкновенной
Fig. 4. The content of undifferentiated carotenoids in the needles of Mountain pine and Scots pine seedlings

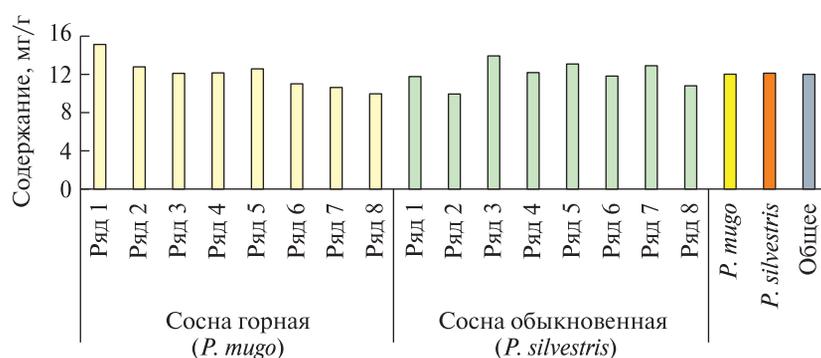


Рис. 5. Общая сумма пигментов в хвое сосны горной и сосны обыкновенной
Fig. 5. The total amount of pigments in the needles of Mountain pine and Scots pine seedlings

Однако и в этом случае разница в его содержании в хвое тестируемых представителей рода Сосна незначительна: $4,16 \pm 0,19$ мг/г (сосна горная) и $4,13 \pm 0,12$ мг/г (сосна обыкновенная). Такая ситуация минимизировала превышение (в 1,009 раза) и разность (на $0,036$ мг/г) полученных оценок на фоне их обобщенного значения $4,14 \pm 0,11$ мг/г.

Напротив, внутривидовая изменчивость между повторностями опыта проявилась более контрастно. В хвое сосны горной наибольшее среднее значение содержания хлорофилла *b* ($5,97 \pm 0,43$ мг/г), отмеченное в ряду 1, в 2,011 раза или на $3,01$ мг/г превосходит наименьшее значение ($2,97 \pm 0,30$ мг/г), наблюдавшееся в ряду 8. Индивидуальные различия у сосны обыкновенной по данному показателю сопоставимы по масштабу: наибольшее среднее значение ($5,38 \pm 0,19$ мг/г), зафиксированное на этот раз в ряду 3, в 1,666 раза или на $2,15$ мг/г превосходит наименьшее значение ($3,23 \pm 0,12$ мг/г), отмеченное в ряду 2.

Суммарное содержание в хвое представителей рода Сосна зеленых пластидных пигментов (хлорофилла *a* и хлорофилла *b*) в полной мере соответствовало особенностям содержания каждого из них по отдельности в фотосинтезирующем аппарате исследуемых растений (см. рис. 3).

Так же, как и в отдельно проведенных оценках содержания хлорофилла *a* (см. рис. 1) и хлорофилла *b* (см. рис. 2), в клетках хвои сосны горной и сосны обыкновенной, наблюдали предельно близкие оценки обобщенных средних значений суммарного содержания двух форм хлорофилла (см. рис. 3) по каждому из указанных видов: $10,63 \pm 0,29$ мг/г (сосна горная) и $10,58 \pm 0,19$ мг/г (сосна обыкновенная).

Они сформировали слабое превышение большего над меньшим (в 1,004 раза) и малозначимую разность ($0,04$ мг/г) на фоне практически полного отсутствия отклонений каждой из видовых оценок от обобщенного для всего массива данных среднего значения ($10,605 \pm 0,173$ мг/г). В то же время суммарное содержание двух форм хлорофилла в хвое саженцев сосны горной заметно варьирует, наибольшее среднее значение ($13,35 \pm 0,55$ мг/г) наблюдалось в ряду 1, а наименьшее ($8,69 \pm 0,53$ мг/г) — в ряду 8. Эти оценки показали превышение содержания в 1,53 раза или на $4,66$ мг/г. Обобщенное для данного вида среднее значение рассматриваемого признака составило $10,63 \pm 0,29$ мг/г. У сосны обыкновенной соотношение тех же оценок особой семенного происхождения носило принципиально сходный характер при вполне понятной индивидуальной

специфичности. У этой породы наибольшее среднее значение ($12,21 \pm 0,31$ мг/г) наблюдалось в ряду 3, а наименьшее ($8,76 \pm 0,18$ мг/г) — в ряду 2. Полученные оценки показали превышение в 1,393 раза или на 3,45 мг/г. Среднее для данного вида в целом значение составило $10,58 \pm 0,19$ мг/г.

Межвидовые различия в содержании недифференцированных каротиноидов в хвое сравниваемых между собой сосны горной и сосны обыкновенной проявились в большей степени (см. рис. 4).

Сравнение достигнутых растениями значений содержания в их хвое каротиноидов позволяет признать наличие на общем фоне дисперсии по данному признаку не только межвидовых различий, но и расхождений в значениях между саженцами в повторностях, которыми выступали учетные ряды в принятой организационно-методической схеме опыта. Оценки обобщенных по каждому из указанных видов средних значений содержания в тканях хвои каротиноидов составили: $1,46 \pm 0,04$ мг/г (сосна горная) и $1,53 \pm 0,03$ мг/г (сосна обыкновенная). Они сформировали некоторое превышение большего над меньшим (в 1,057 раза) и сравнительно небольшую разность ($0,08$ мг/г). Каждый из видов слабо отличался от обобщенного по всему массиву данных среднего значения рассматриваемого показателя ($1,49 \pm 0,03$ мг/г): в 1,029 раза или на $0,04$ мг/г — в меньшую сторону (сосна горная) и во столько же раз и на столько же единиц — в большую сторону (сосна обыкновенная).

Выступавшее интегральным показателем пигментного состава хвои двух видов сосен общее суммарное содержание в тканях листового аппарата хлорофилла и каротиноидов (см. рис. 5) во многом отражало основные тенденции в их раздельной концентрации (см. рис. 1–4).

Рассматривая визуализацию статистических данных по сумме пластидных пигментов, можно констатировать, что наибольшее среднее значение суммы у сосны горной ($15,16 \pm 0,66$ мг/г) в ряду 1, а наименьшее ($9,92 \pm 0,63$ мг/г) — в ряду 8. Разница в этих оценках составила $5,24$ мг/г, что обеспечило превышение первой из них над второй в 1,529 раза. Обобщенное в пределах данного вида среднее значение рассматриваемого показателя достигло величины $12,07 \pm 0,33$ мг/г. Сосна обыкновенная в этом отношении столь же неоднородна, и в разрезе повторностей опыта наибольшее среднее значение суммы пигментов ($13,96 \pm 0,37$ мг/г) отмечено в ряду 3, а наименьшее ($10,04 \pm 0,20$ мг/г) — в ряду 2. Общее для указанного вида среднее значение рассматриваемого признака составило $12,11 \pm 0,21$ мг/г. При этом, оценки по каждому из видов весьма выровнены и, как следствие, мало

отличаются от обобщенного для них среднего значения ($12,09 \pm 0,20$ мг/г) этого показателя.

Отмеченные выше тенденции накопления хлорофилла и каротиноидов в хвое сосны горной и сосны обыкновенной в той или иной мере логически сохранились при анализе других показателей их пигментного состава. Выраженное сходство характеристик пигментного состава хвои аборигенной сосны обыкновенной и интродуцированной сосны горной указывает на принципиальную общность их биологии, в частности, по тем ее показателям, которые определяют параметры фотосинтезирующего аппарата. Оценить силу раздельного влияния межвидовых и внутривидовых различий в пигментном составе хвои на формирование общего фона дисперсии, а также установить эффекты их взаимодействия позволил двухфакторный дисперсионный анализ (табл. 1, 2).

По влиянию видовой специфичности — фактору А для большего числа анализируемых признаков (8 из 13) существенность различий не получила подтверждений: опытный критерий Фишера ($F_{оп}А = 0,004 \dots 3,600$) меньше своего предельного порога ($F_{05/01}А = 3,99/7,04$). Остальные признаки продемонстрировали опытные F -критерии, превышающие соответствующие им табличные значения по данному организованному фактору дисперсионного комплекса (см. табл. 1, 2).

При этом по наличию в хвое сухого вещества (см. табл. 1) различия между сосной горной и сосной обыкновенной оказались существенными на 5%-м уровне значимости и были несущественными — на 1%-м. Данные обстоятельства позволили продолжить проведение дисперсионного анализа в части оценки эффективности влияния организованного фактора в отношении признаков с подтвержденной существенностью различий.

Из изложенного следует, что видовая принадлежность представителей рода Сосна (фактор А), определяющая биологический потенциал рассматриваемых растений (сосны горной и сосны обыкновенной), который во многом обуславливает продуктивность фотосинтеза, рост и последующее развитие в ранней фазе их онтогенеза, по некоторым признакам оказывает существенное влияние на формирование фенотипических различий между представителями сравниваемых видов. Однако действие этого фактора при подтвержденной достоверности эффекта влияния невелико и никогда не доминирует (см. табл. 2). Наибольшие достоверные оценки его влияния в расчетах с применением алгоритма Плохинского зафиксированы по доле содержания каротиноидов в пигментном составе хвои ($18,35 \pm 1,28$ %; $F_h^2 = 14,382$) и по отношению содержания каротиноидов к сумме содержания хлорофилла

Т а б л и ц а 1

**Результаты двухфакторного дисперсионного анализа содержания пигментов
в хвое сосны горной и сосны обыкновенной**

The results of a two-way ANOVA of the pigment content in the needles of Mountain pine and Scots pine

Фактор влияния, источник дисперсии	Критерий Фишера $F_{оп}$	Доля влияния фактора ($h^2 \pm s_h^2$)			
		по П्लохинскому		по Снедекору	
		h^2	$\pm s_h^2$	h^2	$\pm s_h^2$
Содержание хлорофилла <i>a</i>					
Виды (А)	0,004	0,00002	0,0156	—	—
Повторности (В)	5,755	0,2499	0,0820	0,1653	0,0913
Взаимодействие (АВ)	8,130	0,3531	0,0708	0,4957	0,0552
Остаток (Z)	—	0,3970	0,6030	0,3476	0,6524
Содержание хлорофилла <i>b</i>					
Виды (А)	0,057	0,0003	0,0156	—	—
Повторности (В)	8,182	0,3452	0,0716	0,2595	0,0810
Взаимодействие (АВ)	6,367	0,2687	0,0800	0,3878	0,0670
Остаток (Z)	—	0,3858	0,6142	0,3613	0,6387
Суммарное содержание хлорофилла <i>a</i> и хлорофилла <i>b</i>					
Виды (А)	0,057	0,0003	0,0156	—	—
Повторности (В)	8,182	0,3452	0,0716	0,2595	0,0810
Взаимодействие (АВ)	6,367	0,2687	0,0800	0,3878	0,0670
Остаток (Z)	—	0,3858	0,6142	0,3613	0,6387
Содержание каротиноидов					
Виды (А)	0,057	0,0003	0,0156	—	—
Повторности (В)	8,182	0,3452	0,0716	0,2595	0,0810
Взаимодействие (АВ)	6,367	0,2687	0,0800	0,3878	0,0670
Остаток (Z)	—	0,3858	0,6142	0,3613	0,6387
Обобщенное суммарное содержание пигментов					
Виды (А)	0,057	0,0003	0,0156	—	—
Повторности (В)	8,182	0,3452	0,0716	0,2595	0,0810
Взаимодействие (АВ)	6,367	0,2687	0,0800	0,3878	0,0670
Остаток (Z)	—	0,3858	0,6142	0,3613	0,6387
Содержание абсолютно сухого вещества					
Виды (А)	0,057	0,0003	0,0156	—	—
Повторности (В)	8,182	0,3452	0,0716	0,2595	0,0810
Взаимодействие (АВ)	6,367	0,2687	0,0800	0,3878	0,0670
Остаток (Z)	—	0,3858	0,6142	0,3613	0,6387

Примечание 1. Факторы влияния: А — организованный фактор, действие которого обусловлено межвидовыми различиями представителей рода Сосна; В — организованный фактор, действие которого связано с различиями между повторностями опыта (учетные ряды); АВ — эффект взаимодействия организованных факторов А и В; Z — неорганизованный фактор или остаточная дисперсия, соответствующая внутригрупповой (случайной) изменчивости, индуцируемой пестротой фона не учитываемых в опыте факторов среды.

Примечание 2. Обозначения: $F_{оп}$ — опытное значение критерия Фишера; F_{05} — табличное значение критерия Фишера на 5%-м уровне значимости ($F_{05/01A} = 3,99/7,04$; $F_{05/01B} = 2,15/2,93$; $F_{05/01AB} = 2,15/2,93$); h^2 — доля влияния организованного фактора; $\pm s_h^2$ — ошибка доли влияния организованного фактора; число первичных единиц выборки каждого признака — 80; общая емкость базы данных — 1040 дата-единиц.

($18,08 \pm 1,28$ %; $F_h^2 = 14,382$). В значительно меньшей степени при сохранении достоверности этот эффект проявился по отношению содержания хлорофилла *a* к содержанию каротиноидов ($12,77 \pm 1,36$ %; $F_h^2 = 9,369$) и по отношению содержания хлорофилла *b* к содержанию каротиноидов ($5,24 \pm 1,48$ %; $F_h^2 = 3,541$). Минимальная оценка при сохранении ее значимости только на 5%-м уровне принадлежала содержанию абсолютно сухого вещества в хвое представителей рода сосна ($3,01 \pm 1,52$ %; $F_h^2 = 1,99$).

Весьма индифферентными показателями, мало зависящими от видовой принадлежности исследуемых растений, и, как следствие, не оказавшими существенного влияния на формирование различий между ними, выступили важнейшие оценки содержания пластидных пигментов в хвое (см. табл. 1): содержание хлорофилла *a* ($0,002 \pm 1,56$ %); содержание хлорофилла *b* ($0,03 \pm 1,56$ %); суммарное содержание хлорофилла *a* и хлорофилла *b* ($0,02 \pm 1,56$ %); содержание каротиноидов ($3,09 \pm 1,51$ %); общее суммарное

Т а б л и ц а 2

**Результаты двухфакторного дисперсионного анализа соотношения пигментов
в хвое сосны горной и сосны обыкновенной**

The results of a two-way ANOVA of the of the ratio of pigments in the needles of Mountain pine and Scots pine

Фактор влияния, источник дисперсии	Критерий Фишера $F_{оп}$	Доля влияния фактора ($h^2 \pm s_{h^2}$)			
		по Плохинскому		по Снедекору	
		h^2	$\pm s_{h^2}$	h^2	$\pm s_{h^2}$
Отношение хлорофилла <i>a</i> к хлорофиллу <i>b</i>					
Виды (А)	0,985	0,0074	0,0155	–	–
Повторности (В)	6,757	0,3539	0,0707	0,2899	0,0777
Взаимодействие (АВ)	3,052	0,1599	0,0919	0,2067	0,0868
Остаток (Z)	–	0,4789	0,5211	0,5036	0,4964
Отношение содержания хлорофилла <i>a</i> к содержанию каротиноидов					
Виды (А)	11,287	0,1277	0,0136	0,2078	0,0124
Повторности (В)	0,941	0,0745	0,1012	–	–
Взаимодействие (АВ)	0,931	0,0737	0,1013	–	–
Остаток (Z)	–	0,7241	0,2759	0,8081	0,1919
Отношение содержания хлорофилла <i>b</i> к содержанию каротиноидов					
Виды (А)	7,783	0,0524	0,0148	0,0743	0,0145
Повторности (В)	7,772	0,3665	0,0693	0,2967	0,0769
Взаимодействие (АВ)	3,178	0,1499	0,0930	0,1909	0,0885
Остаток (Z)	–	0,4312	0,5688	0,4381	0,5619
Доля содержания хлорофилла <i>a</i> в пигментном составе					
Виды (А)	0,242	0,0017	0,0156	–	–
Повторности (В)	7,769	0,3764	0,0682	0,3081	0,0757
Взаимодействие (АВ)	3,694	0,1790	0,0898	0,2453	0,0825
Остаток (Z)	–	0,4430	0,5570	0,4552	0,5448
Доля содержания хлорофилла <i>b</i> в пигментном составе					
Виды (А)	0,242	0,0017	0,0156	–	–
Повторности (В)	7,769	0,3764	0,0682	0,3081	0,0757
Взаимодействие (АВ)	3,694	0,1790	0,0898	0,2453	0,0825
Остаток (Z)	–	0,4430	0,5570	0,4552	0,5448
Доля содержания каротиноидов в пигментном составе					
Виды (А)	15,595	0,1835	0,0128	0,3102	0,0108
Повторности (В)	0,428	0,0352	0,1055	–	–
Взаимодействие (АВ)	0,344	0,0283	0,1063	–	–
Остаток (Z)	–	0,7530	0,2470	0,8500	0,1500
Отношение каротиноидов к сумме хлорофилла					
Виды (А)	15,317	0,1808	0,0128	0,3059	0,0108
Повторности (В)	0,425	0,0351	0,1055	–	–
Взаимодействие (АВ)	0,347	0,0287	0,1062	–	–
Остаток (Z)	–	0,7554	0,2446	0,8548	0,1452

Примечание. Обозначение факторов влияния и величин дисперсионного анализа см. табл. 1.

содержание пластидных пигментов ($0,01 \pm 1,56\%$). Отношение содержания хлорофилла *a* к содержанию хлорофилла *b* демонстрировало сходные по величине и смыслу результаты ($0,74 \pm 1,55\%$).

Полученный в рамках данного этапа анализа материал позволил заключить, что сходство основных характеристик пигментного состава хвои аборигенной сосны обыкновенной и интродуцированной сосны горной указывает на принципиальную общность их биологии, в частности, по тем ее показателям, которые определяют количе-

ственные параметры и структуру фотосинтезирующего аппарата.

Принадлежность к повторности (фактор В) в подавляющем большинстве случаев (10 из 13) индуцировала существенные различия между группировками (между учетными рядами) как на 5%-м, так и на 1%-м уровнях значимости, которые по своим величинам нередко превосходили эффект межвидовых различий (фактор А). Данное утверждение базируется на превышении расчетными значениями критерия Фишера уста-

новленных для принятого в опыте числа степеней свободы критических уровней. Влияние внутривидовых различий ощутимо. В частности, по наличию в хвое представителей рода Сосна пигментов и базовой субстанции (см. табл. 1) наибольшие оценки характерны для содержания абсолютно сухого вещества ($38,89 \pm 6,68$ %; $F_h^2 = 5,818$), в то время как наименьшие — принадлежали содержанию каротиноидов ($19,86 \pm 8,77$ %; $F_h^2 = 2,266$). Соответствующие величины производных признаков (той их части, для которой существенность различий подтверждена) более выровнены (см. табл. 2): от $35,39 \pm 7,07$ % ($F_h^2 = 5,008$) по отношению содержания хлорофилла *a* к содержанию хлорофилла *b* до $37,64 \pm 6,82$ % ($F_h^2 = 5,518$) по доле содержания хлорофилла *a* и доле содержания хлорофилла *b*.

Взаимодействие организованных факторов (фактор АВ) чаще оказывало влияние, вызывавшее, как и в предшествующем анализе, возникновение достоверных различий, что наблюдалось в 10 случаях из 13, в которых расчетные значения критериев Фишера превосходили установленные пределы (см. табл. 1, 2). Этот фактор воздействовал на общую дисперсию примерно так же, как внутривидовые различия (фактор В). По характеристикам содержания в хвое пигментов и базовой субстанции (см. табл. 1) наибольшие оценки характерны для содержания хлорофилла *a* ($35,31 \pm 7,08$ %; $F_h^2 = 4,989$), суммарного содержания хлорофилла *a* и хлорофилла *b* ($30,52 \pm 7,60$ %; $F_h^2 = 4,015$), общего суммарного содержания пигментов ($29,91 \pm 7,67$ %; $F_h^2 = 3,901$) и содержания сухого вещества ($27,70 \pm 7,918$ %; $F_h^2 = 3,503$). Аналогичные оценки производных признаков заметно меньше (см. табл. 2): от $14,99 \pm 9,30$ % ($F_h^2 = 1,612$) по отношению содержания хлорофилла *b* к содержанию каротиноидов до $17,90 \pm 8,98$ % ($F_h^2 = 1,993$), по доле содержания хлорофилла *a* и доле содержания хлорофилла *b*. Поскольку различия в повторностях каждого варианта опыта проявились на выровненном фоне экологических условий, факт возникновения данной части дисперсии во многом можно связать с эндогенными особенностями растений семенного происхождения, формирующими уникальный состав генотипов каждого из учетных рядов. Можно констатировать, что внутривидовая изменчивость тестируемых признаков сосны горной и сосны обыкновенной, обусловленная спецификой генотипов принадлежащих им особей, указывает на возможность выделения из их числа растений с наиболее ценным по насыщенности и структуре пигментным составом.

На общем фоне изменчивости влияние неорганизованных факторов, как правило, преобладало, нередко превышая 50 %. В частности

установлено, что характеристики пигментного состава листового аппарата исследуемых растений обладают специфической восприимчивостью к комплексному воздействию условий внешней среды. Оценки остаточной дисперсии (фактор Z), возникающей под их влиянием, весьма неравнозначны и достигают значений: от 30,40 % (содержание абсолютно сухого вещества) до 72,41 % (отношение содержания хлорофилла *a* к содержанию каротиноидов) и даже до 75,30 % (доля содержания каротиноидов) и 75,54 % (отношение содержания каротиноидов к сумме содержания хлорофилла).

Выводы

1. Сходство характеристик пигментного состава хвои аборигенной сосны обыкновенной и интродуцированной сосны горной указывает на принципиальную общность их биологии, в частности, тех ее показателей, которые определяют количественные параметры и структуру фотосинтезирующего аппарата.

2. Внутривидовая изменчивость рассматриваемых признаков сосны горной и сосны обыкновенной, обусловленная спецификой генотипов принадлежащих им особей, указывает на возможность выделения из их состава растений с наиболее ценным по насыщенности и структуре пигментным составом.

3. Вскрытые тенденции в накоплении хлорофилла и каротиноидов в хвое сосны обыкновенной и сосны горной позволяют признать общность их экологических реакций и свидетельствуют о широких возможностях введения сосны горной в состав искусственных насаждений различного целевого назначения и конструкций, что, в свою очередь, будет способствовать расширению регионального ассортимента древесных и кустарниковых пород, предназначенных для этих целей.

Список литературы

- [1] Правдин Л.Ф. Половой диморфизм сосны обыкновенной (*Pinus sylvestris* L.) // Труды Института леса АН СССР, 1950. Т. 3. С. 190–201.
- [2] Алехин В.В. Растительность СССР в основных зонах. М.: Советская наука, 1951. 512 с.
- [3] Правдин Л.Ф. Сосна обыкновенная. Изменчивость, внутривидовая систематика и селекция. М.: Наука, 1964. 190 с.
- [4] Мамаев С.А. Формы внутривидовой изменчивости древесных растений (на примере семейства *Pinaceae* на Урале). М.: Наука, 1972. 283 с.
- [5] Хох А.Н., Звягинцев В.Б. Дифференциация сосняков, произрастающих в долгомошном и багульниковом типах леса по морфолого-анатомическим параметрам годичных слоев // Сахаровские чтения 2021 года: экологические проблемы XXI века: Материалы 21-й Междунар. науч. конф. В 2 ч. / под ред. С.А. Маскевича,

- М.Г. Герменчук. Минск: Информационно-вычислительный центр Министерства финансов Республики Беларусь, 2021. С. 355–358.
- [6] Miller P. The gardeners dictionary: containing the methods of cultivating and improving all sorts of trees, plants, and flowers, for the kitchen, fruit, and pleasure gardens, as also those which are used in medicine: with directions for the culture of vineyards, and making of wine in England. London: Print. by J. and J. Rivington, 1754, 532 p. DOI: 10.5962/bhl.title.541
- [7] Masters M.T. A general view of the Genus Pinus // Botanical J. of the Linnean Society, 1904, v. 35, iss. 248, pp. 560–659. DOI: 10.1111/j.1095-8339.1904.tb00702.x
- [8] Duffeld J.W. Relationships and species hybridization in the genus Pinus // Forstgenetik, 1951, v. 1, iss. 4, pp. 93–97.
- [9] Van der Burgh, J. Holzer der niederrheinischen Braunkohlenformation, 2. Holzer der Braunkoh-lengruben «Maria Theresia» zu Herzogenrath, «Zukunft West» zu Eschweiler und «Victor» (Zulpich Mitte) zu Zulpich. Nebst einer systematisch-anatomischen Bearbeitung der Gattung Pinus L. // Review of Palaeobotany and Palynology, 1973, v. 15, iss. 2–3, pp. 73–275. DOI: 10.1016/0034-6667(73)90001-8
- [10] Miller C.N., Malinky J.M. Seed cones of Pinus from the Late Cretaceous of New Jersey, U.S.A. // Review of Palaeobotany and Palynology, 1986, v. 46, iss. 3–4, pp. 257–272. DOI: 10.1016/0034-6667(86)90018-7
- [11] Crichfield W.B., Little E.L. Geographic distribution of the pines of the world // Bulletin: United States Department of Agriculture. United States Forest Service. Series: Miscellaneous Publication, no. 991. Washington, D.C.: U.S. Dept. of Agriculture, Forest Service, 1966, 97 p. DOI: 10.5962/bhl.title.66393
- [12] Crichfield W.B., Little E.L. Subdivisions of the genus Pinus (Pines) // Bulletin: United States Department of Agriculture. United States Forest Service. Series: Miscellaneous Publication, no. 1144. Washington, D.C.: U.S. Dept. of Agriculture, Forest Service, 1969, 51 p.
- [13] Mirov N.T. The genus Pinus. New York: The Ronald Press Company, 1967, 602 p. DOI:10.2307/2258116
- [14] Critchfield W.B. Interspecific hybridization in Pinus: A summary review // Proceedings of Symposium on Interspecific and Interprovenance Hybridization in Forest Trees: 14th Meeting of Canadian tree improvement association. Part 2. / Ed.: D.P. Fowler and C.Y. Yeatman. Ottawa: Miscellaneous Publication, 1975, pp. 99–105.
- [15] Орлова Л.В. О диагностических признаках вегетативных органов в роде Pinus (Pinaceae) // Ботанический журнал, 2001. Т. 86. № 9. С. 33–44.
- [16] Salminen H., Jalkanen R., Lindholm M. Summer temperature affects the ratio of radial and height growth of Scots pine in northern Finland // Annals of Forest Science, 2009, v. 66, iss. 8, article number 810, total pages 9, pp. 1–9. DOI: 10.1051/forest/2009074
- [17] Taulavuori E., Taulavuori K., Niinimaa A., Laine K. Effect of Ecotype and Latitude on Growth, Frost Hardiness, and Oxidative Stress of South to North Transplanted Scots Pine Seedlings // International J. of Forestry Research, 2010, v. 1, article ID 162084, total pages 16, pp. 1–16. DOI: 10.1155/2010/162084
- [18] Krakau U.-K., Liesebach M., Aronen T., Lelu-Walter M.A., Schneck V. Scots pine (Pinus sylvestris L.) // Forest Tree Breeding in Europe: Current State-of-the-Art and Perspectives. Managing Forest Ecosystems, v. 25, ch. 4. Dordrecht, Heidelberg, New-York, London: Springer Science+Business Media, 2013, pp. 267–323. DOI: 10.1007/978-94-007-6146-9_6
- [19] Лебедев В.М., Лебедев Е.В. Взаимосвязь биологической продуктивности и поглотительной деятельности корней хвойных пород в онтогенезе в зоне южной тайги России // Агрохимия, 2012. № 8. С. 9–17.
- [20] Feklistov P., Sobolev A., Bolotov I., Barzut O. The results of the introduction of twisted pine (pinus contorta) in Bolshoy Solovetsky Island // Folia Forestalia Polonica, Series A, 2022, t. 64, no. 1, pp. 1–6.
- [21] Горелов А.Н., Бессчетнова Н.Н., Бессчетнов В.П. Сравнительная оценка таксационных показателей плюсовых деревьев сосны обыкновенной на лесосеменной плантации // Хвойные бореальной зоны, 2022. Т. 40. № 1. С. 27–37.
- [22] Andersone U., Vinsh G. Changes of Morphogenic Competence in Mature Pinus sylvestris L. Buds in vitro // Annals of Botany, 2002, v. 90, iss. 2, pp. 293–298. DOI: 10.1093/aob/mcfl176
- [23] Venäläinen M., Harju A.M., Kainulainen P., Viitanen H., Nikulainen H. Variation in the decay resistance and its relationship with other wood characteristics in old Scots pines // Annals of Forest Science, 2003, v. 60, no. 5, pp. 409–417. DOI: 10.1051/forest:2003033
- [24] Zha T., Kellomäki S., Wang K.-Y. Seasonal Variation in Respiration of 1 year old Shoots of Scots Pine Exposed to Elevated Carbon Dioxide and Temperature for 4 Years // Annals of Botany, 2003, v. 92, iss. 1, pp. 89–96. DOI: 10.1093/AOB/MCG118
- [25] Zha T., Kellomäki S., Wang K.-Y., Ryppö A., Niinistö S. Seasonal and Annual Stem Respiration of Scots Pine Trees under Boreal Conditions // Annals of Botany, 2004, v. 94, iss. 6, pp. 889–896. DOI: 10.1093/aob/mch218
- [26] Bohne G., Woehlecke H., Ehwald R. Water Relations of the Pine Exine // Annals of Botany, 2005, v. 96, iss. 2, pp. 201–208. DOI: 10.1093/aob/mci169
- [27] Wennström U., Bergsten U., Nilsson J.-E. Seedling establishment and growth after direct seeding with Pinus sylvestris: effects of seed type, seed origin, and seeding year // Silva Fennica, 2007, v. 41, iss. 2, pp. 299–314. DOI: 10.14214/sf.298
- [28] Раевский Б.В. Особенности вегетативного роста клонов сосны обыкновенной в Карелии // ИЗВУЗ Лесной журнал, 2013. № 4. С. 7–15.
- [29] Старова Н.В., Янбаев Ю.А., Юмадилов Н.Х., Адлер Э.Н., Духарев В.А., Шигапов З.Х. Генетическая изменчивость сосны обыкновенной в возрастных группах // Генетика, 1990. Т. 26. № 3. С. 498–505.
- [30] Тарханов С.Н. Хвойные насаждения в условиях атмосферного загрязнения // Лесное хозяйство, 2004. № 3. С. 18.
- [31] Gorelov A.N., Besschetnova N.N., Besschetnov V.P. Comparative assessment of the taxation indicators of plus trees of Scots pine on a forest seed plantation // Conifers of the boreal area, 2023, v. 40, no. 7 (special), pp. 577–584.
- [32] Вилков М.В., Бессчетнова Н.Н., Бессчетнов В.П., Орнатский А.Н. Выращивание саженцев сосны горной (Pinus mugo) в Нижегородской области // Актуальные проблемы развития лесного комплекса. Материалы XVIII Междунар. науч.-техн. конф., Вологда, 1 декабря 2020 г. / под ред. С.М. Хамитовой. Вологда: Изд-во Вологодского государственного университета, 2020. С. 13–15.
- [33] Храмова О.Ю., Вилков М.В. Рост и развитие саженцев сосны горной (Pinus mugo) при интродукции в Нижегородскую область // Молодежный Агрофорум–2021: Материалы Междунар. науч.-практ. интернет-конф. молодых ученых, г. Нижний Новгород, 11–12 февраля 2021 г. / под ред. Н.Ю. Бармина. Нижний Новгород: Изд-во Нижегородской ГСХА, 2021. С. 230–236.
- [34] Boratyńska K., Jasińska A.K., Boratyński A. Taxonomic and geographic differentiation of Pinus mugo complex on the needle characteristics // Systematics and Biodiversity, 2015, v. 13, iss. 6, pp. 1–15. DOI:10.1080/14772000.2015.1058300

- [35] Boratynska, K., Muchewicz, E., Drojma, M. *Pinus mugo* Turra geographic differentiation based on needle characters // *Dendrobiology*, 2004, v. 51, pp. 9–17.
- [36] Бессчетнова Н.Н., Бессчетнов В.П. Изменчивость морфометрических признаков хвои на клоновой плантации плюсовых деревьев сосны обыкновенной (*Pinus sylvestris* L.) // *Вавиловский журнал генетики и селекции*, 2017. Т. 21. № 2. С. 198–206. DOI: 10.18699/VJ17.237
- [37] Голиков Д.Ю., Монтиле А.А., Шавнин С.А. Сезонные динамики электрического импеданса и емкости прикамбиального комплекса тканей ствола деревьев сосны обыкновенной, произрастающих в древостое естественного происхождения // *Вестник Поволжского государственного технологического университета*. Серия: Лес. Экология. Природопользование, 2022. № 4 (56). С. 19–31.
- [38] Ryyppö A.M., Sutinen S., Mäenpää M. Vapaavuori E. Repo T. Frost damage and recovery of Scots pine seedlings at the end of the growing season // *Canadian J. of Forest Research*, 2011, v. 27, iss. 9, pp. 1376–1382. DOI: 10.1139/x97-108
- [39] Celiński K., Chudzińska Ewa., Gmur A., Piosik L., Wojnicka-Półtorak A. Cytological characterization of three closely related pines – *Pinus mugo*, *P. uliginosa* and *P. × rhaetica* from the *Pinus mugo* complex (Pinaceae) // *Biologia*, 2019, v. 74, iss. 7, pp. 751–756. DOI: 10.2478/s11756-019-00201-6
- [40] Schonbeck L., Gessler A., Hoch G., McDowell N.G., Riegling A., Schaub M., Li M.-H. Homeostatic levels of non-structural carbohydrates after 13 yr of drought and irrigation in *Pinus sylvestris* // *New Phytologist*, 2018, v. 219, pp. 1314–1324. DOI: 10.1111/nph.1522
- [41] Тарханов С.Н., Бирюков С.Ю. Влияние атмосферного загрязнения на фотосинтезирующий аппарат *Pinus sylvestris* L. и *Picea obovata* Ledeb. × *p. abies* (L.) karst. в северной тайге бассейна Северной Двины // *ИзВУЗ Лесной журнал*, 2014. № 1 (337). С. 20–26.
- [42] Wachowiak W., Baczekiewicz A., Celiński K., Prus-Głowacki W. Species-specific chloroplast DNA polymorphism in the trnV-rbcL region in *Pinus sylvestris* and *P. mugo* // *Dendrobiology*, 2004, v. 51, pp. 67–72.
- [43] Peguero-Pina J.J., Morales F., Gil-Pelegrín E. Frost damage in *Pinus sylvestris* L. stems assessed by chlorophyll fluorescence in cortical bark chlorenchyma // *Annals of Forest Science*, 2008, v. 65, no. 8, article numb. 813, number of page(s) 6, pp. 1–6. DOI: 10.1051/forest:2008068
- [44] Minghetti P., Nardi E. Lectotypification of *Pinus mugo* Turra (Pinaceae) // *Taxon*, 1999, v. 48, no. 3, pp. 465–469. DOI: 10.2307/1224557
- [45] Popovic M. Growth of the Mountain Pine (*Pinus mugo*, Turr.) in Yugoslavia // *J. of Biogeography*, 1976, v. 3, no. 3, pp. 261–267. DOI: 10.2307/3038016
- [46] Nardi E., Minghetti P. Proposal to Conserve the Name *Pinus mugo* (Pinaceae) with a Conserved Type // *Taxon*, 1999, v. 48, no. 3, pp. 571–572. DOI: 10.2307/1224568
- [47] Charra-Vaskou K., Mayr S. The hydraulic conductivity of the xylem in conifer needles (*Picea abies* and *Pinus mugo*) // *J. of Experimental Botany*, 2011, v. 62, no. 12, pp. 4383–4390. DOI: 10.1093/jxb/err157
- [48] Dai L., Palombo C., Van Gils H., Rossiter D.G., Tognetti R., Luo G. *Pinus mugo* Krummholz Dynamics During Concomitant Change in Pastoralism and Climate in the Central Apennines // *Mountain Research and Development*, 2017, v. 37, no. 1, pp. 75–86. DOI: 10.1659/MRD-JOURNAL-D-14-00104.1
- [49] Полуяхтов К.К. Лесорастительное районирование Горьковской области // *Биологические основы повышения продуктивности и охраны лесных, луговых и водных фитоценозов Горьковского Поволжья*. Горький: Изд-во Горьковского государственного университета, 1974. С. 4–20.
- [50] Шлык А.А. О спектрофотометрическом определении хлорофиллов *a* и *b* // *Биохимия*, 1968. Т. 33. Вып. 2. С. 275–285.
- [51] Lichtenthaler H.K., Wellburn A.R. Determinations of total carotenoids and chlorophylls a and b of leaf extracts in different solvents // *Biochemical Society Transactions*, 1983, v. 11, no 6, pp. 591–592. DOI: 10.1042/bst0110591
- [52] Porra R.G., Thomson W.A., Kriedemann P.E. Determination of accurate extinction coefficients and simultaneous equations for assaying chlorophylls a and b extracted with four different solvents: verification of the concentration of chlorophyll standards by atomic absorption spectroscopy // *Biochimica et Biophysica Acta*, 1989, v. 975, iss. 3, pp. 384–394. DOI: 10.1016/S0005-2728(89)80347-0
- [53] Wellburn A.R. The Spectral Determination of Chlorophylls a and b, as well as Total Carotenoids, Using Various Solvents with Spectrophotometers of Different Resolution // *J. of plant physiology*, 1994, v. 144, iss. 3, pp. 307–313. DOI: 10.1016/S0176-1617(11)81192-2
- [54] Rosenthal S.I., Camm E.L. Photosynthetic decline and pigment loss during autumn foliar senescence in western larch (*Larix occidentalis*) // *Tree Physiology*, 1997, v. 17, no.12, pp. 767–775. DOI: 10.1093/treephys/17.12.767
- [55] Casella E., Sinoquet H. Botanical determinants of foliage clumping and light interception in two-year-old coppice poplar canopies: assessment from 3-D plant mock-ups // *Annals of Forest Science*, 2007, v. 64, no. 4. pp. 395–404. DOI: 10.1051/forest:2007016
- [56] Бабаев Р.Н. Основные статистики площади листовых пластин разных видов и форм березы в условиях интродукции // *Вестник Нижегородской государственной сельскохозяйственной академии*, 2021. № 4(32). С. 5–13.
- [57] Кулькова А.В. Зависимость процессов регенерации от физиологического состояния побегов на примере *Picea pungens* Engelm., f. *Glauca* в условиях интродукции в Нижегородскую область // *Вестник Нижегородской государственной сельскохозяйственной академии*, 2022. № 3(35). С. 33–42.
- [58] Lian Yong-Shan, Zhen Hong. A research on dividing infraspecific patterns within *Hippophae rhamnoides* L. ssp. *Sinensis* Rousi in Gansu province // *Proceedings of International Symposium on see buckthorn (Hippophae rhamnoides L.)*. Xian, China, 1989, October 19–23. Xian, 1989, pp. 31–34.
- [59] Noll F., Lyons C.K. A novel method for manually falling trees // *The Forestry Chronicle*, 2010, v. 86, no. 5, pp. 608–613. DOI: 10.5558/tfc86608-5
- [60] Dumais D., Prévost M. Physiology and growth of advance *Picea rubens* and *Abies balsamea* regeneration following different canopy openings // *Tree Physiology*, 2014, v. 34, iss. 2, pp. 194–204. DOI: 10.1093/treephys/tpt114
- [61] Benomar L., Lamhamedi M.S., Villeneuve I., Rainville A., Beaulieu J., Bousquet J., Margolis H.A. Fine-scale geographic variation in photosynthetic-related traits of *Picea glauca* seedlings indicates local adaptation to climate // *Tree Physiology*, 2015, v. 35, iss. 8, pp. 864–878. DOI: 10.1093/treephys/tpv054
- [62] Кулькова А.В. Корреляция показателей корнеобразования и пострегенерационного развития черенков ели европейской (*Picea abies* (L.) h. karst.) // *ИзВУЗ Лесной журнал*, 2018. № 3 (363). С. 28–36.
- [63] Есичев А.О., Бессчетнова Н.Н., Бессчетнов В.П., Бабич А.Н., Кентбаев Е.Ж., Кентбаева Б.А. Содержание и баланс запасных веществ в побегах лиственницы сибирской в условиях реинтродукции в Нижегородскую

- область // Лесной вестник / Forestry Bulletin, 2022, Т. 26, № 1. С. 17–27.
DOI: 10.18698/2542-1468-2022-1-17-27
- [64] Кулькова А.В. Межвидовая изменчивость представителей рода Ель (*Picea* A. Dietr.) по содержанию крахмала в тканях побегов // Вестник Нижегородской государственной сельскохозяйственной академии, 2016. № 3 (11). С. 28–34.
- [65] Кулькова А.В. Эффективность стимулирующей обработки черенков ели Коники (*Picea glauca*) биологически активными препаратами // Вестник Нижегородской государственной сельскохозяйственной академии, 2020. № 4 (28). С. 10–19.
- [66] Бабаев Р.Н. Содержание крахмала в тканях побегов разных видов березы в условиях интродукции // Рост и воспроизводство научных кадров в АПК: Рос. нац. науч.-практ. интернет-конф. для обучающихся и молодых ученых / под ред. Н.Н. Бессчетновой. Нижний Новгород: Изд-во Нижегородской ГСХА, 2020. С. 74–78.

Сведения об авторах

Бессчетнова Наталья Николаевна — д-р с.-х. наук, доцент, декан факультета лесного хозяйства, ФГБОУ ВО «Нижегородский государственный агротехнологический университет», besschetnova1966@mail.ru

Бессчетнов Владимир Петрович [✉] — д-р биол. наук, профессор, зав. кафедрой лесных культур, ФГБОУ ВО «Нижегородский государственный агротехнологический университет», lesfak@bk.ru

Поступила в редакцию 15.03.2024.

Одобрено после рецензирования 27.03.2024.

Принята к публикации 15.05.2024.

NEEDLES PIGMENT COMPOSITION OF MOUNTAIN PINE AND SCOTS PINE SEEDLINGS IN NIZHNY NOVGOROD REGION

N.N. Besschetnova, V.P. Besschetnov [✉]

Nizhegorodsky State Agrotechnological University, 97, Gagarin av., 603107, Nizhny Novgorod, Russia

lesfak@bk.ru

The study results of the needles pigment composition of 4-year-old seedlings of Mountain pine (*Pinus mugo* Turra.) and Scots pine (*Pinus sylvestris* L.) are presented. The principle of the only logical difference has been observed, and the basic requirements for setting the experiment have been met. Field-stationary and laboratory methods were implemented to fix the presence of chlorophyll-a, chlorophyll-b and carotenoids in 1-year-old needles. The SF-2000 spectrophotometer with the GRASS GIS 7.6.1 / QGIS 3.4 software was used. 96 % alcohol extracts were used from a homogenized crushed biomaterial sample, the mass of which was determined with an accuracy of 0,001 g on precise analytical scales Acculab VIC-300d3. The pigment concentrations were calculated by the Wettstein and Holm equations. Weak interspecific differences in the content and ratio of plastid pigments have been established with well-marked individual phenotypic differences between specimens of seed origin. According to the content of chlorophyll-a in mountain pine, the highest average ($7,38 \pm 0,15$ mg/g) was 1,29 times higher than the lowest ($5,72 \pm 0,24$ mg/g); in Scots pine. The highest average ($7,35 \pm 0,54$ mg/g) exceeded the lowest ($5,53 \pm 0,08$ mg/g) by 1,25 times. The influence of interspecific and intraspecific differences in the pigment composition of needles on the formation of the general background of the dispersion of its indicators is assessed, and the effects of their interaction are established. The greatest effect of species specificity was recorded in the tested characteristics of the needles pigment composition by the proportion of carotenoids ($18,35 \pm 1,28$ %) and by the ratio of carotenoids to the total amount of chlorophyll ($18,08 \pm 1,28$ %). The nature of the accumulation of pigments in the needles of Scots pine and Mountain pine indicates the commonality of their ecological reactions and the possibility of introducing the latter into artificial plantations in the Nizhny Novgorod region.

Keywords: Scots pine, Mountain pine, plastid pigments, chlorophyll-a, chlorophyll-b, carotenoids, interspecific differences

Suggested citation: Besschetnova N.N., Besschetnov V.P. *Pigmentnyy sostav khvoi sazhenitsev sosny gornoy i sosny obyknovnoy v Nizhegorodskoy oblasti* [Needles pigment composition of Mountain pine and Scots pine seedlings in Nizhny Novgorod region]. *Lesnoy vestnik / Forestry Bulletin*, 2024, vol. 28, no. 4, pp. 5–18.
DOI: 10.18698/2542-1468-2024-4-5-18

References

- [1] Pravdin L.F. *Polovoy dimorfizm sosny obyknovnoy (Pinus sylvestris L.)* [Sexual dimorphism of Scots pine (*Pinus sylvestris* L.)]. *Trudy Instituta lesa AN SSSR* [Proceedings of the Forest Institute of the USSR Academy of Sciences], 1950, v. 3, pp. 190–201.
- [2] Alekhin V.V. *Rastitel'nost' SSSR v osnovnykh zonakh* [Vegetation of the USSR in the main zones]. Moscow: Soviet Science, 1951, 512 p.

- [3] Pravdin L.F. *Sosna obyknovennaya. Izmenchivost', vnutrividovaya sistematika i selektsiya* [Scots pine. Variation, intraspecific systematics and selection]. Moscow: Nauka, 1964, 190 p.
- [4] Mamaev S.A. *Formy vnutrividovoy izmenchivosti drevesnykh rasteniy (na primere semeystva Pinaceae na Urale)* [Forms of intraspecific variability of woody plants (using the example of the *Pinaceae* family in the Urals)]. Moscow: Nauka, 1972, 283 p.
- [5] Khokh A.N., Zvyagintsev V.B. *Differentsiatsiya sosnyakov, proizrastayushchikh v dolgomoshnom i bagul'nikovom tipakh lesa po morfolologo-anatomicheskim parametram godichnykh sloev* [Differentiation of pine forests growing in long-moss and wild rosemary forest types according to the morphological and anatomical parameters of annual layers]. Sakharovskie chteniya 2021 goda: ekologicheskie problemy XXI veka: mater. 21-y mezhdunarodnoy nauchnoy konferentsii [Sakharov readings 2021: environmental problems of the 21st century: material. 21st international scientific conference, in 2 parts]. Ed. S.A. Maskevich, M.G. Germenchuk. Minsk: Information and Computing Center of the Ministry of Finance of the Republic of Belarus, 2021, pp. 355–358.
- [6] Miller P. *The gardeners dictionary: containing the methods of cultivating and improving all sorts of trees, plants, and flowers, for the kitchen, fruit, and pleasure gardens, as also those which are used in medicine: with directions for the culture of vineyards, and making of wine in England.* London: Print. by J. and J. Rivington, 1754, 532 p. DOI: 10.5962/bhl.title.541
- [7] Masters M.T. A general view of the Genus Pinus. *Botanical J. of the Linnean Society*, 1904, v. 35, iss. 248, pp. 560–659. DOI: 10.1111/j.1095-8339.1904.tb00702.x
- [8] Duffeld J.W. Relationships and species hybridization in the genus Pinus. *Forstgenetik*, 1951, v. 1, iss. 4, pp. 93–97.
- [9] Van der Burgh, J. *Holzer der niederrheinischen Braunkohlenformation, 2. Holzer der Braunkohlengruben «Maria Theresia» zu Herzogenrath, «Zukunft West» zu Eschweiler und «Victor» (Zulpich Mitte) zu Zulpich. Nebst einer systematiach-anatomischen Bearbeitung der Gattung Pinus L.. Review of Palaeobotany and Palynology*, 1973, v. 15, iss. 2–3, pp. 73–275. DOI: 10.1016/0034-6667(73)90001-8
- [10] Miller C.N., Malinky J.M. Seed cones of Pinus from the Late Cretaceous of New Jersey, U.S.A.. *Review of Palaeobotany and Palynology*, 1986, v. 46, iss. 3–4, pp. 257–272. DOI: 10.1016/0034-6667(86)90018-7
- [11] Crichfield W.B., Little E.L. Geographic distribution of the pines of the world. *Bulletin: United States Department of Agriculture. United States Forest Service. Series: Miscellaneous Publication, no. 991.* Washington, D.C.: U.S. Dept. of Agriculture, Forest Service, 1966, 97 p. DOI: 10.5962/bhl.title.66393
- [12] Crichfield W.B., Little E.L. Subdivisions of the genus Pinus (Pines). *Bulletin: United States Department of Agriculture. United States Forest Service. Series: Miscellaneous Publication, no. 1144.* Washington, D.C.: U.S. Dept. of Agriculture, Forest Service, 1969, 51 p.
- [13] Mirov N.T. *The genus Pinus.* New York: The Ronald Press Company, 1967, 602 p. DOI:10.2307/2258116
- [14] Critchfield W.B. Interspecific hybridization in Pinus: A summary review. *Proceedings of Symposium on Interspecific and Interprovenance Hybridization in Forest Trees: 14th Meeting of Canadian tree improvement association. Part 2.* / Ed.: D.P. Fowler and C.Y. Yeatman. Ottawa: Miscellaneous Publication, 1975, pp. 99–105.
- [15] Orlova L.V. *O diagnosticheskikh priznakakh vegetativnykh organov v rode Pinus (Pinaceae)* [On the diagnostic characteristics of vegetative organs in the genus *Pinus (Pinaceae)*]. *Botanicheskiy zhurnal [Botanical Journal]*, 2001, t. 86, no. 9, pp. 33–44.
- [16] Salminen H., Jalkanen R., Lindholm M. Summer temperature affects the ratio of radial and height growth of Scots pine in northern Finland. *Annals of Forest Science*, 2009, v. 66, iss. 8, article number 810, total pages 9, pp. 1–9. DOI: 10.1051/forest/2009074
- [17] Taulavuori E., Taulavuori K., Niinimaa A., Laine K. Effect of Ecotype and Latitude on Growth, Frost Hardiness, and Oxidative Stress of South to North Transplanted Scots Pine Seedlings. *International J. of Forestry Research*, 2010, v. 1, article ID 162084, total pages 16, pp. 1–16. DOI: 10.1155/2010/162084
- [18] Krakau U.-K., Liesebach M., Aronen T., Lelu-Walter M.A., Schneck V. Scots pine (*Pinus sylvestris* L.). *Forest Tree Breeding in Europe: Current State-of-the-Art and Perspectives. Managing Forest Ecosystems*, v. 25, ch. 4. Dordrecht, Heidelberg, New-York, London: Springer Science+Business Media, 2013, pp. 267–323. DOI: 10.1007/978-94-007-6146-9_6
- [19] Gorelov A.N., Besschetnova N.N., Besschetnov V.P. *Sravnitel'naya otsenka taksatsionnykh pokazateley plusovykh derev'ev sosny obyknovennoy na lesosemnoy plantatsii* [The relationship between biological productivity and absorption activity of coniferous roots in ontogenesis in the southern taiga zone of Russia]. *Agrokhimiya [Agrochemistry]*, 2012, no. 8, pp. 9–17.
- [20] Feklistov P., Sobolev A., Bolotov I., Barzut O. The results of the introduction of twisted pine (*pinus contorta*) in Bolshoy Solovetsky Island. *Folia Forestalia Polonica, Series A*, 2022, t. 64, no. 1, pp. 1–6.
- [21] Gorelov A.N., Besschetnova N.N., Besschetnov V.P. *Sravnitel'naya otsenka taksatsionnykh pokazateley plusovykh derev'ev sosny obyknovennoy na lesosemnoy plantatsii* [Comparative assessment of taxation indicators of plus-sized Scots pine trees on a forest seed plantation]. *Khvoynye boreal'noy zony [Conifers of the boreal zone]*, 2022, t. 40, no. 1, pp. 27–37.
- [22] Andersone U., Vinsh G. Changes of Morphogenic Competence in Mature *Pinus sylvestris* L. Buds in vitro. *Annals of Botany*, 2002, v. 90, iss. 2, pp. 293–298. DOI: 10.1093/aob/mcf176
- [23] Venäläinen M., Harju A.M., Kainulainen P., Viitanen H., Nikulainen H. Variation in the decay resistance and its relationship with other wood characteristics in old Scots pines. *Annals of Forest Science*, 2003, v. 60, no. 5, pp. 409–417. DOI: 10.1051/forest:2003033
- [24] Zha T., Kellomäki S., Wang K.-Y. Seasonal Variation in Respiration of 1 year old Shoots of Scots Pine Exposed to Elevated Carbon Dioxide and Temperature for 4 Years. *Annals of Botany*, 2003, v. 92, iss. 1, pp. 89–96. DOI: 10.1093/AOB/MCG118
- [25] Zha T., Kellomäki S., Wang K.-Y., Rypö A., Niinistö S. Seasonal and Annual Stem Respiration of Scots Pine Trees under Boreal Conditions. *Annals of Botany*, 2004, v. 94, iss. 6, pp. 889–896. DOI: 10.1093/aob/mch218
- [26] Bohne G., Woehlecke H., Ehwald R. Water Relations of the Pine Exine. *Annals of Botany*, 2005, v. 96, iss. 2, pp. 201–208. DOI: 10.1093/aob/mci169
- [27] Wennström U., Bergsten U., Nilsson J.-E. Seedling establishment and growth after direct seeding with *Pinus sylvestris*: effects of seed type, seed origin, and seeding year. *Silva Fennica*, 2007, v. 41, iss. 2, pp. 299–314. DOI: 10.14214/sf.298
- [28] Raevskiy B.V. *Osobennosti vegetativnogo rosta klonov sosny obyknovennoy v Karelii* [Features of vegetative growth of Scots pine clones in Karelia]. *Lesnoy Zhurnal (Russian Forestry Journal)*, 2013, no. 4, pp. 7–15.
- [29] Starova N.V., Yanbaev Yu.A., Yumadilov N.Kh., Adler E.N., Dukharev V.A., Shigapov Z.Kh. *Geneticheskaya izmenchivost' sosny obyknovennoy v vozrastnykh gruppakh* [Genetic variability of Scots pine in age groups]. *Genetika [Genetics]*, 1990, t. 26, no. 3, pp. 498–505.

- [30] Tarkhanov S.N. *Khvoynye nasazhdeniya v usloviyakh atmosfernogo zagryazneniya* [Coniferous plantations in conditions of atmospheric pollution]. *Lesnoe khozyaystvo* [Forestry], 2004, no. 3, p. 18.
- [31] Gorelov A.N., Besschetnova N.N., Besschetnov V.P. Comparative assessment of the taxation indicators of plus trees of Scots pine on a forest seed plantation. *Conifers of the boreal area*, 2023, v. 40, no. 7 (special), pp. 577–584.
- [32] Vilkov M.V., Besschetnova N.N., Besschetnov V.P., Ornatskiy A.N. *Vyrashchivanie sazhentsev sosny gornoy (Pinus mugo) v Nizhegorodskoy oblasti* [Growing mountain pine (*Pinus mugo*) seedlings in the Nizhny Novgorod region]. *Aktual'nye problemy razvitiya lesnogo kompleksa. Materialy XVIII Mezhdunarodnoy nauchno-tekhnicheskoy konferentsii* [Current problems of development of the forestry complex. Materials of the XVIII International Scientific and Technical Conference], Vologda, December 1, 2020. Ed. C.M. Khamitova. Vologda: Vologda State University, 2020, pp. 13–15.
- [33] Khramova O.Yu., Vilkov M.V. *Rost i razvitie sazhentsev sosny gornoy (Pinus mugo) pri introduktsii v Nizhegorodskuyu oblast'* [Growth and development of mountain pine (*Pinus mugo*) seedlings during introduction into the Nizhny Novgorod region]. *Molodezhnyy Agroforum–2021: mater. Mezhdunarodnoy nauchno-prakticheskoy internet-konferentsii molodykh uchenykh* [Youth Agroforum–2021: material. International scientific and practical Internet conference of young scientists], Nizhny Novgorod, February 11–12, 2021. Ed. N.Yu. Barmina. Nizhny Novgorod: Nizhny Novgorod State Agricultural Academy, 2021, pp. 230–236.
- [34] Boratyńska K., Jasińska A.K., Boratyński A. Taxonomic and geographic differentiation of *Pinus mugo* complex on the needle characteristics. *Systematics and Biodiversity*, 2015, v. 13, iss. 6, pp. 1–15. DOI:10.1080/14772000.2015.1058300
- [35] Boratyńska, K., Muchewicz, E., Drojma, M. *Pinus mugo* Turra geographic differentiation based on needle characters. *Dendrobiology*, 2004, v. 51, pp. 9–17.
- [36] Besschetnova N.N., Besschetnov V.P. *Izmenchivost' morfometricheskikh priznakov khvoi na klonovoy plantatsii plyusovykh derev'ev sosny obyknovnoy (Pinus sylvestris L.)* [Variability of morphometric characteristics of needles on a clonal plantation of plus trees of Scots pine (*Pinus sylvestris* L.)]. *Vavilovskiy zhurnal genetiki i selektsii* [Vavilov J. of Genetics and Breeding], 2017, t. 21, no. 2, pp. 198–206. DOI: 10.18699/VJ17.237
- [37] Golikov D.Yu., Montile A.A., Shavnin S.A. *Sezonnye dinamiki elektricheskogo impedansa i elektroemkosti prikambial'nogo kompleksa tkaney stvola derev'ev sosny obyknovnoy, proizrastayushchikh v drevostoe estestvennogo proiskhozhdeniya* [Seasonal dynamics of electrical impedance and electrical capacity of the precambial complex trunk tissues of Scots pine trees growing in a forest stand of natural origin]. *Vestnik Povolzhskogo gosudarstvennogo tekhnologicheskogo universiteta. Seriya: Les. Ekologiya. Prirodopol'zovanie* [Bulletin of the Volga State Technological University. Series: Forest. Ecology. Nature Management], 2022, no. 4 (56), pp. 19–31.
- [38] Ryyppö A.M., Sutinen S., Mäenpää M., Vapaavuori E., Repo T. Frost damage and recovery of Scots pine seedlings at the end of the growing season. *Canadian J. of Forest Research*, 2011, v. 27, iss. 9, pp. 1376–1382. DOI: 10.1139/x97-108
- [39] Celiński K., Chudzińska Ewa., Gmur A., Piosik L., Wojnicka-Półtorak A. Cytological characterization of three closely related pines – *Pinus mugo*, *P. uliginosa* and *P. × rhaetica* from the *Pinus mugo* complex (Pinaceae). *Biologia*, 2019, v. 74, iss. 7, pp. 751–756. DOI:10.2478/s11756-019-00201-6
- [40] Schonbeck L., Gessler A., Hoch G., McDowell N.G., Rigling A., Schaub M., Li M.-H. Homeostatic levels of nonstructural carbohydrates after 13 yr of drought and irrigation in *Pinus sylvestris*. *New Phytologist*, 2018, v. 219, pp. 1314–1324. DOI: 10.1111/nph.1522
- [41] Tarkhanov S.N., Biryukov S.Yu. *Vliyanie atmosfernogo zagryazneniya na fotosinteziruyushchiy apparat Pinus sylvestris L. i Picea obovata Ledeb. × p. abies (L.) karst. v severnoy tayge basseyna Severnoy Dviny* [Effect of atmospheric pollution on the photosynthetic apparatus of *Pinus sylvestris* L. and *Picea obovata* Ledeb. × *p. abies* (L.) karst. in the northern taiga of the Northern Dvina basin]. *Lesnoy Zhurnal (Russian Forestry Journal)*, 2014, no. 1 (337), pp. 20–26.
- [42] Wachowiak W., Baczkiewicz A., Celiński K., Prus-Głowacki W. Species-specific chloroplast DNA polymorphism in the trnV-rbcL region in *Pinus sylvestris* and *P. mugo*. *Dendrobiology*, 2004, v. 51, pp. 67–72.
- [43] Peguero-Pina J.J., Morales F., Gil-Pelegrín E. Frost damage in *Pinus sylvestris* L. stems assessed by chlorophyll fluorescence in cortical bark chlorenchyma. *Annals of Forest Science*, 2008, v. 65, no. 8, article numb. 813, number of page(s) 6, pp. 1–6. DOI: 10.1051/forest:2008068
- [44] Minghetti P., Nardi E. Lectotypification of *Pinus mugo* Turra (Pinaceae). *Taxon*, 1999, v. 48, no. 3, pp. 465–469. DOI: 10.2307/1224557
- [45] Popovic M. Growth of the Mountain Pine (*Pinus mugo*, Turr.) in Yugoslavia. *J. of Biogeography*, 1976, v. 3, no. 3, pp. 261–267. DOI: 10.2307/3038016
- [46] Nardi E., Minghetti P. Proposal to Conserve the Name *Pinus mugo* (Pinaceae) with a Conserved Type. *Taxon*, 1999, v. 48, no. 3, pp. 571–572. DOI: 10.2307/1224568
- [47] Charra-Vaskou K., Mayr S. The hydraulic conductivity of the xylem in conifer needles (*Picea abies* and *Pinus mugo*). *J. of Experimental Botany*, 2011, v. 62, no. 12, pp. 4383–4390. DOI:10.1093/jxb/err157
- [48] Dai L., Palombo C., Van Gils H., Rossiter D.G., Tognetti R., Luo G. *Pinus mugo* Krummholz Dynamics During Concomitant Change in Pastoralism and Climate in the Central Apennines. *Mountain Research and Development*, 2017, v. 37, no. 1, pp. 75–86. DOI:10.1659/MRD-JOURNAL-D-14-00104.1
- [49] Poluyakhtov K.K. *Lesorastitel'noe rayonirovanie Gor'kovskoy oblasti* [Forest vegetation zoning of the Gorky region]. *Biologicheskie osnovy povysheniya produktivnosti i okhrany lesnykh, lugovykh i vodnykh fitotsenozov Gor'kovskogo Povolzh'ya* [Biological foundations for increasing the productivity and protection of forest, meadow and aquatic phytocenoses of the Gorky Volga region]. Gorky: Gorky State University, 1974, pp. 4–20.
- [50] Shlyk A.A. *O spektrofotometricheskom opredelenii khlorofillov a i b* [On the spectrophotometric determination of chlorophylls a and b]. *Biokhimiya* [Biochemistry], 1968, t. 33, iss. 2, pp. 275–285.
- [51] Lichtenthaler H.K., Wellburn A.R. Determinations of total carotenoids and chlorophylls a and b of leaf extracts in different solvents. *Biochemical Society Transactions*, 1983, v. 11, no 6, pp. 591–592. DOI: 10.1042/bst0110591
- [52] Porra R.G., Thomson W.A., Kriedemann P.E. Determination of accurate extinction coefficients and simultaneous equations for assaying chlorophylls a and b extracted with four different solvents: verification of the concentration of chlorophyll standards by atomic absorption spectroscopy. *Biochimica et Biophysica Acta*, 1989, v. 975, iss. 3, pp. 384–394. DOI: 10.1016/S0005-2728(89)80347-0

- [53] Wellburn A.R. The Spectral Determination of Chlorophylls a and b, as well as Total Carotenoids, Using Various Solvents with Spectrophotometers of Different Resolution. *J. of plant physiology*, 1994, v. 144, iss. 3, pp. 307–313. DOI: 10.1016/S0176-1617(11)81192-2
- [54] Rosenthal S.I., Camm E.L. Photosynthetic decline and pigment loss during autumn foliar senescence in western larch (*Larix occidentalis*). *Tree Physiology*, 1997, v. 17, no.12, pp. 767–775. DOI: 10.1093/treephys/17.12.767
- [55] Casella E., Sinoquet H. Botanical determinants of foliage clumping and light interception in two-year-old coppice poplar canopies: assessment from 3-D plant mock-ups. *Annals of Forest Science*, 2007, v. 64, no. 4. pp. 395–404. DOI: 10.1051/forest:2007016
- [56] Babaev R.N. *Osnovnye statistiki ploshchadi listovykh plastin raznykh vidov i form berezy v usloviyakh introduktsii* [Basic statistics of the area of leaf blades of different types and forms of birch under conditions of introduction]. *Vestnik Nizhegorodskoy gosudarstvennoy sel'skokhozyaystvennoy akademii* [Bulletin of the Nizhny Novgorod State Agricultural Academy], 2021, no. 4(32), pp. 5–13.
- [57] Kul'kova A.V. *Zavisimost' protsessov regeneratsii ot fiziologicheskogo sostoyaniya pobegov na primere Picea pungens Engelm., f. Glauca v usloviyakh introduktsii v Nizhegorodskuyu oblast'* [Dependence of regeneration processes on the physiological state of shoots using the example of *Picea pungens* Engelm., f. *Glauca* under conditions of introduction to the Nizhny Novgorod region]. *Vestnik Nizhegorodskoy gosudarstvennoy sel'skokhozyaystvennoy akademii* [Bulletin of the Nizhny Novgorod State Agricultural Academy], 2022, no. 3(35), pp. 33–42.
- [58] Lian Yong-Shan, Zhen Hong. A research on dividing infraspecific patterns within *Hippophae rhamnoides* L. ssp. *Sinensis* Roux in Gansu province. *Proceedings of International Symposium on see buckthorn (Hippophae rhamnoides L.)*. Xian, China, 1989, October 19–23. Xian, 1989, pp. 31–34.
- [59] Noll F., Lyons C.K. A novel method for manually falling trees. *The Forestry Chronicle*, 2010, v. 86, no. 5, pp. 608–613. DOI: 10.5558/tfc86608-5
- [60] Dumais D., Prévost M. Physiology and growth of advance *Picea rubens* and *Abies balsamea* regeneration following different canopy openings. *Tree Physiology*, 2014, v. 34, iss. 2, pp. 194–204. DOI: 10.1093/treephys/tpt114
- [61] Benomar L., Lamhamedi M.S., Villeneuve I., Rainville A., Beaulieu J., Bousquet J., Margolis H.A. Fine-scale geographic variation in photosynthetic-related traits of *Picea glauca* seedlings indicates local adaptation to climate. *Tree Physiology*, 2015, v. 35, iss. 8, pp. 864–878. DOI: 10.1093/treephys/tpv054
- [62] Kul'kova A.V. *Korrelatsiya pokazateley korneobrazovaniya i postregeneratsionnogo razvitiya cherenkov eli evropeyskoy (Picea abies (L.) h. karst.)* [Correlation of root formation indicators and post-regeneration development of cuttings of Norway spruce (*Picea abies* (L.) h. karst.)]. *Lesnoy Zhurnal (Russian Forestry Journal)*, 2018, no. 3 (363), pp. 28–36.
- [63] Yesichev A.O., Besschetnova N.N., Besschetnov V.P., Babich N.A., Kentbayev E.Zh., Kentbayeva B.A. *Soderzhanie i balans zapasnykh veshchestv v pobegakh listvennitsy sibirskoy v usloviyakh reintroduktsii v Nizhegorodskuyu oblast'* [Content and balance of storage compounds in Siberian larch shoots under its reintroduction in Nizhny Novgorod region]. *Lesnoy vestnik / Forestry Bulletin*, 2022, vol. 26, no. 1, pp. 17–27. DOI: 10.18698/2542-1468-2022-1-17-27
- [64] Kul'kova A.V. *Mezhvidovaya izmenchivost' predstaviteley roda El' (Picea A. Dietr.) po sodержaniyu krakhmala v tkanyakh pobegov* [Interspecific variability of representatives of the spruce genus (*Picea* A. Dietr.) in terms of starch content in shoot tissues]. *Vestnik Nizhegorodskoy gosudarstvennoy sel'skokhozyaystvennoy akademii* [Bulletin of the Nizhny Novgorod State Agricultural Academy], 2016, no. 3 (11), pp. 28–34.
- [65] Kul'kova A.V. *Effektivnost' stimuliruyushchey obrabotki cherenkov eli Konika (Picea glauca) biologicheskimi aktivnymi preparatami* [The effectiveness of stimulating treatment of cuttings of Konika spruce (*Picea glauca*) with biologically active preparations]. *Vestnik Nizhegorodskoy gosudarstvennoy sel'skokhozyaystvennoy akademii* [Bulletin of the Nizhny Novgorod State Agricultural Academy], 2020, no. 4 (28), pp. 10–19.
- [66] Babaev R.N. *Soderzhanie krakhmala v tkanyakh pobegov raznykh vidov berezy v usloviyakh introduktsii* [Starch content in the tissues of shoots of different types of birch under conditions of introduction]. *Rost i vosproizvodstvo nauchnykh kadrov v APK: Rossiyskaya natsional'naya nauchno-prakticheskaya internet-konferentsiya dlya obuchayushchikhsya i molodykh uchenykh* [Growth and reproduction of scientific personnel in the agro-industrial complex: Russian national scientific and practical Internet conference for students and young scientists]. Ed. N.N. Countlessnova. Nizhny Novgorod: Nizhny Novgorod State Agricultural Academy, 2020, pp. 74–78.

Authors' information

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

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

Received 15.03.2024

Approved after review 27.03.2024.

Accepted for publication 15.05.2024.

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

КОМПЛЕКС ПОЧВЕННЫХ МИКРОМИЦЕТОВ В ЛЕСНОЙ ПОДСТИЛКЕ ЛИСТВЕННЫХ НАСАЖДЕНИЙ ПРИ ЕСТЕСТВЕННОМ ЛЕСОВОЗОБНОВЛЕНИИ СРЕДНЕТАЕЖНЫХ ЛЕСОВ РЕСПУБЛИКИ КОМИ

Ю.А. Виноградова✉, В.А. Ковалева, Т.А. Пристова

ФГБУН «Институт биологии Коми Научного центра Уральского отделения Российской академии наук» (ИБ ФИЦ Коми НЦ УрО РАН), Россия, 167982, г. Сыктывкар, ГСП-2, ул. Коммунистическая, д. 28

vinogradova@ib.komisc.ru

Представлены материалы изучения количественных показателей (мощности, запасов, химического состава), состава, структуры биомассы микроскопических грибов, видового разнообразия культивируемых микромицетов лесной подстилки среднетаежных разновозрастных лиственных насаждений послерубочного происхождения. Показано, что биомасса грибов в лесной подстилке лиственных насаждений варьирует в пределах $0,030 \pm 0,00$ — $2,73 \pm 2,25$ мг/г абсолютно сухой почвы (а. с. п.), в структуре биомассы в осенний период доминирует мицелий с функционально активными гифами (70–98 %), в летний период — споры грибов (30–100 %). Из подстилок исследуемых лесных насаждений выделено 39 видов микромицетов (с учетом стерильного мицелия). Определено, что отдел *Mucoromycota* представлен шестью видами из родов *Mucor*, *Mortierella*, *Umbelopsis*. В отделе *Ascomycota* доминирует по числу видов род *Penicillium* (15 видов), менее представлены род *Trichoderma* (4 вида), *Mucor* (3 вида), *Chaetomium* (3 вида), остальные роды — *Acremonium*, *Alternaria*, *Aureobasidium*, *Cladosporium*, *Paecilomyces*, *Umbelopsis*, *Pseudogymnoascus*, *Talaromyces*, *Verticillium* представлены единичными видами. Установлено, что структура комплекса микромицетов исследуемой лесной подстилки лиственных насаждений представлена в основном случайными (44–63 %) и редкими видами (29–31 %), доля частых видов составляет 4–19 %, доминирующих — 4–6 %. В лесной подстилке осиново-березового и березово-елового насаждений наиболее обильно выделялся стерильный мицелий (32–37 %), в подстилке осиново-березового насаждения — *Pseudogymnoascus pannorum* (10 %), в подстилке березово-елового — *Penicillium thomii* (16 %).

Ключевые слова: вторичные лиственные насаждения, лесная подстилка, биомасса грибов, микромицеты

Ссылка для цитирования: Виноградова Ю.А., Ковалева В.А., Пристова Т.А. Комплекс почвенных микромицетов в лесной подстилке лиственных насаждений при естественном лесовозобновлении среднетаежных лесов Республики Коми // Лесной вестник / Forestry Bulletin, 2024. Т. 28. № 4. С. 19–30.

DOI: 10.18698/2542-1468-2024-4-19-30

Рубка таежных хвойных лесов с последующим восстановлением лиственными породами приводит к изменению качественного состава опада, скорости его разложения при формировании лесной подстилки [1]. Растительный опад в процессе формирования лесной подстилки проходит сложный многоступенчатый биологический процесс под действием микроорганизмов, при котором сложные органические соединения не только разлагаются, но и синтезируются новые [1–4]. Скорость развития этого процесса и его господствующее направление зависят от ботанического состава основной массы подвергающегося деструкции материала и гидротермических условий [5, 6]. Известно, что в лиственных лесах эти процессы происходят активнее, чем в хвойных [7, 8]. Ключевую роль в процессе разложения растительного опада и формировании подстилки играют почвенные грибы, которые активно выделяют различные органические кислоты [9], что

способствует трансформации трудноразлагаемого растительного материала [10–14].

Изучение скорости деструкции растительного опада, значения микромицетов в формировании лесной подстилки проведено в среднетаежных лесах Республики Коми в основном для хвойных лесов [15–17]. В производных лиственных насаждениях эти исследования малочисленны и относятся преимущественно к фитоценозам на начальных стадиях постантропогенной сукцессии — в молодняке [18]. При этом в разновозрастных лиственных и хвойно-лиственных насаждениях процессы формирования лесной подстилки, как правило, рассматривались без исследований участия микромицетов, ограничиваясь определением запасов подстилки и скорости разложения 5–8 компонентов растительного опада [15, 19, 20]. Изучение микологического состава микромицетов в процессе формирования лесной подстилки проведены нами ранее на более ранних этапах сукцессионного развития исследуемых лиственных насаждений [18].

Цель работы

Цель работы — выявление особенностей комплекса почвенных микромицетов и их распределение в лесной подстилке лиственных насаждений в процессе естественного лесовозобновления среднетаежных лесов Республики Коми.

Материалы и методы

Исследования проводились в 2021 г. на территории Кытловского участкового лесничества Государственного учреждения Республики Коми «Железнодорожное лесничество» (далее — Кытловское лесничество), расположенного в Княжпогостском районе Республики Коми (62°19' с. ш. 50°55' в. д.). Объектами изучения были 27-летнее березово-еловое насаждение разнотравного типа (состав древостоя 6Б4Е+С ед.Ос) и 55-летнее осиново-березовое насаждение чернично-разнотравного типа (6Ос3Б1Еед.Пх).

Перечет проведен в 2020 г. по общепринятой в лесной таксации методике [21]. Исследуемые фитоценозы формировались после рубок, проведенных в 1980–1990-е годы. До рубки на месте исследуемых насаждений произрастали ельник чернично-долгомощный и ельник черничный с составом древостоя 8Е2Б, подроста — 10Е, возрастом 150...190 лет, по данным Кытловского лесничества. Почва — торфянисто-подзолисто-глеватая. Напочвенный покров исследуемых фитоценозов довольно мозаичен. Исследуемые лесные экосистемы отличаются по видовому составу и количеству видов, формирующих напочвенный покров. Общее количество растений, произрастающих в исследуемых фитоценозах, составляет 44 вида, в том числе 34 вида растений напочвенного покрова. Более подробная характеристика исследуемых объектов приведена ранее [22].

Древостой березово-елового насаждения представлен доминирующими видами: березой повислой (*Betula pendula* Roth), березой пушистой (*B. pubescens* Ehrh.), елью сибирской (*Picea obovata* Ledeb.) и единичными экземплярами осины обыкновенной (*Populus tremula* L.), сосны обыкновенной (*Pinus sylvestris* L.), пихты сибирской (*Abies sibirica* Ledeb.). Напочвенный покров данного насаждения насчитывает 28 видов растений с общим проективным покрытием (ОПП) до 90 %, в том числе травяно-кустарничкового яруса — 40, мохового — 50 %. Из кустарничков доминируют черника обыкновенная (*Vaccinium myrtillus* L.) и брусника обыкновенная (*V. vitis-idaea* L.), из трав — ситник нитевидный (*Juncus filiformis* L.) и полевица тонкая (*Agrostis tenuis* Sibth.), мхов — кукушкин лен (*Polytrichum commune* Hedw.), сфагнум магелланский (*Sphagnum magellanicum* Brid.), гилокомиум блестящий (*Hylocomium splen-*

dens (Hedw.) Bruch et al.). Спецификой напочвенного покрова исследуемого фитоценоза является то, что на месте трелевочных волоков развивается моховой покров — преимущественно из *Sphagnum magellanicum* и *Polytrichum commune*, проективное покрытие которых достигает 80 %.

Древостой осиново-березового насаждения состоит из *Populus tremula*, *Betula pendula*, *B. pubescens*, *Picea obovata*, единично *Abies sibirica*. Общее проективное покрытие растений напочвенного покрова осиново-березового насаждения, произрастающего на торфянисто-подзолисто-глеватой почве, сформированного 27 видами, составляет 60 %, в том числе проективное покрытие травяно-кустарничкового яруса — 50 %, мохового — 10 %. В травяно-кустарничковом ярусе доминируют *Vaccinium myrtillus* и *V. vitis-idaea*, часто — кислица обыкновенная (*Oxalis acetosella* L.), золотая розга (*Solidago virgaurea* L.), костяника каменистая (*Rubus saxatilis* L.), сныть обыкновенная *Aegopodium podagraria* L. Моховой покров в осиново-березовом фитоценозе развит неравномерно, встречаются участки с доминирующими *Polytrichum commune* или *Sphagnum magellanicum*. В подросте обоих фитоценозов доминируют *Betula pendula*, *B. pubescens* и *Picea obovata* разной высоты. Подлесок исследуемых фитоценозов состоит из ивы козьей (*Salix caprea* L.), рябины обыкновенной (*Sorbus aucuparia* L.), шиповника иглистого (*Rosa acicularis* Lindl.) (высотой до 0,5 м) и единичных экземпляров жимолости Палласа (*Lonicera pallasii* Ledeb.) (от 0,6 до 1 м), в березово-еловом молодняке дополнительно — ивы пятитычинковой (*Salix pentandra* L.) и ивы филиколистной (*S. philicifolia* L.).

Для определения запасов и изучения микромицетного комплекса в лиственных насаждениях отбирали лесную подстилку шаблоном площадью 400 см² в десятикратной повторности для каждого исследования [23] с соблюдением условий, препятствующих их контаминации [24]. Лесную подстилку разделяли на подгоризонты *L* и *F+H* с удалением минеральных примесей, живой части мхов, корней деревьев, кустарничков и трав. Образцы подстилки взвешивали, затем высушивали при температуре 105 °С до абсолютно сухого веса (а. с. в.) и отбирали пробы для проведения химического анализа. В экоаналитической лаборатории ИБ ФИЦ Коми НЦ УрО РАН в лесной подстилке определена концентрация N, Ca, S, Mg, K, Na, Fe, Al, P. Образцы подстилки до начала микологических исследований хранили в морозильной камере при температуре –18...–20 °С. Всего было проанализировано 60 образцов.

Для выявления разнообразия культивируемых микроскопических грибов использовали метод серийных разведений почвенной суспензии. Выде-

**Содержание N и элементов минерального питания
в подстилке березово-елового и осиново-березового насаждений, %**
N content and mineral nutrition elements in birch-spruce and aspen-birch stands litter, %

Подгоризонт подстилки	N	Ca	Fe	Al	K	Mg	P	S	Na
Березово-еловое насаждение									
<i>L</i>	1,29	0,55	0,37	0,13	0,22	0,14	0,12	0,12	0,02
<i>F+H</i>	0,57	0,42	0,58	0,73	0,38	0,47	0,09	0,04	0,13
Осиново-березовое насаждение									
<i>L</i>	1,44	0,80	0,50	0,14	0,30	0,15	0,10	0,10	0,02
<i>F+H</i>	0,27	0,43	0,82	0,80	0,35	0,42	0,07	0,04	0,16

ление и учет микромицетов осуществляли на твердых питательных средах (среда Чапека (рН = 4,5), среда Гетчинсона, глюкозо-пептонный дрожжевой агар, сусло-агар). Почвенные суспензии готовили в трехкратной повторности с трехкратным приготовлением разведений и трехкратным посевом на чашки Петри из каждого разведения.

Таксономическую принадлежность микромицетов идентифицировали с использованием современных определителей [25–30]. Названия и положения таксонов унифицировали с помощью базы данных CBS [31] и MucosaBank [32]. Для характеристики комплекса микромицетов использовали индексы видового разнообразия Шеннона (*H*), выравнимости Пиелу (*E*), доминирования Симпсона (*D*) [33], а также показатели частоты встречаемости и относительного обилия видов [34]. Статистическую обработку полученных данных проводили с помощью плагина программы «ExcelToR» [35].

Результаты и обсуждение

Изменения структуры и состава микробных ценозов (микромицетов и бактерий) в процессе формирования лиственных лесов на месте вырубок происходят в основном в подстилке и верхних слоях почвы, в нижележащих слоях колебания микрофлоры менее значительны [36]. Важными количественными показателями, которые отражают интенсивность разложения лесной подстилки и косвенно указывают на деятельность микроорганизмов, являются мощность и запасы. Подстилка исследуемых лиственных насаждений различается и характеризуется неоднородностью по морфологическому и минеральному составу. Мощность подстилки в березово-еловом насаждении составляет 11...13 см и 6...9 см — в осиново-березовом. Запасы подстилки в березово-еловом насаждении составляют 45,8 т/га и отличаются неоднородностью и вариабельностью ($CV = 25\%$), в осиново-березовом насаждении — 37,5 т/га, а ее распределение более

равномерно ($CV = 10\%$). Исследуемые образцы лесной подстилки сильнокислые, значение рН = 3,09...3,44. В морфологической структуре в лесной подстилке обоих насаждений выделяется два подгоризонта — верхний (*L*) и нижний (*F+H*). В нижнем, более разложившемся, слое сосредоточены основные запасы подстилки — свыше 60 % ее общей массы.

При характеристике лесной подстилки лиственных насаждений послерубочного происхождения важным показателем является их минеральный состав. Свежие вырубки обогащаются минеральными веществами за счет поступления большого количества порубочных остатков, которые оказывают влияние на последующее развитие лиственного насаждения и формирование лесной подстилки. Подгоризонты подстилки различаются по минеральному составу. В березово-еловом насаждении в верхнем слое подстилки содержание минеральных элементов в порядке убывания следующее: $N > Ca > Fe > K > Mg > Al > P > S > Na$, в нижнем: $Al > Fe > N > Mg > Ca > K > P > Na > S$ (табл. 1). В осиново-березовом насаждении эта последовательность в подгоризонте *L* схожа с березово-еловым, а в подгоризонте *F+H* немного отличается: $Al > Fe > N > Ca > K > Mg > Na > P > S$. Последовательность содержания химических элементов в подгоризонте *L* схожа в обоих насаждениях и характеризуется преобладанием N, Ca и K. В нижних подгоризонтах исследуемых образцов подстилки доминируют Al и Fe. Особенностью подстилки осиново-березового насаждения является более высокое содержание Ca и суммы определяемых элементов в верхнем слое. Это обусловлено превалированием осины в составе древостоя и листовом опаде [37]. Известно, что опад осины отличается высоким содержанием Ca [38].

Ежегодно при разложении верхнего подгоризонта подстилки часть минеральных элементов переходит в нижние подгоризонты гумификации и ферментации (*F+H*), остальные — вымываются

за ее пределы и потребляются растениями. Из нижнего подгоризонта подстилки элементы перемещаются в минеральные слои почвы, потребляются растениями и микроорганизмами, а часть выносятся за пределы корнеобитаемого слоя вследствие водной миграции [38]. За счет этого запасы и концентрация элементов минерального питания в верхнем и нижнем подгоризонтах исследуемых образцов подстилки дифференцированы. В верхнем подгоризонте лесной подстилки накапливается не более 20 % всех минеральных элементов органического горизонта, несмотря на то что суммарная концентрация элементов минерального питания и N в слое L выше, чем в F+H (см. табл. 1). Такое различие обусловлено тем, что большая часть запасов исследуемых образцов подстилки сосредоточена в нижнем слое. Подгоризонты отличаются сочетанием в составе доминирующих элементов: для верхнего подгоризонта подстилки характерно $N > Ca > K$, для нижнего — $Al > Fe > N$. Более высокие концентрации Al и Fe в нижнем подгоризонте связаны с особенностями трансформации химического состава растительного опада при разложении (см. табл. 1). В процессе деструкции из растительных остатков в первую очередь высвобождаются биогенные элементы необходимые для роста и развития растений, микроорганизмов. Поэтому относительное увеличение содержания Al и Fe в нижних подгоризонтах подстилки обусловлено низкой потребностью живых организмов в этих элементах, их инертностью и слабой водной миграцией [39]. Такие элементы как K, P, Ca, Mg лучше растворяются в воде и могут выщелачиваться из растительных остатков без их глубокого разложения. Основные биофильные элементы (N, Ca, K) энергично потребляются и накапливаются в отмершей растительной массе, а также в биомассе микроорганизмов и лишь частично выносятся за пределы подстилки.

Сопоставление запасов минеральных элементов в лесной подстилке и годичном опаде позволяет оценить скорость их оборота в подстилке исследуемых листовых насаждений. Расчет показателя скорости оборота элементов минерального питания позволил выделить элементы с высокой скоростью оборота (менее 5 лет) — Ca, Mn, S, K, средней (от 5 до 10 лет) — N, Mg, P и низкой (от 10 до нескольких десятков лет) — Na, Fe, Al. Согласно проведенным подсчетам, элементы, поступающие в течение года с наземным растительным опадом в подстилку исследуемых листовых насаждений, полностью выводятся из нее в среднем за 25...30 лет.

Комплекс культивируемых микромицетов, представленный в исследуемых образцах подстилки осиново-березового насаждения, характеризуется достаточно высоким таксономическим

разнообразием ($H = 2,67$), высокими значениями выравненности ($E = 0,77$) и высокими значениями индекса Симпсона ($S = 0,87$). Из подстилки в целом (с учетом L и F+H) осиново-березового насаждения за период май — сентябрь выделено 32 вида грибов (с учетом стерильного мицелия) из 13 родов (табл. 2). Основу микоценозов составляют представители отдела *Ascomycota* — 27 видов из 10 родов. По видовой насыщенности преобладает род *Penicillium* (12 видов, 38 % общего количества выделенных видов), который доминирует в почвах бореальной зоны [17, 40–42]. Род *Trichoderma* включает в себя четыре вида, род *Chaetomium* — три вида, род *Cladosporium* — два вида, род *Acremonium* — один вид, род *Alternaria* — один вид, род *Gliocladium* — один вид, род *Aureobasidium* — один вид, род *Paecilomyces* — один вид, род *Verticillium* — один вид, род *Pseudogymnoascus* — один вид (см. табл. 2). Отдел *Mucoromycota* представлен шестью видами, что составляет 19 % общего количества выделенных видов с ведущими родами *Mucor* (три вида), *Umbelopsis* (два вида), *Mortierella* (один вид). Неидентифицированные изоляты стерильного мицелия рассмотрены в составе групп стерильного светло- и темноокрашенного мицелия по аналогии с работой [43]. В целом структура микромицетного комплекса исследуемых образцов подстилки по частоте встречаемости [34] представлена случайными видами — 44 %, редкими — 31 % и частыми — 19 %, на долю доминирующих видов приходится всего 6 %.

Группу доминантов (по частоте встречаемости) составляет *Chaetomium globosum* (77 %), *Mycelia sterilla* c/o (95 %). Высокое доминирование активного целлюлозолитика *Chaetomium globosum* в подстилке осиново-березового насаждения обусловлено высокой конкурентной способностью, связанной с активным образованием плодовых тел, высокой динамикой скорости роста, целлюлазной активностью, а также выделением токсичных метаболитов, на что указывают литературные данные и результаты исследований их морфолого-культуральных и биодеструктивных свойств [44].

По относительному обилию в лесной подстилке доминируют *Mycelia sterilla* (32 %), *Pseudogymnoascus pannorum* (10 %). Высоким обилием *Mycelia sterilla*, *Pseudogymnoascus pannorum* характеризуются также органико-аккумулятивные слои вторичных листовых насаждений по данным других исследователей [45]. Вид *Pseudogymnoascus pannorum* — типичный представитель почвенных микоценозов в наземных экосистемах таежной зоны [17, 18, 45]. В начале летнего периода (в майских пробах) в подстилке осиново-березового насаждения в число доминирующих

Т а б л и ц а 2

**Видовое разнообразие микромицетов и их относительное обилие (%)
в лесной подстилке лиственных насаждений (по данным 2021 г.)**

**Species diversity of micro-mycetes and their relative abundance (%)
in deciduous stands forest litter (based on 2021 data)**

Вид микромицетов	Осиново-березовое насаждение			Березово-еловое насаждение		
	07.06	08.08	24.09	07.06	08.08	24.09
<i>Отдел Mucoromycota</i>						
<i>Mortierella alpina</i> Peyron	0	1,83	0	0	0	0
<i>Mucor hiemalis</i> Wehmer	0	0	0,46	0	2,02	0
<i>Mucor racemosus</i> Fresen.	0	0	0	5,56	0	0
<i>Mucor sp.</i>	0	0	0	0	0	3,75
<i>Umbelopsis isabellina</i> W.Gams	7,79	0,92	6,45	0	0	0
<i>Umbelopsis ramanniana</i> W.Gams	2,60	1,83	2,76	0	0	0
<i>Отдел Ascomycota</i>						
<i>Acremonium sp.</i>	1,30	0	0	0	0	0
<i>Alternaria alternata</i> (Fr.) Keissl.	0	0	5,99	0	0	0
<i>Aureobasidium pullulans</i> G. Arnaud	0	0	8,76	0	5,05	0
<i>Chaetomium globosum</i> Kunze	9,09	7,34	5,07	0	0	0
<i>Chaetomium spirale</i> Zopf	3,90	0,92	4,15	0	0	0
<i>Chaetomium sp.</i>	7,79	1,83	1,38	0	0	0
<i>Cladosporium cladosporioides</i> (Fresen.) G.A. de Vries	0	1,83	7,83	0	0	0
<i>Cladosporium herbarum</i> (Pers.) Link	0	0	4,61	0	2,02	0
<i>Gliocladium sp.</i>	2,60	0	0	0	0	0
<i>Paecilomyces variotii</i> Bainier	0	0	0	0	2,02	3,75
<i>Penicillium brevicompactum</i> Dierckx	2,60	0	0	0	0	0
<i>Penicillium decumbens</i> Thom	1,30	0,92	0,46	0	2,02	3,75
<i>Penicillium digitatum</i> (Pers.) Sacc.	0	0	0	0	0	1,25
<i>Penicillium canescens</i> Sopp	1,30	0,92	2,30	5,56	2,02	10,00
<i>Penicillium camemberti</i> Sopp	0	0,92	0,46	0	1,01	0
<i>Penicillium italicum</i> Wehmer	1,30	0	0,92	0	0	0
<i>Penicillium lanosum</i> Westling	2,60	0	0,92	0	2,02	0
<i>Penicillium lapidosum</i> Raper & Fennell	0	0	0	0	3,03	0
<i>Penicillium lividum</i> Westling	1,30	2,75	3,23	0	0	1,25
<i>Penicillium olivicolor</i> Pitt	0	0,92	0,92	0	4,04	5,00
<i>Penicillium raistrickii</i> G. Sm.	0	0	0,46	0	3,03	7,50
<i>Penicillium simplicissimum</i> Thom	2,60	0	0	0	0	0
<i>Penicillium thomii</i> K.M. Zaleski	2,60	4,59	6,45	0	23,23	11,25
<i>Penicillium verrucosum</i> Dierckx	0	0	0	0	0	2,50
<i>Penicillium sp.</i>	0	0,92	0,46	0	1,01	12,50
<i>Pseudogymnoascus pannorum</i> (Link) Minnis & D.L. Lindner	0	25,69	5,53	0	1,01	8,75
<i>Talaromyces diversus</i> (Raper & Fennell) Samson. N. Yilmaz & Frisvad	0	0	0	0	2,02	0
<i>Trichoderma aureoviride</i> Rifai	1,30	0	0,46	0	0	0
<i>Trichoderma koningii</i> Oudemans	2,60	0	2,76	0	0	0
<i>Trichoderma sympodanum</i> Kulik	1,30	3,67	0,46	16,67	1,01	0
<i>Trichoderma viride</i> Schumach.	6,49	1,83	1,38	5,56	1,01	0
<i>Verticillium sp.</i>	0	0,92	0	0	0	0
<i>Mycelia sterilla</i> светлоокрашенный (с/о)	37,66	39,45	25,35	66,67	38,38	28,75

входят следующие виды: *Chaetomium globosum*, *Umbelopsis isabellina*, *Mycelia sterilla* (с/о). К часто встречающимся относятся такие виды, как: *Chaetomium spirale*, *Cladosporium cladosporioides*, *Penicillium simplicissimum*, *Trichoderma koningii*, *Trichoderma viride*. К осени в структуре микромицетов происходят существенные изменения (см. табл. 2). Наряду с увеличением количества видов микромицетов до 26 по сравнению с началом летнего периода исчезают виды *Acremonium sp.*, *Gliocladium sp.*, *Penicillium simplicissimum*, появляются: *Mortierella alpina*, *Mucor hiemalis*, *Alternaria alternata*, *Aureobasidium pullulans*, *Penicillium camemberti*, виды рода *Cladosporium*. Возрастание величины биомассы микроскопических грибов отмечается также в осенний период ($0,45 \pm 0,32 \dots 2,22 \pm 1,75$ мг/г а. с. п.) по сравнению с раннелетним ($0,030 \pm 0,001$ мг/г а. с. п.). В разложении подстилок осиново-березового насаждения в возрасте 40 лет, по данным 2009 г., в весенне-осенний период активно участвовал вид *Aureobasidium pullulans* [18].

Лесная подстилка березово-елового насаждения в течение исследуемого периода в отличие от подстилки осиново-березового характеризуется невысоким разнообразием микромицетов ($H = 2,34$), однако высокими значениями выравненности (E) и индекса Симпсона (S) ($E = 0,74$, $S = 0,82$). Выделенно 22 вида микромицетов из восьми родов и стерильный мицелий. Отдел *Ascomycota* представлен 19 видами из семи родов. По видовой насыщенности преобладает род *Penicillium* — 12 видов (52 % общего количества выделенных видов), роды: *Trichoderma* — два вида, *Talaromyces* — один вид, *Paecilomyces* — один вид, *Pseudogymnoascus* — один вид (см. табл. 2). Наиболее обильны вид *Penicillium thomii* (16 %) и вид *Mycelia sterilla* (37 %). Основу микромицетного комплекса составляют случайные (63 %) и редкие (29 %) виды. По мнению некоторых авторов [41, 46, 47] увеличение доли редких и случайных видов в комплексах почвенных микромицетов способствует большей их стабильности в случае изменения экологических условий. Доминирует в лесной подстилке исследуемого березово-елового насаждения стерильный мицелий (68%).

Отличительной особенностью микологического состава лесной подстилки березово-елового насаждения, по данным на 2021 г., по сравнению с 2009 г. является отсутствие лигнинразрушающих видов рода *Chaetomium* (см. табл. 2). Активное участие видов рода *Chaetomium* с использованием биоактивных метаболитов [48] в процессе разложения подстилки в березово-еловом молодняке, отмеченное в 2009 г., связано с наличием большого количества разлагающихся порубочных и корневых остатков, оставшихся после рубки [18].

По-видимому, к 2021 г. порубочные остатки практически разложились, что привело к исчезновению этих видов в подстилке березово-елового насаждения. Известно, что на вырубках увеличивается количество лигнинразрушающих микроорганизмов, однако со временем их численность может значительно снижаться [49, 50]. В весенний период в лесной подстилке березняка наиболее обильны виды: *Mycelia sterilla* (с/о) (67 %) и *Trichoderma sympodanum* (17 %). При разложении подстилки (с мая по сентябрь) наибольшим количеством видов характеризуется летне-осенний период — 19 видов ($H = 3,82$) (табл. 3), что подтверждается более высокими значениями содержания биомассы микроскопических грибов ($2,24 \pm 1,40 \dots 2,73 \pm 2,25$ мг/г а. с. п.) в этот период в подстилке по сравнению с раннелетним ($0,77 \pm 0,08$ мг/г а. с. п.).

По данным Осано [51], в лиственных лесах Азии при разложении подстилки, в составе опада которой преобладают листья березы, также доминируют аскомицеты: виды родов *Trichoderma*, *Penicillium*, зигомицеты: виды родов *Mortierella*, *Mucor*, *Umbelopsis*. Эти виды отмечаются и в наших исследованиях, за исключением видов рода *Umbelopsis* (см. табл. 2).

По полученным данным установлены различия в микромицетных комплексах лесной подстилки осиново-березового и березово-елового насаждений ($K_s = 61$ %), обусловленные комплексом факторов, в том числе составом и возрастом древостоев, разнокачественностью растительного опада, скоростью его разложения в этих насаждениях и характеристикой подстилки [18, 37].

Результаты исследований, проведенные ранее на этих объектах, показали, что скорость разложения слоя L в подстилке березово-елового насаждения составляет $30,4 \pm 3,6$ % в год, что ниже, чем в осиново-березовом насаждении — $54,9 \pm 9,1$ % в год. При этом интенсивность разложения нижнего слоя подстилки ($F+H$) для исследуемых насаждений приблизительно одинакова — $14 \dots 16$ % в год [37]. Исходя из приведенных выше характеристик напочвенного покрова, подстилки и ее минерального состава различия между микромицетными комплексами вполне объяснимы. Подстилка осиново-березового насаждения по сравнению с березово-еловым отличается более низкими значениями показателя мощности и запасов, большим суммарным содержанием минеральных элементов и Са в верхнем почвенном слое L . В напочвенном покрове березово-елового насаждения сфагновых мхов больше на переувлажненных участках на месте трелевочных волоков.

Кластерный анализ микологических сообществ лесной подстилки лиственных насаждений

**Показатели структуры комплекса микромицетов
в лесной подстилке лиственных насаждений (по данным на 2021 г.)**

Indicators of micro-mycete complex structure in forest litter of deciduous stands (based on 2021 data)

Показатель	Осиново-березовое насаждение			Березово-еловое насаждение		
	07.06	08.08	24.09	07.06	08.08	24.09
Количество выделенных видов, шт.	20	19	26	5	19	13
Индекс видового разнообразия Шеннона (<i>H</i>)	2,35	1,98	2,84	0,78	3,82	3,56
Индекс выравненности Пиелу (<i>E</i>)	0,78	0,67	0,87	0,48	1,30	1,39
Индекс доминирования Симпсона (<i>S</i>) (1- <i>D</i>)	0,84	0,84	0,94	0,55	0,85	0,91
Индекс полидоминантности Вильямса (1/ <i>D</i>)	6,13	6,18	17,03	2,22	6,89	11,24

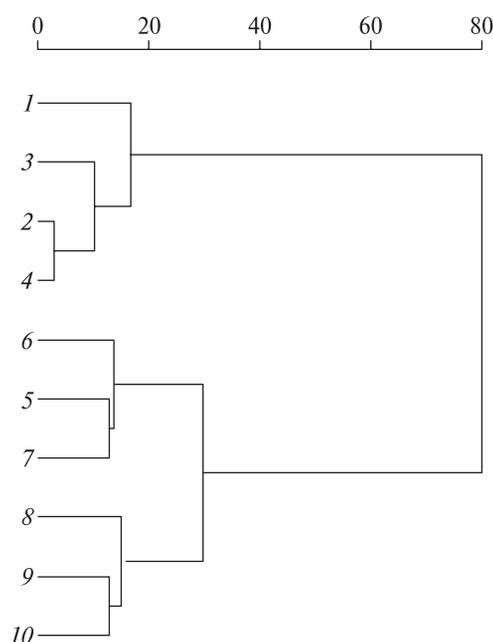
в период проведения исследований 2009 и 2021 гг. подтверждает четкую специфику комплексов микромицетов (рисунок).

Согласно проведенному анализу, отчетливо выделяются два кластера, что указывает на существенное за 10 лет изменение комплексов почвенных микромицетов лесной подстилки в процессе формирования лиственных биоценозов на месте еловой вырубki. По литературным данным, с возрастом нарушенная после рубки почва восстанавливается, как правило, в течение 8 лет при формировании сомкнутого молодняка [52]. Последующие преобразования в подстилке связаны с выносом минеральных элементов из почвы древесными породами по мере их роста. В связи с этим происходят существенные изменения в численности и видовом составе комплексов микромицетов по мере роста и формирования древостоя лиственных насаждений. Таким образом, исследования микоценозов в лесной подстилке среднетаежных разновозрастных лиственных лесов послерубочного происхождения показали их специфику и выявили различия в комплексах почвенных микромицетов.

Выводы

1. Исследования комплексов почвенных микромицетов в лесной подстилке среднетаежных разновозрастных лиственных насаждений выявили их специфические особенности: видовой состав микромицетов в лиственных насаждениях насчитывает 39 видов с учетом стерильного мицелия из 15 родов, группу доминантов в исследуемых образцах подстилки по обилию составляют такие виды, как: *Penicillium thomii* (21 %), *Pseudogymnoascus pannorum* (14 %) и *Mycelia sterilla* (69 %).

2. Выявленные отличия в микромицетных комплексах лесной подстилки осиново-березового и березово-елового насаждений обусловлены различным составом и возрастом древостоев. Осиново-березовое насаждение характеризуется большим количеством видов и таксономиче-



Дендрограмма сходства комплексов культивируемых микромицетов в лесной подстилке лиственных насаждений в период проведения исследований в 2009 [18] и 2021 гг.: березово-еловый молодняк: 1 — май 2009 г.; 2 — сентябрь 2009 г.; осиново-березовое насаждение: 3 — май 2009 г.; 4 — сентябрь 2009 г.; осиново-березовое насаждение: 5 — июнь 2020 г.; 6 — август 2020 г.; 7 — сентябрь 2020 г.; березово-еловое насаждение: 8 — июнь 2020 г., 9 — август 2020 г., 10 — сентябрь 2020 г. (кластеризация — по Варду, мера расстояния — Манхеттенское расстояние)

Complexes similarity dendrogram of cultivated micromycetes in the deciduous stands litter during the period of research in 2009 [18] and 2021: birch and spruce young growth: 1 — May 2009.; 2 — September 2009; aspen-birch stands: 3 — May 2009; 4 — September 2009; aspen-birch stands: 5 — June 2020; 6 — August 2020; 7 — September 2020; birch-spruce stands: 8 — June 2020, 9 — August 2020, 10 — September 2020 (clustering by Ward, distance measure by Manhattan distance)

ским разнообразием микромицетов в отличие от березово-елового насаждения, однако имеет с ним близкие значения содержания биомассы микроскопических грибов в подстилке в летний период ($2,22 \pm 1,97$ и $2,73 \pm 2,25$ мг/г а. с. п. соответ-

ственно). В осиново-березовом насаждении пре-валирует в начале летнего периода (июнь) только биомасса спор грибов ($0,030 \pm 0,001$ мг/г а. с. п.).

3. Лесная подстилка осиново-березового насаждения отличается меньшими мощностью и запасами и более высоким суммарным содержанием минеральных элементов и Са в верхнем слое.

4. Структура комплекса микромицетов в подстилке лиственных насаждений представлена в основном случайными (44...63 %) и редкими видами (29...31 %), при этом доля доминирующих видов составляет 4...6 %, частых — 4...19 %.

Работа выполнена при финансовой поддержке тем госзадания ИБ ФИЦ Коми НЦ УрО РАН «Зональные закономерности динамики структуры и продуктивности первичных и антропогенно измененных фитоценозов лесных и болотных экосистем европейского северо-востока России» (№ 122040100031-8) и «Криогенез как фактор формирования и эволюции почв арктических и бореальных экосистем европейского Северо-Востока в условиях современных антропогенных воздействий, глобальных и региональных климатических трендов» (№ 122040600023-8).

Список литературы

- [1] Cartner T.B., Cardon Z.G. Decomposition dynamics in mixed-species leaf litter // *Oikos*, 2004, v. 104 (2), pp. 230–246.
- [2] Bania A., Piolia S., Ventura M. The role of microbial community in the decomposition of leaf litter and deadwood // *Applied Soil Ecology*, 2018, v. 126, pp. 75–84. <https://doi.org/10.1016/j.apsoil.2018.02.017>
- [3] Stursova M., Snajdr J., Koukol O., Tlaskal V., Cajthaml T., Baldrian P. Long-term decomposition of litter in the montane forest and the definition of fungal traits in the successional space // *Fungal Ecology*, 2020, v. 46, pp. 1–20. <https://doi.org/10.1016/j.funeco.2020.100913>
- [4] Hu Y., Yesilonis I., Szlavecz K. Microbial and environmental controls on wood decomposition in deciduous forests of different ages // *Applied Soil Ecology*, 2021, v. 166, pp. 1–15. <https://doi.org/10.1016/j.apsoil.2021.103986>
- [5] Bahnmann B., Mašínová T., Halvorsen R., Davey M. L., Sedláč P., Tomšovský M., Baldrian P. Effects of oak, beech and spruce on the distribution and community structure of fungi in litter and soils across a temperate forest // *Soil Biology and Biochemistry*, 2018, v. 119, pp. 162–173. <https://doi.org/10.1016/j.soilbio.2018.01.021>
- [6] Queiroz M.E.F., Monteiro J.S., Viana-Junior A.B., Praxedes C.L.B., Lavelle P., Vasconcelos S.S. Litter thickness and soil pH influence the diversity of saprotrophic fungi in primary forest fragments in the Amazon // *Pedobiologia. Journal of Soil Ecology*, 2021, v. 89, pp. 1–15. <https://doi.org/10.1016/j.pedobi.2021.150771>
- [7] Германова Н.И. Скорость разложения растительного опада в лесных насаждениях заповедника «Кивач» // Эколого-геохимические и биологические закономерности почвообразования в таежных лесных экосистемах. Петрозаводск: Изд-во Карельского научного центра РАН, 2009. 176 с.
- [8] Xie L., Yin C. Seasonal variations of soil fungal diversity and communities in subalpine coniferous and broadleaved forests // *Science of the Total Environment*, 2022, v. 846, pp. 1–19. <http://dx.doi.org/10.1016/j.scitotenv.2022.157409>
- [9] Сазанова К.В. Органические кислоты грибов и их эколого-физиологическое значение: автореф. дис. ... канд. биол. наук. Санкт-Петербург, 2014. 26 с.
- [10] Fenner N., Ostle N.J., Menamara N. Elevated CO₂ effects on peatland plant community carbon dynamics and DOC production // *Ecosystems*, 2007, v. 10, pp. 635–647. <https://doi.org/10.1007/s10021-007-9051-x>
- [11] Kostadinova N., Tosi S., Spassov A.B. Comparison of the oxidative stress response of two Antarctic fungi to different growth temperatures // *Polish Polar Research*, 2017, v. 38 (3), pp. 393–408. <https://doi.org/10.1515/popore-2017-0015>
- [12] Juan-Ovejero R., Brionesa M.J.I., Opikb M. Fungal diversity in peatlands and its contribution to carbon cycling // *Applied Soil Ecology*, 2020, v. 146, pp. 1–11. <https://doi.org/10.1016/j.apsoil.2019.103393>
- [13] Виноградова Ю.А., Лаптева Е.М., Ковалева В.А., Перминова Е.М. Распределение микроскопических грибов в многолетнемерзлых торфяниках лесотундры // *Микология и фитопатология*, 2019. Т. 53. № 6. С. 342–353.
- [14] Виноградова Ю.А., Лаптева Е.М., Ковалева В.А., Перминова Е.М. Биомасса грибов и разнообразие культивируемых микромицетов в сезонно-талом слое буржистых торфяников южной тундры // *Микология и фитопатология*, 2021. Т. 55. № 2. С. 105–118.
- [15] Кузнецов, М.А. Влияние условий разложения и состава опада на характеристики и запас подстилки в среднетаежном чернично-сфагновом ельнике // *Лесоведение*, 2010. № 6. С. 54–60.
- [16] Хабибуллина Ф.М., Пристова Т.А., Виноградова Ю.А. Роль микромицетов в формировании лесной подстилки лиственных насаждений средней тайги // *Лесоведение*, 2012. № 4. С. 47–55.
- [17] Khabibullina F. M., Kuznetsova E. G., Vaseneva I. Z. Micromycetes in podzolic and bog-podzolic soils in the middle taiga subzone of northeastern European Russia // *Eurasian Soil Science*, 2014, v. 10 (47), pp. 1027–1032. <https://doi.org/10.7868/S0032180X14100049>.
- [18] Пристова Т.А., Хабибуллина Ф.М., Виноградова Ю.А., Мельник П.Г. Формирование лесной подстилки лиственных насаждений средней тайги Республики Коми // *Лесной вестник / Forestry Bulletin*, 2011. № 3(79). С. 41–50.
- [19] Лиханова Н.В. Биоразнообразие и микоризообразование лекарственных растений на залежных участках // *Теоретическая и прикладная экология*, 2021. № 2. С. 75–80.
- [20] Бобкова К.С., Машика А.В., Смагин А.В. Динамика содержания углерода органического вещества в среднетаежных ельниках на автоморфных почвах. СПб.: Наука, 2014. 270 с.
- [21] ГОСТ 56–69–83. Пробные площади лесоустроительные. Метод закладки. М.: Изд-во ЦБНТИ гослесхоза СССР, 1983. 60 с.
- [22] Пристова Т.А. Динамика древесной растительности в лиственных насаждениях послерубочного происхождения (подзона средней тайги Республики Коми) // *Принципы экологии*, 2019. Т. 8. № 3. С. 63–73.
- [23] Родин Л.Е., Ремезов Н.П., Базилевич Н.И. Методические указания к изучению динамики и биологического круговорота в фитоценозах. Л.: Наука, 1968. 145 с.
- [24] Методы почвенной микробиологии и биохимии / под ред. Д.Г. Звягинцева. М.: МГУ, 1991. 304 с.
- [25] Ellis M.B. *Dematiaceous Hyphomycetes*. UK: Kew, 1971, 608 p.
- [26] Ramirez C. *Manual and atlas of the Penicillia*. Amsterdam-N.-Y.: Oxford. Elsevier Biomedical Press, 1982, 874 p.
- [27] Егорова Л.Н. Почвенные грибы Дальнего Востока: Гифомицеты. Л.: Наука, 1986. 191 с.
- [28] Pitt J. *A laboratory guide to common Penicillium species*. N.S.W., Australia: Commonwealth Scientific and Industrial Research Organization, Division of Food Processing, 1988, 187 p.

- [29] Александрова А.В., Великанов Л.Л., Сидорова И.И. Ключ для определения видов рода *Trichoderma* // Микология и фитопатология, 2006. Т. 40. Вып. 6. С. 457–468.
- [30] Domsh K.H., Gams W., Anderson T.H. Compendium of soil fungi. Eshing: INW-Verlag, 2007, 672 p.
- [31] Базы данных CBS. URL: <https://indexfungorum.org/Names/Names.asp> (дата обращения 10.10.2023).
- [32] MycoBank. URL: <http://www.mycobank.org> (дата обращения 10.10.2023).
- [33] Мэггаран Э. Экологическое разнообразие и его изменение. М.: Мир, 1992. 161 с.
- [34] Кураков А.В. Методы выделения и характеристика комплексов микроскопических грибов наземных экосистем. М.: МАКС Пресс, 2001. 92 с.
- [35] Новаковский А.Б. Взаимодействие Excel и статистического пакета R для обработки данных в экологии // Вестник Института биологии Коми НЦ УрО РАН, 2016. № 3. С. 26–33.
- [36] Bani A., Pioli S., Ventura M., Panzacchi P., Borruso L., Tognetti R., Tonon G., Brusetti L. The role of microbial community in the decomposition of leaf litter and deadwood // *Applied Soil Ecology*, 2018, no. 126, pp. 75–84
- [37] Пристова Т.А. Скорость разложения растительного опада в листовых насаждениях послерубочного происхождения в условиях средней тайги Республики Коми // Труды Санкт-Петербургского НИИ лесного хозяйства, 2020. № 3. С. 62–72.
- [38] Couteaux M.-M., Bottner P., Berg B. Litter decomposition climate and litter quality // *Trends in Ecology & Evolution*, 1995, v. 10 (2), pp. 63–66.
- [39] Перельман А.И. Геохимия ландшафта. М.: Изд-во географической литературы, 1961. 495 с.
- [40] Берсенева О.А., Саловарова В.П., Приставка А.А. Почвенные микромицеты основных природных зон // Известия Иркутского государственного университета, 2008. Т. 1, № 1. С. 3–9.
- [41] Кирцидели И.Ю., Власов Д.Ю., Баранцевич Е.П., Крыленков В.А., Соколов В.Т. Комплексы микроскопических грибов в почвах и грунтах полярных Островов Известий ЦИК (Карское море) // Микология и фитопатология, 2014. Т. 48. № 6. С. 365–371.
- [42] Функционирование комплексов микроорганизмов в верховых торфяниках анализ причин медленного разложения торфа. М.: Товарищество научных изданий КМК, 2013. 128 с.
- [43] Власов Д.Ю., Зеленская М.С., Кирцидели И.Ю., Абакумов Е.В., Криленков В.А., Лукин В.В. Грибы на природных и антропогенных субстратах Западной Антарктиды // Микология и фитопатология, 2012. № 46 (1). С. 20–26.
- [44] Линник М.А. Видовое разнообразие и характеристика грибов рода *Chaetomium*: автореф. дис. ... канд. биол. наук. Москва, 2012. 26 с.
- [45] Хабибуллина Ф.М., Лиханова И.А., Творожникова Т.А., Ибатуллина И.З. Микробиота органогенного слоя почв послерубочных листовых насаждений средней тайги // Теоретическая и прикладная экология, 2008. № 2. С. 86–91.
- [46] Xiong J., Peng F., Sun H. Divergent Responses of Soil Fungi Functional Groups to Short-term Warming // *Microbial Ecology*, 2014, v. 68, pp. 708–715. <https://doi.org/10.1007/s00248-014-0385-6>
- [47] Кураков А.В., Семенова Т.А. Видовое разнообразие микроскопических грибов в лесных экосистемах южной тайги европейской части России // Микология и фитопатология, 2016. Т. 50. № 6. С. 367–378.
- [48] Kumar R., Kundu A., Dutta A. Chemo-profiling of bioactive metabolites from *Chaetomium globosum* for biocontrol of *Sclerotinia rot* and plant growth promotion // *Fungal Biology*, 2021, no. 125(3), pp. 167–176. <https://doi.org/10.1016/j.funbio.2020.07.009>
- [49] Сорокин Н.Д., Прокушкин С.Г., Пашенова Н.В., Евграфова С.Ю., Гродницкая И.Д., Полякова Г.Г. Микробиологическая трансформация растительных остатков и динамика углерода в бореальных лесах Сибири // Лесоведение, 2003. № 5. С. 18–24.
- [50] Мовчан Д.Д., Великанов Л.Л., Александрова А.В. Влияние сплошной санитарной рубки хвойного леса на комплекс почвенных микроорганизмов // Микология и фитопатология, 2005. № 39(2). С. 27–33.
- [51] Diversity and functioning of fungi associated with leaf litter decomposition in Asian forests of different climatic regions Takashi OSONO // *Fungal Ecology*, 2011, no. 4, pp. 375–385.
- [52] Cao J., Pan H., Chen Z., Shang H. Bacterial, fungal and archaeal community assembly patterns and their determining factors across three subalpine stands at different stages of natural restoration after clear-cutting // *J. of Soils and Sediments*, 2020, no. 20(7), pp. 2794–2803.

Сведения об авторах

Виноградова Юлия Алексеевна [✉] — канд. биол. наук, науч. сотр. отдела почвоведения ФГБУН «Институт биологии Коми Научного центра Уральского отделения Российской академии наук» (ИБ ФИЦ Коми НЦ УрО РАН), vinogradova@ib.komisc.ru

Ковалева Вера Александровна — мл. науч. сотр. отдела почвоведения ФГБУН «Институт биологии Коми Научного центра Уральского отделения Российской академии наук» (ИБ ФИЦ Коми НЦ УрО РАН), kovaleva@ib.komisc.ru

Пристова Татьяна Александровна — канд. биол. наук отдела лесобиологических проблем Севера ФГБУН «Институт биологии Коми Научного центра Уральского отделения Российской академии наук» (ИБ ФИЦ Коми НЦ УрО РАН), pristova@ib.komisc.ru

Поступила в редакцию 30.01.2023.

Одобрено после рецензирования 21.06.2023.

Принята к публикации 05.03.2024.

SOIL MICROSCOPIC FUNGI COMPLEX IN DECIDUOUS FOREST LITTER DURING MIDDLE TAIGA FORESTS NATURAL REFORESTATION IN KOMI REPUBLIC

Yu. A. Vinogradova✉, V.A. Kovaleva, T.A. Pristova

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

vinogradova@ib.komisc.ru

The article studies the parameters (thickness, reserves and mineral composition), composition and the biomass structure of microscopic fungi, species diversity of cultivated microscopic fungi in forest litter in middle taiga uneven-aged deciduous forest of post-cutting origin. The study was carried out in a 27-year-old birch-spruce stand of the herb type (stand composition 60 % — silver birch, 40 % — Norway spruce, singly — Scots pine and common aspen) and a 55-year-old aspen-birch stand of the bilberry-herb type (60 % — aspen, 30 % — birch, 10 % — spruce, singly — fir). Within the birch-spruce stand, the litter reserves are 45,8 t/ha and are heterogeneous and variable (CV = 25 %), in the aspen-birch stand, with a reserve of 37,5 t/ha, its distribution is more even (CV = 10 %). It was shown that microscopic fungi biomass in the litter of deciduous stands varies within 0,030 ± 0,001 — 2,73 ± 2,25 mg/g of dry soil. Mycelium with functionally active fungal hyphae (70...98 %) dominate in the structure of biomass in autumn, fungal spores (30–100 %) in summer. Thirty-nine species of microscopic fungi were isolated (including sterile mycelium from the litter of the studied forest stands. The Mucoromycota division is represented by 6 species (15 %) from the genera *Mucor*, *Mortierella* and *Umbelopsis*. The genus *Penicillium* dominates in the number of species (15 species), the genera *Trichoderma* (4 species), *Mucor* (3 species), *Chaetomium* (3 species) are less presented. Other genera such as *Acremonium*, *Alternaria*, *Aureobasidium*, *Cladosporium*, *Paecilomyces*, *Umbelopsis*, *Pseudogymnoascus*, *Talaromyces*, *Verticillium* are represented by single species. According to the frequency of occurrence, the structure of the complex of microscopic fungi in the studied deciduous stands litter is represented mainly by random (44...63 %) and rare species (29...31 %). The share of frequent species is 4...19 % and dominant ones — 4...6 %. A common abundant species in the litter of aspen-birch and birch-spruce stands is *Mycelia sterilla* (32...37 %). *Pseudogymnoascus pannorum* (10 %) is abundant in the litter of the aspen-birch stand and *Penicillium thomii* (16 %) is abundant in the birch-spruce stand litter.

Keywords: secondary deciduous stands, forest litter, microscopic fungi

Suggested citation: Vinogradova Yu.A., Kovaleva V.A., Pristova T.A. *Kompleks pochvennykh mikromitsetov v lesnoy podstilke listvennykh nasazhdeniy pri estestvennom lesovozobnovlenii srednetazhnykh lesov Respubliki Komi* [Soil microscopic fungi complex in deciduous forest litter during middle taiga forests natural reforestation in Komi Republic]. *Lesnoy vestnik / Forestry Bulletin*, 2024, vol. 28, no. 4, pp. 19–30. DOI: 10.18698/2542-1468-2024-4-19-30

References

- [1] Cartner T.B., Cardon Z.G. Decomposition dynamics in mixed-species leaf litter. *Oikos*, 2004, v. 104 (2), pp. 230–246.
- [2] Bania A., Piolia S., Ventura M. The role of microbial community in the decomposition of leaf litter and deadwood. *Applied Soil Ecology*, 2018, v. 126, pp. 75–84. <https://doi.org/10.1016/j.apsoil.2018.02.017>
- [3] Stursova M., Snajdr J., Koukol O., Tlaskal V., Cajthaml T., Baldrian P. Long-term decomposition of litter in the montane forest and the definition of fungal traits in the successional space. *Fungal Ecology*, 2020, v. 46, pp. 1–20. <https://doi.org/10.1016/j.funeco.2020.100913>
- [4] Hu Y., Yesilonis I., Szlavetz K. Microbial and environmental controls on wood decomposition in deciduous forests of different ages. *Applied Soil Ecology*, 2021, v.166, pp. 1–15. <https://doi.org/10.1016/j.apsoil.2021.103986>
- [5] Bahnmann B., Mašínová T., Halvorsen R., Davey M. L., Sedlák P., Tomšovský M., Baldrian P. Effects of oak, beech and spruce on the distribution and community structure of fungi in litter and soils across a temperate forest. *Soil Biology and Biochemistry*, 2018, v. 119, pp. 162–173. <https://doi.org/10.1016/j.soilbio.2018.01.021>
- [6] Queiroz M.E.F., Monteiro J.S., Viana-Junior A.B., Praxedes C.L.B., Lavelle P., Vasconcelos S.S. Litter thickness and soil pH influence the diversity of saprotrophic fungi in primary forest fragments in the Amazon. *Pedobiologia. Journal of Soil Ecology*, 2021, v. 89, pp. 1–15. <https://doi.org/10.1016/j.pedobi.2021.150771>
- [7] Germanova N.I. *Skorost' razlozheniya rastitel'nogo opada v lesnykh nasazhdeniyakh zapovednika «Kivach»* [The rate of decomposition of plant litter in the forest plantations of the Kivach Reserve]. *Ekologo-geokhimiicheskie i biologicheskie zakonomernosti pochvoobrazovaniya v taezhnykh lesnykh ekosistemakh* [Ecological, geochemical and biological patterns of soil formation in taiga forest ecosystems]. Petrozavodsk: Karelian Scientific Center of the Russian Academy of Sciences, 2009, 176 p.
- [8] Xie L., Yin C. Seasonal variations of soil fungal diversity and communities in subalpine coniferous and broadleaved forests. *Science of the Total Environment*, 2022, v. 846, pp. 1–19. <http://dx.doi.org/10.1016/j.scitotenv.2022.157409>
- [9] Sazanova K.V. *Organicheskie kisloty gribov i ikh ekologo-fiziologicheskoe znachenie* [Organic acids of fungi and their ecological and physiological significance]. Dis. Cand. Sci. (Biol.). St. Petersburg, 2014, 26 p.
- [10] Fenner N., Ostle N.J., Mcnamara N. Elevated CO₂ effects on peatland plant community carbon dynamics and DOC production. *Ecosystems*, 2007, v. 10, pp. 635–647. <https://doi.org/10.1007/s10021-007-9051-x>
- [11] Kostadinova N., Tosi S., Spassov A.B. Comparison of the oxidative stress response of two Antarctic fungi to different growth temperatures. *Polish Polar Research*, 2017, v. 38 (3), pp. 393–408. <https://doi.org/10.1515/popore-2017-0015>

- [12] Juan-Ovejero R., Brionesa M.J.I., Opikb M. Fungal diversity in peatlands and its contribution to carbon cycling. *Applied Soil Ecology*, 2020, v. 146, pp. 1–11. <https://doi.org/10.1016/j.apsoil.2019.103393>
- [13] Vinogradova Yu.A., Lapteva E.M., Kovaleva V.A., Perminova E.M. *Raspredelenie mikroskopicheskikh gribov v mnogoletemerzlykh torfyaniakakh lesotundry* [Distribution of microscopic fungi in permafrost peatlands of the forest-tundra]. *Mikologiya i fitopatologiya* [Mycology and Phytopathology], 2019, v. 53, no. 6, pp. 342–353.
- [14] Vinogradova Yu.A., Lapteva E.M., Kovaleva V.A., Perminova E.M. *Biomassa gribov i raznoobrazie kul'tiviruemykh mikromitsetov v sezonno-talom sloe bugristykh torfyanikov yuzhnoy tundry* [Fungal biomass and diversity of cultivated micromycetes in the seasonally thawed layer of hilly peatlands of the southern tundra]. *Mikologiya i fitopatologiya* [Mikologiya i fitopatologiya], 2021, v. 55, no. 2, pp. 105–118.
- [15] Kuznetsov, M.A. *Vliyaniye usloviy razlozheniya i sostava opada na kharakteristiki i zapas podstilki v srednetaeznom chernichno-sfagnovom el'nike* [Influence of decomposition conditions and litter composition on the characteristics and stock of litter in the middle taiga blueberry-sphagnum spruce forest]. *Lesovedenie*, 2010, no. 6, pp. 54–60.
- [16] Khabibullina F.M., Pristova T.A., Vinogradova Yu.A. *Rol' mikromitsetov v formirovaniy lesnoy podstilki listvennykh nasazhdeniy sredney taygi* [The role of micromycetes in the formation of forest litter in deciduous plantations of the middle taiga]. *Lesovedenie*, 2012, no. 4, pp. 47–55.
- [17] Khabibullina F. M., Kuznetsova E. G., Vaseneva I. Z. Micromycetes in podzolic and bog-podzolic soils in the middle taiga subzone of northeastern European Russia. *Eurasian Soil Science*, 2014, v. 10 (47), pp. 1027–1032. <https://doi.org/10.7868/S0032180X14100049>.
- [18] Pristova T.A., Khabibullina F.M., Vinogradova Yu.A., Mel'nik P.G. *Formirovaniye lesnoy podstilki listvennykh nasazhdeniy sredney taygi Respubliki Komi* [Formation of forest litter in deciduous plantations of the middle taiga of the Komi Republic]. *Lesnoy vestnik / Forestry Bulletin*, 2011, no. 3(79), pp. 41–50.
- [19] Likhanova N.V. *Bioraznoobrazie i mikorizoobrazovaniye lekarstvennykh rasteniy na zaleznykh uchastkakh* [Biodiversity and mycorrhiza formation of medicinal plants in fallow areas]. *Teoreticheskaya i prikladnaya ekologiya* [Theoretical and applied ecology], 2021, no. 2, pp. 75–80.
- [20] Bobkova K.S., Mashika A.V., Smagin A.V. *Dinamika sodержaniya ugleroda organicheskogo veshchestva v srednetaeznykh el'nikakh na avtomorfnykh pochvakh* [Dynamics of carbon content of organic matter in middle taiga spruce forests on automorphic soils]. St. Petersburg: Nauka, 2014, 270 p.
- [21] GOST 56–69–83 *Probnyye ploshchadi lesoustroitel'nye. Metod zakladki* [Trial forest management areas. Bookmark method]. Moscow: TsBNTI Gosleskhoz USSR, 1983, 60 p.
- [22] Pristova T.A. *Dinamika drevesnoy rastitel'nosti v listvennykh nasazhdeniyakh poslerubochnogo proiskhozhdeniya (podzona sredney taygi Respubliki Komi)* [Dynamics of tree vegetation in deciduous plantations of post-cutting origin (middle taiga subzone of the Komi Republic)]. *Printsipy ekologiy* [Principles of Ecology], 2019, v. 8, no. 3, pp. 63–73.
- [23] Rodin L.E., Remezov N.P., Bazilevich N.I. *Metodicheskie ukazaniya k izucheniyu dinamiki i biologicheskogo krugovorota v fitotsenozakh* [Guidelines for the study of dynamics and biological circulation in phytocenoses]. Leningrad: Nauka, 1968, 145 p.
- [24] *Metody pochvennoy mikrobiologii i biokhimii* [Methods of soil microbiology and biochemistry]. Ed. D.G. Zvyagintsev. Moscow: MGU, 1991, 304 p.
- [25] Ellis M.B. *Dematiaceous Hyphomycetes*. UK: Kew, 1971, 608 p.
- [26] Ramirez C. *Manual and atlas of the Penicillia*. Amsterdam-N.-Y.: Oxford. Elsevier Biomedical Press, 1982, 874 p.
- [27] Egorova L.N. *Pochvennyye griby Dal'nego Vostoka: Gifomitsety* [Soil fungi of the Far East: Hyphomycetes]. Leningrad: Nauka, 1986, 191 p.
- [28] Pitt J. *A laboratory guide to common Penicillium species*. N.S.W., Australia: Commonwealth Scientific and Industrial Research Organization, Division of Food Processing, 1988, 187 p.
- [29] Aleksandrova A.V., Velikanov L.L., Sidorova I.I. *Klyuch dlya opredeleniya vidov roda Trichoderma* [The key to identify species of the genus Trichoderma]. *Mikologiya i fitopatologiya* [Mycology and Phytopathology], 2006, v. 40, iss. 6, pp. 457–468.
- [30] Domsh K.H., Gams W., Anderson T.H. *Compendium of soil fungi*. Eshing: IHW-Verlag, 2007, 672 p.
- [31] *Bazy dannykh CBS* [CBS databases]. Available at: <https://indexfungorum.org/Names/Names.asp> (accessed 10.10.2023).
- [32] MycoBank. Available at: <http://www.mycobank.org> (accessed 10.10.2023).
- [33] Megarran E. *Ekologicheskoe raznoobrazie i ego izmerenie* [Ecological diversity and its measurement]. Moscow: Mir, 1992, 161 p.
- [34] Kurakov A.V. *Metody vydeleniya i kharakteristika kompleksov mikroskopicheskikh gribov nazemnykh ekosistem* [Methods for isolating and characterizing complexes of microscopic fungi in terrestrial ecosystems]. Moscow: Maks Press, 2001, 92 p.
- [35] Novakovskiy A.B. *Vzaimodeystvie Excel i statisticheskogo paketa R dlya obrabotki dannykh v ekologiy* [Interaction of Excel and the statistical package R for data processing in ecologists]. *Vestnik Instituta biologiy Komi NTs UrO RAN* [Bulletin of the Institute of Biology, Komi Scientific Center, Ural Branch of the Russian Academy of Sciences], 2016, no. 3, pp. 26–33.
- [36] Bani A., Pioli S., Ventura M., Panzacchi P., Borruso L., Tognetti R., Tonon G., Brusetti L. The role of microbial community in the decomposition of leaf litter and deadwood. *Applied Soil Ecology*, 2018, no. 126, pp. 75–84
- [37] Pristova T.A. *Skorost' razlozheniya rastitel'nogo opada v listvennykh nasazhdeniyakh poslerubochnogo proiskhozhdeniya v usloviyakh sredney taygi Respubliki Komi* [The rate of decomposition of plant litter in deciduous plantations of post-cutting origin in the conditions of the middle taiga of the Komi Republic]. *Trudy Sankt-Peterburgskogo NII lesnogo khozyaystva* [Proceedings of the St. Petersburg Research Institute of Forestry], 2020, no. 3, pp. 62–72.
- [38] Couteaux M.-M., Bottner P., Berg B. Litter decomposition climate and litter quality, *Trends in Ecology & Evolution*, 1995, v. 10 (2), pp. 63–66.
- [39] Perel'man A.I. *Geokhimiya landshafta* [Geochemistry of the landscape]. Moscow: Publishing House of Geographical Literature, 1961, 495 p.
- [40] Berseneva O.A., Salovarova V.P., Pristavka A.A. *Pochvennyye mikromitsety osnovnykh prirodnykh zon* [Soil micromycetes of the main natural zones]. *Izvestiya Irkutskogo gosudarstvennogo universiteta* [Proceedings of the Irkutsk State University], 2008, v. 1, no. 1, pp. 3–9.

- [41] Kirtsideli I.Yu., Vlasov D.Yu., Barantsevich E.P., Krylenkov V.A., Sokolov V.T. *Kompleksy mikroskopicheskikh gribov v pochvakh i gruntakh polyarnogo ostrova Izvestiy TsIK (Karskoe more)* [Complexes of microscopic fungi in soils and soils of the polar island of Izvestii CEC (Kara Sea)]. *Mikologiya i fitopatologiya* [Mikologiya i fitopatologiya], 2014, v. 48, no. 6, pp. 365–371.
- [42] *Funktsionirovanie kompleksov mikroorganizmov v verkhovykh torfyanikakh analiz prichin medlennogo razlozheniya torfa* [Functioning of complexes of microorganisms in high-moor peatlands analysis of the reasons for the slow decomposition of peat]. Moscow: Association of scientific. editions of KMK, 2013, 128 p.
- [43] Vlasov D.Yu., Zelenskaya M.S., Kirtsideli I.Yu., Abakumov E.V., Krilenkov V.A., Lukin V.V. *Griby na prirodnykh i antropogennykh substratakh Zapadnoy Antarktity* [Fungi on natural and anthropogenic substrates of West Antarctica]. *Mikologiya i fitopatologiya* [Mycology and Phytopathology], 2012, no. 46 (1), pp. 20–26.
- [44] Linnik M.A. *Vidovoe raznoobrazie i kharakteristika gribov roda Shaetomium* [Species diversity and characteristics of fungi of the genus Chaetomium]. Dis. Cand. Sci. (Biol.). Moscow, 2012, pp. 1–26.
- [45] Khabibullina F.M., Likhanova I.A., Tvorozhnikova T.A., Ibatullina I.Z. *Mikrobiota organogennoy sloya pochv poslerubochnykh listvennykh nasazhdeniy sredney taygi* [Microbiota of the organogenic soil layer of post-cutting deciduous plantations in the middle taiga]. *Teoreticheskaya i prikladnaya ekologiya* [Teoreticheskaya i prikladnaya ekologiya], 2008, no. 2, pp. 86–91.
- [46] Xiong J., Peng F., Sun H. Divergent Responses of Soil Fungi Functional Groups to Short-term Warming. *Microbial Ecology*, 2014, v. 68, pp. 708–715. <https://doi.org/10.1007/s00248-014-0385-6>
- [47] Kurakov A.V., Semenova T.A. *Vidovoe raznoobrazie mikroskopicheskikh gribov v lesnykh ekosistemakh yuzhnoy taygi evropeyskoy chasti Rossii* [Species diversity of microscopic fungi in forest ecosystems of the southern taiga of the European part of Russia]. *Mikologiya i fitopatologiya* [Mycology and Phytopathology], 2016, v. 50, no. 6, pp. 367–378.
- [48] Kumar R., Kundu A., Dutta A. Chemo-profiling of bioactive metabolites from Chaetomium globosum for biocontrol of Sclerotinia rot and plant growth promotion. *Fungal Biology*, 2021, no. 125(3), pp. 167–176. <https://doi.org/10.1016/j.funbio.2020.07.009>
- [49] Sorokin N.D., Prokushkin S.G., Pashenova N.V., Evgrafova S.Yu., Grodnitskaya I.D., Polyakova G.G. *Mikrobiologicheskaya transformatsiya rastitel'nykh ostatkov i dinamika ugleroda v boreal'nykh lesakh Sibiri* [Microbiological transformation of plant residues and carbon dynamics in the boreal forests of Siberia]. *Lesovedenie*, 2003, no. 5, pp. 18–24.
- [50] Movchan D.D., Velikanov L.L., Aleksandrova A.V. *Vliyaniye sploshnoy sanitarnoy rubki khvoynogo lesa na kompleks pochvennykh mikroorganizmov* [Influence of clear sanitary felling of coniferous forests on the complex of soil microorganisms]. *Mikologiya i fitopatologiya* [Mikologiya i fitopatologiya], 2005, no. 39(2), pp. 27–33.
- [51] Diversity and functioning of fungi associated with leaf litter decomposition in Asian forests of different climatic regions Takashi OSONO // *Fungal Ecology*, 2011, no. 4, pp. 375–38552.
- [52] Cao J., Pan H., Chen Z., Shang H. Bacterial, fungal and archaeal community assembly patterns and their determining factors across three subalpine stands at different stages of natural restoration after clear-cutting // *J. of Soils and Sediments*, 2020, no. 20(7), pp. 2794–2803.

This work was financially supported by the state task of the Institute of Physical Research of the Komi Scientific Centre of the Ural RAS Department 'Zonal regularities of dynamics of structure and productivity of primary and anthropogenically modified phytocenoses of forest and bog ecosystems of the European North-East of Russia' (No. 122040100031-8) and 'Cryogenesis as a factor of formation and evolution of soils of Arctic and boreal ecosystems of the European North-East in the conditions of modern anthropogenic impacts, global and regional climatic trends' (No. 122040600023-8).

Authors' information

Vinogradova Yuliya Alekseevna  — Cand. Sci. (Biology), Researcher, Institute of Biology of Komi Science Centre of the Ural Branch of the Russian Academy of Sciences, vinogradova@ib.komisc.ru

Kovaleva Vera Aleksandrova — Researcher, Institute of Biology of Komi Science Centre of the Ural Branch of the Russian Academy of Sciences, kovaleva@ib.komisc.ru

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

Received 30.01.2023.

Approved after review 21.06.2023.

Accepted for publication 05.03.2024.

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

СОВРЕМЕННЫЙ ЛЕС КАК ОТРАЖЕНИЕ ИСТОРИЧЕСКОЙ ТРАНСФОРМАЦИИ ЗЕМЕЛЬ В КЕНОЗЕРСКОМ НАЦИОНАЛЬНОМ ПАРКЕ

А.В. Козыкин¹, Е.Н. Наквасина²✉

¹ФГБУ «Национальный парк Кенозерский», Россия, 163000, г. Архангельск, ул. Набережная Северной Двины, д. 78

²ФГАОУ ВО «Северный (Арктический) федеральный университет имени М.В. Ломоносова» (САФУ), 163002, Россия, г. Архангельск, ул. Набережная Северной Двины, д. 17

nakvasina@yandex.ru

Проведен анализ строения и натурная идентификация современных лесных насаждений, сформировавшихся при естественном восстановлении на участках разной категории землепользования в пределах ключевого участка (площадью более 56 тыс. га) Кенозерского национального парка. Выявлено, что за 160 лет произошла заметная переструктуризация земельного фонда, более чем в 10 раз снизилась доля сельскохозяйственных угодий, которые заросли лесом (63 % пахотных участков, 98 % перелогов, 80 % сенокосов). Определено, что в сформированных постагрогенных лесах преобладают сосняки кисличные и черничные, доля которых на пашнях составляет более 88 %, на сенокосах и перелогах, где шире использовали участки и избыточным увлажнением, 72...76 %. Установлено, что постагрогенные насаждения на старых пашнях, перелогах и сенокосах в основном представлены сложными (с преобладанием березы) по составу насаждениями IА–II классами бонитетов (82...90 %). Показано, что наибольшая вариабельность породного состава древостоев характерна для пашен. Охарактеризовано плодородие почв постагрогенных лесов, которое оценивается выше средних значений для пахотных почв в Архангельской области. Доказано, что история полей и традиций земледелия оказывают значительное влияние на строение и свойства агрогенно-трансформированных почв, определяющих формирование современных лесов, по крайней мере, в течение двух столетий. Рекомендуется использовать апробированный метод для исторической идентификации лесов с целью сохранения агроландшафтов.

Ключевые слова: постагрогенные леса, планы генерального межевания, сельскохозяйственные угодья, пашни, перелогов, лесоустроительные планы, натурная идентификация

Ссылка для цитирования: Козыкин А.В., Наквасина Е.Н. Современный лес как отражение исторической трансформации земель в Кенозерском национальном парке // Лесной вестник / Forestry Bulletin, 2024. Т. 28. № 4. С. 31–42. DOI: 10.18698/2542-1468-2024-4-31-42

На европейском Севере России преимущественное распространение получили производные леса [1], в том числе сформированные на заброшенных сельскохозяйственных землях, что нарушило структуру доагрикультурных лесных экосистем. Это обусловлено повсеместным применением подсеčno-огневой и лесопольной, сочетавшейся с трехпольем, систем земледелия.

Способ земледелия формирует устойчивые факторы землепользования, которые в процессе естественного зарастания слабо изменяются под воздействием природных явлений, и влияют на формирующиеся леса [2]. Несмотря на то, что трансформация заброшенных сельхозугодий развивается в направлении зональных типов лесных экосистем [3], история землепользования сохраняется и в течение нескольких столетий отражается в формировании лесных насаждений [4]. По мнению ученых, это проявляется в плодородии почв [3, 5], по которому определяются начальные этапы сукцессий, состав насаждений постагрогенных лесов, их биоразнообразие и продуктивность.

Для оценки исторической динамики территорий важное значение приобретают планы межевания периода максимального сельскохозяйственного освоения земель России (вторая половина XIX в.), которые позволяют идентифицировать современные лесные массивы исходя из истории землепользования. Проведение исследований в этой области может способствовать пониманию исторического наследия и сохранению ценных в историко-культурном и природном отношении агроландшафтов в системе особо охраняемых природных территорий (ООПТ) [6], что поддерживается программами ФАО (продовольственная и сельскохозяйственная организация Объединенных Наций — Food and Agriculture Organization of the United Nations) [7].

Территория Кенозерского национального парка считается привлекательной для проведения указанных историко-натурных изысканий. В ее пределах сосредоточены исторически значимые аграрные угодья с наличием различных систем земледелия [8]. Здесь в обозримом прошлом не проводились масштабные рубки и мелиоративные работы, провоцирующие нарушение ланд-

шафтной структуры и изменяющие ход лесных сукцессий. В Кенозерском национальном парке поддерживается традиционная планировка поселений, что при наличии дореволюционных планов межевания позволяет идентифицировать уголья и соотносить их с современными планами и картами. Поддержанию исторических основ способствует также включение в 2004 г. территории парка во Всемирную сеть биосферных резерватов ЮНЕСКО.

Цель работы

Цель работы — проведение анализа строения и натурной идентификации современных лесных насаждений, сформировавшихся при естественном восстановлении на участках разной категории землепользования в пределах ключевого участка Кенозерского национального парка.

Материалы и методы

Ключевой участок Кенозерского национального парка (далее — Парк) занимает площадь 56 464 га и расположен в окрестностях нескольких озер — Кенозера, Свиного, Долгого, Почозера и Порженского в Плесецком районе Архангельской области. По геоботаническому районированию район исследования относится к подзоне среднетаежных лесов. В пределах выбранного ключевого участка учитывали участки суши (без водных объектов) согласно принятой атрибутике лесостроительных планов, которые включают в себя не только лесные насаждения и болота, но и элементы техногенных ландшафтов — дороги, линии электропередач (ЛЭП) и населенные пункты.

Для исследования были использованы растровые аналоги межевых планов специального межевания Кенозерской, Кенорецкой и Почозерской дач Вершининской волости Каргопольского и Пудожского уездов Олонецкой губернии 1861 г., векторные лесные карты лесоустройства 2014 г. с атрибутивной информацией по лесным выделам. Принципиальная методика обработки планов межевания и современных лесостроительных планов приведена в работе А.В. Козыкина [9].

Планы специального межевания 1861 г. (далее — Планы), выполнявшиеся вручную, содержат детальную информацию и точные данные о сельскохозяйственном пользовании в пределах современного полигона исследования. В качестве основы для составления планов служила полевая межевая инструментальная съемка. Масштаб планов: 1 английский дюйм = 100 саженей, что в метрической системе соответствует 1 мм = 8,4 м. На планах нанесены контуры сельскохозяйственных наделов с указанием пашен, перелогов, сенокосов, а также лесные уголья разных категорий. Планы успешно совмещаются с со-

временными благодаря тщательной прорисовке линий побережий рек, озер и точечных объектов (домов, церквей, часовен, мельниц), а также местным названиям урочищ, поселений, которые тщательно сохраняются в атрибутике планов и карт Парка.

В качестве современной основы привязки взяты планы лесоустройства Парка 2014 г. (М 1:25 000), проведенного по 1 категории [10], что позволяет использовать характеристики лесных выделов — тип леса, бонитет, состав, возраст и другие параметры для оценки произошедших изменений и построения корреляционных связей.

При совмещении исторических и современных планов сделаны некоторые допущения, в частности о неизменности границ участков категорий земной поверхности с момента проведения межевой съемки. Кроме того, при векторизации была упрощена легенда — убраны разграничения угодий по «сухому и мокрому грунту» и деление участков на «чистые и с кустарником», устаревшее понятие «мшаный лес» рассматривали как хвойный.

Об относительно высокой точности межевой съемки свидетельствует совпадение некоторых объектов при наложении с помощью геоинформационных систем (ГИС) исторических межевых планов на современную основу. Тем не менее, есть разница по площади 139 га (0,25 % площади исследуемого полигона) между современным балансом земель и данными межевания 1861 г. по причине недостаточной точности совмещения межевой съемки с современной топоосновой.

Для детализации исследований в ГИС сформированы полигональные слои — пашня, перелог, сенокос, кустарниковая пустошь, хвойный лес, лиственный лес [9].

Натурная идентификация лесов на старых залежах разных категорий землепользования, согласно межевому плану 1861 г. (19 пробных площадей на постоянных пашнях и перелогах), проводилась по общепринятым в лесоводстве и геоботанике методам [11] с обязательным подтверждением принадлежности к виду уголья по результатам почвенного опробования [12] в пределах ключевого участка Парка.

Результаты и обсуждение

Согласно планам специального межевания на территории Парка почти половина земель (46,5 %) была освоена под сельскохозяйственное пользование (табл. 1, рис. 1). Причем большая его доля отводилась на перелог (34 %) и только 6 % земель составляли постоянные пашни.

В естественных насаждениях преобладали хвойные леса (47,7 %), на лиственные леса приходилось всего 3,8 %.

Т а б л и ц а 1

Распределение площади изучаемого полигона по категориям земель согласно планам специального межевания 1861 г. и лесоустроительным планам 2014 г.

Distribution of the studied plot by land categories according to the 1861 special land survey plans and 2014 forest inventory plans

Категория земель	1861		2014	
	га	%	га	%
Сельскохозяйственные земли	26 286	46,5	2369	4,2
пашня	3502	6,2	Нет данных	Нет данных
перелог	19 237	34,0	Нет данных	Нет данных
сенокос	3547	6,3	Нет данных	Нет данных
деревни/поселения	96	0,2	366	0,7
Насаждения естественного происхождения	29 411	52,0	50952	90,2
кустарниковая пустошь	297	0,5	19,6	0,03
лиственный лес	2140	3,8	21115,8	37,4
хвойный лес	26 974	47,7	29816,6	52,6
Болота	Нет данных	Нет данных	2581	4,6
Оброчные статьи	810	1,4	–	–
Техногенные объекты (дороги, карьеры, ЛЭП)	–	–	196	0,3
Итого:	56 603	100	56 464	100

Выделение болот, как типа угодий при межевании 1861 г. и лесоустройстве 2014 г. существенно различается в нормативной базе. В связи со значительными различиями в атрибутике при обработке межевых планов значительные площади болотных массивов (в современном понимании) по отмывке были отнесены к хвойным или лиственным лесам.

Спустя 160 лет произошла заметная переструктуризация земельного фонда ключевого участка, характерная в целом для Парка и отражающая состояние земель региона. Более чем в 10 раз снизилась доля сельскохозяйственных угодий (рис. 2, см табл. 1), что было связано прежде всего с миграцией населения и изменениями в социально-экономических отношениях, неоднократно произошедших за этот период. Зброшенные поля (пашни, перелог) и сенокосы быстро зарастали лесом. За 160 лет лесом заросли 63 % пахотных участков, 98 % перелогов, 80 % сенокосов, часть их попала под хозяйственную инфраструктуру современных поселений. Обращает на себя внимание смена породной составляющей современных лесов по сравнению с XIX в.: отчуждение сельскохозяйственных угодий из активного пользования провоцировало образование лиственных лесов, доля которых увеличилась в 10 раз, тогда как доля хвойных лесов (с долей хвойных пород более трех единиц в составе, согласно современным лесоустроительным подходам) изменилась менее значимо.

Наложение полигонального слоя пашни 1861 г. на слой выделов лесоустройства 2014 г. дает возможность увидеть, в какие современные типы угодий трансформировались участки землеполь-

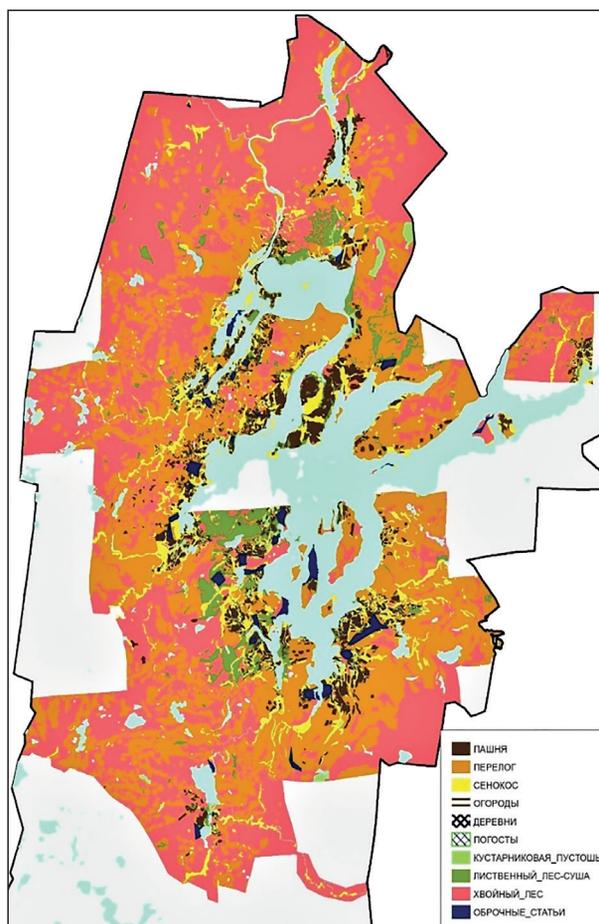


Рис. 1. Землепользование в границах ключевого участка Кенозерского национального парка согласно планам специального межевания 1861 г.

Fig. 1. Land use within the boundaries of the key section of Kenozersky National Park according to the plans of the special survey of 1861

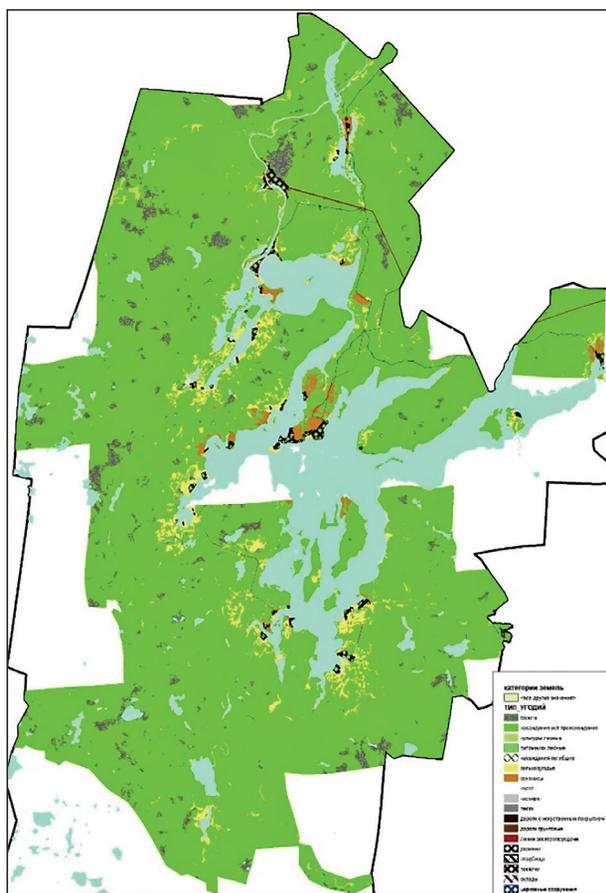


Рис. 2. Землепользование в границах ключевого участка Кенозерского национального парка согласно лесоустроительным планам 2014 г.

Fig. 2. Land use within the boundaries of the key area of Kenozersky National Park according to the forest survey plans of 2014

зования середины XIX в. Основными характеристиками для анализа трансформаций современных лесов выбраны тип леса, бонитет, состав насаждений и возраст лесобразующих пород.

Сосняки кисличные и черничные составляют 88,5 % общей площади лесов, попадающих в границы контура постоянной пашни середины XIX в., (табл. 2). Можно предположить, что лесные участки с остальными типами леса вряд ли распаивались в прошлом вследствие избыточного увлажнения, особенностей рельефа и низкого плодородия почв или их небольшой площади в структуре насаждений. Совершенно очевидно, что участки леса с IV и V классами бонитета по условию плодородия почв не могли быть использованы под пашню. Скорее всего, их включение в полигональные слои пашни связано с уровнем точности построения межевых планов и сдвигами в растрах при их оцифровке.

Сосняки кисличные и черничные также являются преобладающими типами леса (76,5 %), сформировавшимися на местах бывших перелогов и сенокосов (согласно межевому плану 1861 г.).

В отличие от пашен на перелогах и сенокосах в типологическом ряду современных лесов шире представлены ельники черничные, долгомошные и травяно-болотные: на перелогах — 15,8 %, на сенокосах — 21,5 %. Земледельцы того времени повышали потенциальное плодородие участков за счет водоотводящих канавок по краям полей.

Продуктивность формирующихся постагрогенных лесов Парка связана с типами леса, установленными при лесоустройстве. Сосняки и ельники черничные и кисличные, сформировавшиеся на залежах постоянных пашен, почти на 90 % представлены насаждениями IA–II классов бонитета (табл. 3). Несколько меньше доля высокобонитетных насаждений на старых перелогах и сенокосах (84 и 82 % соответственно).

Низкобонитетные насаждения IV–V классов бонитета на местах старых сельскохозяйственных угодий встречаются единично и в основном приурочены к сухим (брусничным) и избыточно-увлажненным (сфагновым, долгомошным, травяно-болотным) типам лесорастительных условий.

Породный состав насаждений, сформированный на перелогах, сенокосах и пашнях, достаточно разнообразен. Репрезентативные подсчеты на основе планов лесонасаждений лесоустройства, показывают, что в составе древостоев встречаются все основные лесобразующие породы региона: сосна обыкновенная, ель обыкновенная, береза, осина, ольха серая, ива, единично лиственница. Представленность преобладающей в насаждении породы (табл. 4) связана с плодородием почв. На перелогах с непродолжительной пахотой в пределах чернично-кисличной формации разнообразие пород ниже по сравнению с участками постоянных пашен, которые систематически удобрялись в период сельскохозяйственного пользования. Однако преобладающей в составе насаждений лесов на залежах является береза, на долю которой на пашнях и сенокосах приходится 67,4...60,5 % и 48,3 % — на перелогах. На пашнях и сенокосах достаточно велика и доля ольхи серой в качестве преобладающих пород в сформированных насаждениях. Сосна и ель в качестве преобладающей породы более характерны для перелогов (39,5 и 8 % соответственно), чем для пашен и сенокосов.

В насаждениях на залежах чаще встречаются сложные по составу древостои, состоящие, как правило, из 3–5 пород в различных комбинациях. Большая вариабельность по составу характерна для бывших пашен с плодородными почвами, здесь чаще встречаются древостои с пятью породами в составе, но в то же время и чистые сосняки, березняки, и особенно ольшаники, которые в молодом возрасте густо разрастаются и могут заглушить другие породы. На перелогах чистые

Т а б л и ц а 2

Типологическая структура современных лесов, сформированных на пашнях и перелогах, согласно межевому плану 1861 г.

Typological structure of modern forests formed on arable lands and abandoned fields according to the 1861 land survey plan

Тип леса	Пашни		Перелог		Сенокосы	
	га	%	га	%	га	%
Ельник сфагновый	Нет данных	Нет данных	2,9	0,01	Нет данных	Нет данных
Ивняк травяно-болотный	0,6	0,0	4,8	0,02	2,7	0,1
Сосняк лишайниковый	3	0,1	6,2	0,03	0,8	0,0
Ельник долгомошный	4,2	0,2	397,4	2,1	34,8	1,2
Сосняк сфагновый	8,3	0,4	232	1,3	8,9	0,3
Ельник природный крупнотравный	8,8	0,4	193,9	1,0	82,1	2,9
Сосняк долгомошный	10,9	0,5	210,6	1,1	21,3	0,8
Сосняк брусничный	14,9	0,7	127,5	0,7	38,7	1,4
Ельник травяно-болотный	24,5	1,1	468,8	2,5	151,2	5,4
Ельник кисличный	32,1	1,5	276,3	1,5	21,3	0,8
Сосняк травяно-болотный	38,5	1,7	276,3	1,5	183,6	6,5
Ельник черничный	108,2	4,9	2076,3	11,2	236,9	8,4
Сосняк кисличный	504,4	22,9	3984,1	21,5	594,8	21,1
Сосняк черничный	1444,6	65,6	10196,3	55,0	1442,6	51,2
Итого:	2203	100,0	18538,0	100,0	2819,7	100,0

Т а б л и ц а 3

Представленность современных лесов по классам бонитета в чернично-кисличной формации на местах бывших пашен и перелогов

Representation of modern forests by appraisal classes in bilberry and shamrock formation on the sites of former arable lands and abandoned fields

Тип леса	Всего, га	В том числе, распределение (%) по классам бонитета				
		IA	I	II	III	IV–VA
На местах бывших постоянных пашен						
Сосняк кисличный	504,3	4,1	74,8	18,4	2,7	–
Сосняк черничный	1444,5	0,1	39,3	48,6	12,0	–
Ельник кисличный	32,1	4,7	63,9	29,3	–	2,1
Ельник черничный	108,2	0,7	25,1	35,9	37,4	0,9
Итого:	2089,1	1,2	47,5	40,4	10,9	0,1
На местах бывших перелогов						
Сосняк кисличный	3984,1	1,0	68,1	30,5	0,4	–
Сосняк черничный	10196,2	0,4	26,4	61,2	11,7	0,3
Ельник кисличный	276,2	0,3	27,5	37,4	34,8	–
Ельник черничный	2076,3	0,1	6,9	30,3	52,9	9,8
Итого:	16 532,7	0,5	34,0	49,5	14,5	1,4
На местах бывших сенокосов						
Сосняк кисличный	594,8	1,4	65,3	33,3	1,9	–
Сосняк черничный	1442,5	0,1	27,8	55,2	16,4	0,5
Ельник кисличный	21,3	–	20,7	69,5	8,9	0,9
Ельник черничный	236,7	0,3	5,7	30,8	46,6	16,7
Итого:	2295,3	0,4	34,6	47,2	15,7	2,1

(однопородные) древостои представлены только сосной и березой, на сенокосах — березой и елью.

На основании привязок межевого плана 1861 г. и плана лесонасаждений была проведена натур-

ная идентификация лесов на бывших пашнях и перелогах (табл. 5). Именно на аграрно-освоенных участках, прежде всего на пашнях постоянного пользования, которые использовались

Т а б л и ц а 4

Распределение насаждений по преобладающим породам в составе древостоя на старых пашнях, перелогах и сенокосах в пределах чернично-кисличной формации, %

Distribution of plantations by predominant species in the stand composition on old arable lands, abandoned fields and hay meadows within the Bilberry and Sourwood Formation, %

Категория земель*	Береза	Ольха серая	Осина	Ива	Ель	Сосна
Пашни	67,4	15,9	3,6	0,1	0,8	12,2
Перелог	48,2	–	4,3	–	8,0	39,5
Сенокосы	60,5	6,4	2,2	0,2	5,4	25,3

*Согласно межевым планам 1861 г.

Т а б л и ц а 5

Таксационная характеристика насаждений, сформированных на пашнях и перелогах согласно межевому плану 1861 г.

Taxation characteristics of stands formed on arable lands and abandoned fields according to the 1861 land survey plan

Номер п/п	Состав древостоя	Класс бонитета	Тип леса	Класс возраста	Запас на 1 га, м ³ /га
Пашня					
1	9Б1С+ОЛСА	I	Кисличный	7	270
2	9Б1С+ОЛСА	I	То же	7	270
3	5С1Е4Б	I	Черничный	5	340
4	4Б3ОС1ОЛСА2С	I	Кисличный	8	200
5	8С2Б+ОС	II	Черничный	4	300
6	5С3Е2Б+ОС	II	То же	5	340
7	5Б4ОС1Е	II	Кисличный	6	110
Перелог					
8	5С1Е4Б	I	Черничный	5	340
9	5С1Е4Б	I	То же	5	340
10	5С1Е4Б	I	«←»	5	340
11	5С1Е4Б+ОС	II	«←»	5	290
12	4Б2ОС1ОЛСА3С+Е	I	«←»	8	300
13	6Е2С2Б+ОС	III	Кисличный	6	340
14	5С2Е2Б1ОС	II	Черничный	5	360
15	4Е2С4Б	III	Кисличный	5	160
16	4ОС3Б2С1Е	I	То же	10	410
17	4ОС3Б2С1Е	I	«←»	10	410
18	6Б1ОС2С1Е	I	«←»	10	350
19	6Б1ОС2С1Е	I	«←»	10	350

длительное время (иногда веками) и отличаются высоким эффективным плодородием [13], могут наблюдаться наибольшие трансформации.

Особенности состава древостоя, класс бонитета и типологическая представленность изученных лесных насаждений соответствуют установленным придержкам по этим категориям сельскохозяйственных угодий, выделенным на основе технологических приемов ГИС. Для лесов на перелогах характерен большой разброс по времени

отчуждения, установленный по максимальному возрасту произрастающих деревьев. На перелогах он высокий — 120 лет, в лесах на пашнях — 100 лет вследствие более ранних забрасываний удаленных от жилья перелогов, нежели близких к деревням пашен.

Почвенное опробование показало, что все изученные поля были сформированы на подзолистых почвах. Это подтверждали морфологические признаки их строения в срединной части почвенного

**Краткая характеристика почв и живого напочвенного покрова
на перелогах и пашнях согласно межевому плану 1861 г.**

**Brief characteristics of soils and living ground cover on abandoned fields
and arable lands according to the land survey plan of 1861**

Номер пробной площади	C _{орг} %	рН	Содержание, мг/кг		Характеристика освоенного горизонта	Ассоциация живого напочвенного покрова
			P ₂ O ₅	K ₂ O		
Пашни						
1	2,53	4,2	166	98	Пахотный, легкосуглинистый	Кислично-грушанко-фиалковая
2	3,36	4,4	250	104	Пахотный, супесчаный	Кислично-хвощево-косяничная
3	3,89	4,8	210	137	Пахотный, легкосуглинистый	Кислично-землянично-косянично-майниковая
Перелог						
8	3,25	3,7	53	57	Гетерогенный, легкосуглинистый	Вейниково-кислично-чернично-брусничная
9	2,16	3,6	31	40	То же	Вейниково-кислично-косяничная
10	2,90	4,0	70	48	«←»	Снытево-вейниково-кислично-ландышева

профиля и близкие лесорастительные условия. Наличие в пахотном горизонте образцов угля (более крупных в освоенном горизонте перелогов, менее крупных — в пахотном горизонте постоянных пашен) подтвердили отнесение данных полей к подсечно-огневому способу освоения.

Изученные леса как на пашнях, так и на перелогах представлены кисличным и черничным типами леса, однако по классам бонитетов в этих двух группах проявляются различия: на перелогах часть насаждений имеют III класс бонитета, тогда как на пашнях встречаются насаждения только с I–II классами бонитета. Различия в продуктивности насаждений могут быть связаны с особенностями строения почв и их плодородием, что является отражением истории земледелия.

Сравнение почвенных условий и особенностей живого напочвенного покрова проведем (табл. 6) на примере трех пашен (ПП 1–3) и трех перелогов (ПП 8–10), относящихся к одному земельному наделу в районе Ручьевой Лахты (северная часть Парка).

Агрогенное воздействие на почву видно по обработанному горизонту в верхней части почвенного профиля. На пашнях сформирован и сохраняется до настоящего времени хорошо перемешанный пахотный горизонт мощностью в среднем 15 см, что соответствует глубине вспашки того времени. На перелогах отмечена гетерогенность обработанного горизонта, которая свидетельствует о кратковременной пахоте, создает неоднородность в плодородии почв, что и отражается в пятнистости живого напочвенного покрова. Несмотря на то что тип леса при лесоустройстве фиксируется по основной растительности, характеристика ассоциации, свойственной лесам на перелогах, связана с большим присут-

ствием (до 80 % по абсолютному проективному покрытию площади) вейника наземного, синузии которого тяготеют к пятнам почв с пониженным плодородием.

Применение технологий ГИС позволяет широко использовать исторические документы, в том числе и планы межевания конца XVIII — середины XIX вв. для изучения внутриландшафтной дифференциации угодий [14] и изменений агрокультурных ландшафтов. Планы межевания помогают изучить историю землепользования Европейской России [15], но и выявить трансформации почвенного покрова, дать агрономическую оценку почв [16, 17], определить изменения лесистости [18]. С точки зрения ООПТ подобные исследования важны и перспективны для планирования работ по сохранению и восстановлению исторического агрокультурного наследия. Широкомасштабные натурные работы экономически затратны [6], анализ территорий с помощью ГИС, основанный на методах исторической информатики и сопряженный с локальным натурным опробованием, позволяет оценить состояние ландшафтов и проследить сукцессионные изменения при прекращении их традиционного сельскохозяйственного использования.

На территории Парка прослеживается преобладание подсечно-огневой и лесопольной систем земледелия в сочетании с пашенной. Как правило, постоянные пашни располагались ближе к деревням, для поддержания плодородия их удобряли навозом и торфом. Однако площади пашен были невелики, и для обеспечения населения продовольствием и скота кормами осваивались новые лесные участки, часто расположенные вдали от деревень. Освоение проводилось путем отжига леса, подсеки использовались только на тот срок,

плодородие почв в который обеспечивалось золой (5...8 лет), а затем либо отводились под сенокос, выгоны, либо на зарастание лесом для восстановления плодородия почв (на 15...25 лет, иногда до 50 лет). Эти участки (перелог) могли вновь осваиваться и повторно использоваться. Пашни на перелогах восстанавливались от 2 до 7 раз в столетие, в зависимости от плодородия почв. Перелог фактически был резервным элементом трехпольной системы земледелия, используемой на европейском Севере России до первой половины XX в., и не облагался налогами [19]. Здесь скорость зарастания заброшенных полей провоцировалась мелкопольем, характерным для местности до второй половины XX в., и зависела от породного состава стен леса [20]. Формировались вторичные постагрогенные леса [1], доля которых в южной части Архангельской области, где и расположен Парк, достигает 1 млн га [21]. Эти леса образовались на бывших селхозугодьях с разной трансформацией почвенного покрова, разным плодородием, что и отражается на их современном состоянии.

Рассматривая восстановление постагрогенных лесов, следует обратиться к участкам, отобраным под подсеку. Русские земледельцы, пришедшие в XIII — XIV вв. на данную территорию, обладали богатым опытом определения плодородия земель по качеству лесного угодья. Лучшим и первоочередным претендентом на огневую подсеку, считался «мяндач» — лес из деревьев с широкими годичными кольцами — типичный высокобонитетный черничник или кисличник. Такой лес подходил и для строительных нужд: строевой лес забирали перед проведением пала. «Пиндач», он же «конда» — сосновый лес, низкобонитетный, из деревьев с узкими годичными кольцами, не годился под подсеку в силу низкого плодородия почв. Следовательно, под подсеку отводились прежде всего кисличные и черничные леса, которые на рубеже XIX — XX вв и восстанавливались после забрасывания освоенных угодий, что соответствовало общим закономерностям восстановления залежных угодий при зарастании лесом, установленным ранее: эволюционная трансформация развивалась в направлении зональных типов лесных экосистем [3]. При естественном зарастании полей в условиях средней тайги формирование лесной обстановки и соответствующего зональным признакам типа леса происходило после 2-го класса возраста [22].

Локальные процессы, связанные прежде всего с плодородием почв, вносили свои коррективы [5] и отражались не только в породном составе насаждений, но и в их продуктивности [4, 23].

Исторические и сукцессионные изменения, связанные с плодородием почв, отразились на

формировании основных типов леса (кисличных и черничных), распространившихся на типичных лесных почвах, характерных для Севера (подзолистых), измененных в освоенном горизонте за счет аграрного воздействия. Изменившееся плодородие почв на залежах обеспечило преобладание в древостоях березы, и возникновение высокобонитетных насаждений, особенно на угодьях постоянных пашен. Разный уровень дефрагментации почв в результате аграрного воздействия при освоении и сельскохозяйственном пользовании привел к значительной дифференциации восстановленных зональных постагрогенных лесов.

Одним из главных факторов, определяющих сукцессионные изменения и продуктивность будущих древостоев, считается плодородие почв [24–26]. Агрогенное состояние почв сохраняется в ее свойствах до 300 лет [27]. При этом сохраняются морфологические признаки, характерные для пашенного состояния [20, 28, 29], и присущее им в период активного использования и внесения удобрений и мелиорантов (навоза, торфа, извести) эффективное плодородие. Это хорошо заметно по высокому содержанию в бывшем пахотном горизонте элементов питания (подвижного фосфора и калия), повышенному содержанию органического углерода и пониженной кислотности. Плодородие постоянных пашен до сих пор выше по сравнению с почвами перелогов и остается выше средних значений для пахотных почв в Архангельской области [30], значительно превосходя природные естественные аналоги почв [31]. Все это и обеспечивает высокую продуктивность насаждений (I–II классов бонитета) и высокие запасы древесины постагрогенных лесов.

Выводы

Анализ современных лесов с помощью ГИС на ключевом участке Кенозерского национального парка, основанный на использовании планов межевания 1861 г., показал широкие возможности изучения исторической трансформации бывших агрогенных угодий за 160-летний период. Одновременно он подтвердил, насколько широким было освоение земледельцами северных территорий страны, показал закономерности естественного восстановления угодий, как правило, связанного с их зарастанием лесом и формированием вторичных (постагрогенных) лесов. Возникновение на территории Кенозерского национального парка вторичных постагрогенных лесов со значительной дифференциацией связано с категорией земельных угодий, длительностью аграрного использования и интенсивностью проведения мероприятий по повышению плодородия. Натурная идентификация, проведенная на выборке подобных лесов, подтвердила длитель-

ное сохранение истории и традиций земледелия, которые значительно повлияли на строение и свойства агрогенно-трансформированных почв, определяющие формирование современных лесов по крайней мере в течение двух столетий.

Исследования выполнены в рамках темы «Изучение влияния исторического подсечно-огневого и переложного земледелия на современное состояние природных комплексов и формирование культурных ландшафтов Кенозерского национального парка на основе архивных картографических документов, материалов дистанционного зондирования, данных полевых исследований».

Список литературы

- [1] Громцев А.Н. Производные леса на западе таежной зоны России: понятия, происхождение, идентификация // Труды Карельского научного центра РАН, 2019. № 5. С. 5–16. DOI: 10.17076/eco900
- [2] Kopecký M., Vojta J. Land-use legacies in post-agricultural forests in the Douvovské Mountains, Czech Republic // Applied vegetation science, 2009, v. 12, no. 2, pp. 251–260. DOI: 10.1111/j.1654-109X.2009.01023.x
- [3] Романенко Г.А., Иванов А.Л., Завалин А.А. Агроэкологическое состояние и перспективы использования земель России, выбывших из активного сельскохозяйственного оборота. М.: Росинформагротех, 2008. 64 с.
- [4] Sewerniak P. Survey of some attributes of post-agricultural lands in Polish // State Forests Ecological Questions, 2015, no. 22, pp. 9–16. DOI: <http://dx.doi.org/10.12775/EQ.2015.018>
- [5] Gibson D.J., Middleton B.A., Foster K., Honu Y.A.K., Hoyer E.W., Marilyn M. Species Frequency Dynamics in an Old-Field Succession: Effects of Disturbance, Fertilization and Scale // J. of Vegetation Research, 2005, no. 16, pp. 415–422.
- [6] Третьяков С.В., Коптев С.В., Неверов Н.А., Новикова Н.С. Сохранение агрокультурных ландшафтов и устойчивое управление ими в Каргопольском секторе Кенозерского национального парка // Вестник Северного (Арктического) федерального университета. Серия «Естественные науки», 2014. № 3. С. 40–47.
- [7] Пашкевич О. Агрокультурное наследие: истоки, реалии, будущее // Наука и инновации, 2020. № 9 (211). С. 37–42.
- [8] Трапезникова О.Н. Исторический анализ динамики земледелия лесной зоны Восточно-Европейской равнины // Известия РАН. Серия географическая, 2017. № 2. С. 87–99
- [9] Козыкин А.В. Методика оценки изменений агрокультурного ландшафта на основе ГИС-обработки планов межевания 1861 г. и современного описания лесного фонда Национального парка «Кенозерский» // Историческая информатика, 2021. № 2 (36). С. 221–236.
- [10] Проект организации и ведения лесного хозяйства Кенозерского национального парка. Материалы лесоустройства 2013–2015 гг. Архангельск: Изд-во Архангельского филиала ФГУП «Рослесинфорг». 2014.
- [11] Третьяков С.В., Коптев С.В., Наквасина Е.Н. Лесная Таксация. Ч. 4. Закладка, таксация и описание пробных площадей при проведении научных исследований и подготовке выпускных квалификационных работ. Архангельск: Изд-во САФУ, 2023. 119 с.
- [12] Наквасина Е.Н., Голубева Л.В. Идентификация постагрогенных лесов в национальном парке «Кенозерский» // Вестник Северного (Арктического) федерального университета. Серия «Естественные науки», 2015. № 4. С. 75–82.
- [13] Люри Д.И., Горячкин С.В., Караваева Н.А., Денисенко Е.А., Нефедова Т.Г. Динамика сельскохозяйственных земель России в XX веке и постагрогенное восстановление растительности и почв. М.: ГЕОС, 2010. 426 с.
- [14] Матасов В.М. Внутриландшафтная динамика использования земель Мещерской низменности за последние 250 лет // Вестник Московского университета. Серия 5: География, 2017. № 4. С. 65–74.
- [15] Кукушкина О.В., Алябина И.О., Голубинский А.А., Хитров Д.А. Материалы генерального межевания как источник картографической информации для характеристики землепользования в Балахнинском уезде Нижегородской губернии // Известия РАН. Серия Географическая, 2018. № 2. С. 103–117.
- [16] Кукушкина О.В., Алябина И.О., Голубинский А.А. Опыт реконструкции земельного использования почвенного покрова Балахнинского уезда Нижегородской губернии в XVIII–XIX веках (по картографическим источникам) // Почвоведение, 2018. № 7. С. 882–892.
- [17] Кириллова В.А., Алябина И.О. Почвенная карта Европейской России 1900 года как источник информации для агроэкологической оценки земель центральных губерний (исторический аспект) // Вестник Московского университета. Серия 17. Почвоведение, 2015. № 2. С. 3–12.
- [18] Архипова М.В. Восстановление лесов на нарушенных землях в Национальном парке «Угра» // Moscow University Bulletin. Ser. 5. Geography, 2017. № 1. С. 192–199.
- [19] Милов Л.В. Великорусский пахарь и особенности российского исторического процесса. М.: РОСПЭН, 2001. 576 с.
- [20] Голубева Л.В., Наквасина Е.Н. Трансформация постагрогенных земель на карбонатных отложениях. Архангельск: Кира, 2017. 152 с.
- [21] Трубин Д.В. Агрофорест: пашня и лес в неразрывной связи // Экопотенциал, 2016. № 2(14). С. 12–21
- [22] Голубева Л.В., Наквасина Е.Н. Смена напочвенного покрова на старопашотных залежах Каргопольского района Архангельской области // Ученые записки Петрозаводского государственного университета. Вып. 6, 2014. С. 67–71.
- [23] Plieninger T., Schaich H. Socialist and postsocialist land-use legacies determine farm woodland composition and structure: lessons from Eastern Germany // Eur. J. Forest Res., 2014, no. 133, pp. 597. <https://doi.org/10.1007/s10342-014-0788-4>
- [24] Гусев А.П. Антропогенная трансформация ландшафтов и сукцессии растительности // Вестник Тюменского государственного университета. Экология и природопользование, 2015. Т. 1. № 2(2). С. 103–110.
- [25] Smit R., Olf H. Woody species colonisation in relation to habitat productivity // Plant Ecology, 1998, no. 139, pp. 203–209. DOI 10.1023/A:1009750216223
- [26] Prévosto B., Kuiters L., Bernhardt-Römermann M., Dölle M., Schmidt W., Hoffmann M., Uytvanck J.V., Bohner A., Kreiner D., Stadler J., Klotz S., Brandl R. Impacts of Land Abandonment on Vegetation: Successional Pathways in European Habitats // Folia Geobot, 2011, no. 46, pp. 303–325. DOI 10.1007/s12224-010-9096-z
- [27] Бобровский М.В. Лесные почвы Европейской России: биотические и антропогенные факторы формирования. М.: КМК, 2010. 359 с.

- [28] Clark J.D., Johnson A.H. Carbon and Nitrogen Accumulation in Post-Agricultural Forest Soils of Western New England // *Soil Sci. Soc. Am. J.*, 2011, no. 75, pp. 1530–1542. DOI 10.2136/sssaj2010.0180
- [29] Голубева Л.В., Наквасина Е.Н. Зарастание древесной растительностью постагrogenных земель на карбонатных отложениях Архангельской области // *Известия Санкт-Петербургской лесотехнической академии*. Вып. 210, 2015. С. 25–36.
- [30] Блынская Т.А., Любова С.В., Кононов О.Д., Наквасина Е.Н. Агроэкологическая оценка сельскохозяйственных угодий Архангельской области. Архангельск: Изд-во САФУ, 2013. 124 с.
- [31] Скляров Г.А., Шарова А.Н. Почвы лесов Европейского Севера. М.: Наука, 1970. 269 с.

Сведения об авторах

Козыкин Александр Владимирович — науч. сотр., ФГБУ Национальный парк «Кенозерский»
Наквасина Елена Николаевна [✉] — д-р с.-х. наук, профессор, ФГАОУ ВО «Северный (Арктический) федеральный университет имени М.В. Ломоносова» (САФУ), nakvasina@yandex.ru

Поступила в редакцию 24.04.2023.

Одобрено после рецензирования 28.06.2023.

Принята к публикации 02.05.2024.

MODERN FORESTS AS HISTORICAL LANDS TRANSFORMATION REFLECTION IN KENOZERSKY NATIONAL PARK

A.V. Kozykin¹, E.N. Nakvasina^{2✉}

¹Kenozersky National Park, 78, Severnaya Dvina Emb., 163000, Arkhangelsk, Russia

²Northern (Arctic) Federal University named after M.V. Lomonosov (NArFU), Severnaya Dvina emb., 17, 163002, Arkhangelsk, Russia

nakvasina@yandex.ru

Using the method of combining the plans of the General Land Survey of 1861 and forest management cartographic materials (Kozykin, 2021), we analyzed the structure and full-scale identification of modern forest plantations formed during natural restoration on sites of different categories of land use within the key site (with an area of more than 56 thousand hectares) of the Kenozersky National Park. It was established that over 160 years there has been a noticeable restructuring of the land fund, the share of agricultural land that is covered with forests has decreased by more than 10 times (63 % of arable land, 98 % of abandoned fields, 80 % of hay meadows). In the formed postagrogenic forests, shamrock and blueberry pine forests predominate, the share of which is more than 88 % on arable land, 72...76 % on hay meadows and abandoned fields, where plots were used more widely and had excessive moisture. Postagrogenic plantings on old arable lands, abandoned fields and hay meadows are mainly represented by IA–II bonitet classes (82...90 %). They usually have complex composition and consist of 3–5 types of regional species in different combinations, with a predominance (48...67 % of former lands) of birch. The greatest variability in the species composition of stands is characteristic of arable land. Full-scale identification of forests on former arable land and abandoned fields showed that the soils of postagrogenic forests retain their inherent effective fertility during the period of active use, which is estimated above the average values for arable soils in the Arkhangelsk region. It is proved that the history of fields and farming traditions have a significant impact on the structure and properties of agrogenically transformed soils that determine the formation of modern forests for at least two centuries.

Keywords: postagrogenic forests, general surveying plans, agricultural lands, arable land, perelogi, forest management plans, full-scale identification

Suggested citation: Kozykin A.V., Nakvasina E.N. *Sovremennyy les kak otrazhenie istoricheskoy transformatsii zemel' v Kenozerskom natsional'nom parke* [Modern forests as historical lands transformation reflection in Kenozersky national park]. *Lesnoy vestnik / Forestry Bulletin*, 2024, vol. 28, no. 4, pp. 31–42. DOI: 10.18698/2542-1468-2024-4-31-42

References

- [1] Gromtsev A.N. *Proizvodnye lesa na zapade taezhnoy zony Rossii: ponyatiya, proiskhozhdenie, identifikatsiy* [Derivative forests in the west of the taiga zone of Russia: concepts, origin, identification]. *Trudy Karel'skogo nauchnogo tsentra RAN* [Proceedings of the Karelian Scientific Center of the Russian Academy of Sciences], 2019, no. 5, pp. 5–16. DOI: 10.17076/eco900
- [2] Kopecký M., Vojta J. Land-use legacies in post-agricultural forests in the Doupovské Mountains, Czech Republic. *Applied vegetation of science*, 2009, v. 12, no. 2, pp. 251–260. DOI: 10.1111/j.1654-109X.2009.01023.x

- [3] Romanenko G.A., Ivanov A.L., Zavalin A.A. *Agroekologicheskoe sostoyanie i perspektivy ispol'zovaniya zemel' Rossii, vybyvshikh iz aktivnogo sel'skokhozyaystvennogo oborota* [Agroecological state and prospects for the use of Russian lands that have retired from active agricultural use]. Moscow: Rosinformagrotekh, 2008, 64 p.
- [4] Sewerniak P. Survey of some attributes of post-agricultural lands in Polish. State Forests Ecological Questions, 2015, no. 22, pp. 9–16. DOI: <http://dx.doi.org/10.12775/EQ.2015.018>
- [5] Gibson D.J., Middleton B.A., Foster K., Honu Y.A.K., Hoyer E.W., Marilyn M. Species Frequency Dynamics in an Old-Field Succession: Effects of Disturbance, Fertilization and Scale. J. of Vegetation Research, 2005, no. 16, pp. 415–422.
- [6] Tret'yakov S.V., Koptev S.V., Neverov N.A., Novikova N.S. *Sokhranenie agrokul'turnykh landshaftov i ustoychivoe upravlenie imi v Kargopol'skom sektore Kenozerskogo natsional'nogo parka* [Conservation of agricultural landscapes and their sustainable management in the Kargopol sector of the Kenozersky National Park]. Vestnik Severnogo (Arkticheskogo) federal'nogo universiteta. Seriya «Estestvennye nauki» [Bulletin of the Northern (Arctic) Federal University. Series «Natural Sciences»], 2014, no. 3, pp. 40–47.
- [7] Pashkevich O. *Agrokul'turnoe nasledie: istoki, realii, budushchee* [Agricultural heritage: origins, realities, future]. Nauka i innovatsii [Science and Innovation], 2020, no. 9 (211), pp. 37–42.
- [8] Trapeznikova O.N. *Istoricheskiy analiz dinamiki zemledeliya lesnoy zony Vostochno-Evropeyskoy ravniny* [Historical analysis of the dynamics of agriculture in the forest zone of the East European Plain]. Izvestiya RAN. Seriya geograficheskaya [News of the Russian Academy of Sciences. Geographical series], 2017, no. 2, pp. 87–99.
- [9] Kozykin A.V. *Metodika otsenki izmeneniy agrokul'turnogo landshafta na osnove GIS-obrabotki planov mezhevaniya 1861 g. i sovremennogo opisaniya lesnogo fonda Natsional'nogo parka «Kenozerskiy»* [Methodology for assessing changes in the agricultural landscape based on GIS processing of land survey plans of 1861 and modern description of the forest fund of the Kenozersky National Park]. Istoricheskaya informatika [Historical Informatics], 2021, no. 2 (36), pp. 221–236.
- [10] *Proekt organizatsii i vedeniya lesnogo khozyaystva Kenozerskogo natsional'nogo parka. Materialy lesoustroystva 2013–2015 gg.* [Project for organizing and maintaining forestry in the Kenozersky National Park. Forest inventory materials 2013–2015]. Arkhangel'sk: Arkhangel'sk branch of FSUE «Roslesinforg», 2014.
- [11] Tret'yakov S.V., Koptev S.V., Nakvasina E.N. *Lesnaya Taksatsiya. Ch. 4. Zakladka, taksatsiya i opisaniye probnykh ploshchadey pri provedenii nauchnykh issledovaniy i podgotovke vypusknnykh kvalifikatsionnykh rabot* [Forest Taxation. Part 4. Landmarking, inventory and description of trial plots during scientific research and preparation of final qualifying works]. Arkhangel'sk: NArFU, 2023, 119 p.
- [12] Nakvasina E.N., Golubeva L.V. *Identifikatsiya postagrogennykh lesov v natsional'nom parke «Kenozerskiy»* [Identification of postagrogenic forests in the Kenozersky National Park]. Vestnik Severnogo (Arkticheskogo) federal'nogo universiteta. Seriya «Estestvennye nauki» [Bulletin of the Northern (Arctic) Federal University. Series «Natural Sciences»], 2015, no. 4, pp. 75–82.
- [13] Lyuri D.I., Goryachkin S.V., Karavaeva N.A., Denisenko E.A., Nefedova T.G. *Dinamika sel'skokhozyaystvennykh zemel' Rossii v KhKh veke i postagrogennoe vosstanovlenie rastitel'nosti i pochv* [Dynamics of agricultural lands in Russia in the twentieth century and post-agrogenic restoration of vegetation and soils]. Moscow: GEOS, 2010, 426 p.
- [14] Matasov V.M. *Vnutrilandshaftnaya dinamika ispol'zovaniya zemel' Meshcherskoy nizmennosti za poslednie 250 let* [Intralandscapes dynamics of land use in the Meshchera Lowland over the past 250 years]. Vestnik Moskovskogo universiteta. Seriya 5: Geografiya [Bulletin of Moscow University. Series 5: Geography], 2017, no. 4, pp. 65–74.
- [15] Kukushkina O.V., Alyabina I.O., Golubinskiy A.A., Khitrov D.A. *Materialy general'nogo mezhevaniya kak istochnik kartograficheskoy informatsii dlya kharakteristiki zemlepol'zovaniya v Balakhninskom uezde Nizhegorodskoy gubernii* [Materials of general surveying as a source of cartographic information to characterize land use in the Balakhninsky district of the Nizhny Novgorod province]. Izvestiya RAN. Seriya Geograficheskaya [Izvestia of the Russian Academy of Sciences. Geographical Series], 2018, no. 2, pp. 103–117.
- [16] Kukushkina O.V., Alyabina I.O., Golubinskiy A.A. *Opyt rekonstruktsii zemledel'cheskogo ispol'zovaniya pochvennogo pokrova Balakhninskogo uezda Nizhegorodskoy gubernii v XVIII–XIX vekakh (po kartograficheskim istochnikam)* [Experience in reconstructing the agricultural use of soil cover in the Balakhninsky district of the Nizhny Novgorod province in the 18th–19th centuries (based on cartographic sources)]. Pochvovedenie [Pochvovedenie], 2018, no. 7, pp. 882–892.
- [17] Kirillova V.A., Alyabina I.O. *Pochvennaya karta Evropeyskoy Rossii 1900 goda kak istochnik informatsii dlya agroekologicheskoy otsenki zemel' tsentral'nykh guberniy (istoricheskiy aspekt)* [Soil map of European Russia in 1900 as a source of information for agroecological assessment of the lands of the central provinces (historical aspect)]. Vestnik Moskovskogo universiteta. Seriya 17. Pochvovedenie [Bulletin of Moscow University. Series 17. Soil Science], 2015, no. 2, pp. 3–12.
- [18] Arkhipova M.V. *Vosstanovlenie lesov na narushennykh zemlyakh v Natsional'nom parke «Ugra»* [Reforestation on disturbed lands in the Ugra National Park]. Moscow University Bulletin. Ser. 5. Geography [Moscow University Bulletin. Ser. 5. Geography], 2017, no. 1, pp. 192–199.
- [19] Milov L.V. *Velikorusskiy pakhar' i osobennosti rossiyskogo istoricheskogo protsessa* [The Great Russian plowman and the features of the Russian historical process]. Moscow: Rospen, 2001, 576 p.
- [20] Golubeva L.V., Nakvasina E.N. *Transformatsiya postagrogennykh zemel' na karbonatnykh otlozheniyakh* [Transformation of postagrogenic lands on carbonate deposits]. Arkhangel'sk: Kira, 2017, 152 p.
- [21] Trubin D.V. *Agroforest: pashnya i les v nerazryvnoy svyazi* [Agroforest: arable land and forest in an inextricable connection]. Ekopotentsial [Ecopotential], 2016, no. 2(14), pp. 12–21.
- [22] Golubeva L.V., Nakvasina E.N. *Smena napochvennogo pokrova na staropakhotnykh zalezakh Kargopol'skogo rayona Arkhangel'skoy oblasti* [Change of ground cover on old arable fallows of the Kargopol district of the Arkhangel'sk region]. Uchenye zapiski Petrozavodskogo gosudarstvennogo universiteta. Vyp. 6 [Scientific notes of Petrozavodsk State University], 2014, v. 6, pp. 67–71.
- [23] Plieninger T., Schaich H. Socialist and postsocialist land-use legacies determine farm woodland composition and structure: lessons from Eastern Germany. Eur. J. Forest Res., 2014, no. 133, pp. 597. <https://doi.org/10.1007/s10342-014-0788-4>

- [24] Gusev A.P. *Antropogennaya transformatsiya landshaftov i suktsessii rastitel'nosti* [Anthropogenic transformation of landscapes and vegetation succession]. *Vestnik Tyumenskogo gosudarstvennogo universiteta. Ekologiya i prirodopol'zovanie* [Bulletin of Tyumen State University. Ecology and environmental management], 2015, v. 1, no. 2(2), pp. 103–110.
- [25] Smit R., Olff H. Woody species colonisation in relation to habitat productivity. *Plant Ecology*, 1998, no. 139, pp. 203–209. DOI 10.1023/A:1009750216223
- [26] Prévosto B., Kuiters L., Bernhardt-Römermann M., Dölle M., Schmidt W., Hoffmann M., Uytvanck J.V., Bohner A., Kreiner D., Stadler J., Klotz S., Brandl R. Impacts of Land Abandonment on Vegetation: Successional Pathways in European Habitats. *Folia Geobot*, 2011, no. 46, pp. 303–325. DOI 10.1007/s12224-010-9096-z
- [27] Bobrovskiy M.V. *Lesnye pochvy Evropeyskoy Rossii: bioticheskie i antropogennye faktory formirovaniya* [Forest soils of European Russia: biotic and anthropogenic factors of formation]. Moscow: KMK Scientific Publishing Company, 2010, 359 p.
- [28] Clark J.D., Johnson A.H. Carbon and Nitrogen Accumulation in Post-Agricultural Forest Soils of Western New England. *Soil Sci. Soc. Am. J.*, 2011, no. 75, pp. 1530–1542. DOI 10.2136/sssaj2010.0180
- [29] Golubeva L.V., Nakvasina E.N. *Zarastanie drevesnoy rastitel'nosti'yu postagrogennykh zemel' na karbonatnykh otlozheniyakh Arkhangel'skoy oblasti* [Overgrowth of woody vegetation on postagrogenic lands on carbonate deposits of the Arkhangel'sk region]. *Izvestiya Sankt-Peterburgskoy lesotekhnicheskoy akademii* [News of the St. Petersburg Forestry Academy], 2015, v. 210, pp. 25–36.
- [30] Blynskaya T.A., Lyubova S.V., Kononov O.D., Nakvasina E.N. *Agroekologicheskaya otsenka sel'skokhozyaystvennykh ugodiy Arkhangel'skoy oblasti* [Agroecological assessment of agricultural land in the Arkhangel'sk region]. Arkhangel'sk: NARFU, 2013, 124 p.
- [31] Sklyarov G.A., Sharova A.N. *Pochvy lesov Evropeyskogo Severa* [Soils of forests of the European North]. Moscow: Nauka, 1970, 269 p.

The research was carried out within the framework of the theme «Study of the impact of historical slash-and-burn and swidden farming on the current state of natural complexes and formation of cultural landscapes of Kenozersky National Park on the basis of archival cartographic documents, remote sensing materials and field research data».

Authors' information

Kozykin Aleksandr Vladimirovich — Reseacher, Kenozersky National Park

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

Received 24.04.2023.

Approved after review 28.06.2023.

Accepted for publication 02.05.2024.

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

ОЦЕНКА ВЛИЯНИЯ КЛИМАТИЧЕСКОГО РЕЖИМА НА ОТНОСИТЕЛЬНУЮ ИНТЕНСИВНОСТЬ ДЕПОНИРОВАНИЯ УГЛЕРОДА В ДРЕВОСТОЯХ СОСНЫ ОБЫКНОВЕННОЙ В УСЛОВИЯХ КАРБОНОВОГО ПОЛИГОНА ФРЯНОВСКОГО ЛЕСНИЧЕСТВА (МОСКОВСКАЯ ОБЛАСТЬ)

Д.Е. Румянцев^{1✉}, С.И. Чумаченко¹, В.А. Липаткин¹, В.В. Киселева¹,
У.С. Шипинская¹, Д.В. Лежнев², А.Е. Парфенова³

¹ФГБОУ 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

²ФГБУН «Институт лесоведения Российской академии наук» (ИЛАН РАН), Россия, 143030, Московская обл., с. Успенское, ул. Советская, д. 21

³Департамент природопользования и охраны окружающей среды города Москвы, Россия, 119019, Москва, ул. Новый Арбат, д. 11

dendro15@list.ru

Приведены данные дендрохронологических исследований, характеризующих относительную интенсивность депонирования углерода в древесине культур сосны обыкновенной после проведения рубок ухода в молодняках и в отсутствие таких рубок. Влияние прочистки на величину радиального прироста признано статистически недостоверным. Показано, что после стабилизации хода роста по диаметру годовичные колебания радиального прироста имеют выраженную климатическую обусловленность. Получено регрессионное уравнение, связывающее индексы прироста со среднемесячными температурами января текущего и предшествующего года, октября предшествующего года и количеством осадков в июле текущего года. Показано, что данное уравнение не на всех этапах развития насаждения удовлетворительно описывает динамику радиального прироста. Сделан вывод о нестационарности климатического сигнала в исследованной древесно-кольцевой хронологии, что связано со сменой экологических условий среды, сопряженной со сменой типа леса в процессе роста и развития насаждения.

Ключевые слова: сосна обыкновенная, дендрохронология, дендроклиматология, депонирование углерода, карбонный полигон

Ссылка для цитирования: Румянцев Д.Е., Чумаченко С.И., Липаткин В.А., Киселева В.В., Шипинская У.С., Лежнев Д.В., Парфенова А.Е. Оценка влияния климатического режима на относительную интенсивность депонирования углерода в древостоях сосны обыкновенной в условиях карбонного полигона Фрянковского лесничества (Московская область) // Лесной вестник / Forestry Bulletin, 2024. Т. 28. № 4. С. 43–52.
DOI: 10.18698/2542-1468-2024-4-43-52

Депонирование углерода в лесных экосистемах приобретает все большее значение в связи с протекающими процессами глобального потепления климата. Для количественного учета процессов, влияющих на это явление важно вести стационарные лесозоологические исследования на сети карбонных полигонов. Эффективность использования дендрохронологической информации для учета процессов депонирования углерода отмечена в некоторых исследованиях [1–3]. Сосна обыкновенная хорошо изучена в дендрохронологическом и дендроклиматическом отношении. Результаты предыдущих исследований показали, что влияние климатических факторов на прирост сосны сильно отличается как в региональном аспекте, так и в пределах локальных биотопов внутри отдельных регионов [4–22]. Это делает актуальным наполнение базы данных о характере

влияния климатических факторов на динамику ширину годовичного кольца сосны, что в свою очередь создает объективную основу для прогнозирования реакции сосновых лесов на разные сценарии глобального изменения климата.

Цель работы

Цель работы — оценка относительной интенсивности депонирования углерода древостоем сосны обыкновенной (*Pinus sylvestris* L.) в зависимости от погодных условий вегетационного сезона текущего и предшествующего года, а также в период отсутствия вегетации.

Материалы и методы

Объектом исследования служил заложенный в 2022 г. исследовательский полигон площадью 9,02 га, расположенный на территории Фрянковского участкового лесничества (Аксеновский лесохозяйственный участок) Московского учебно-

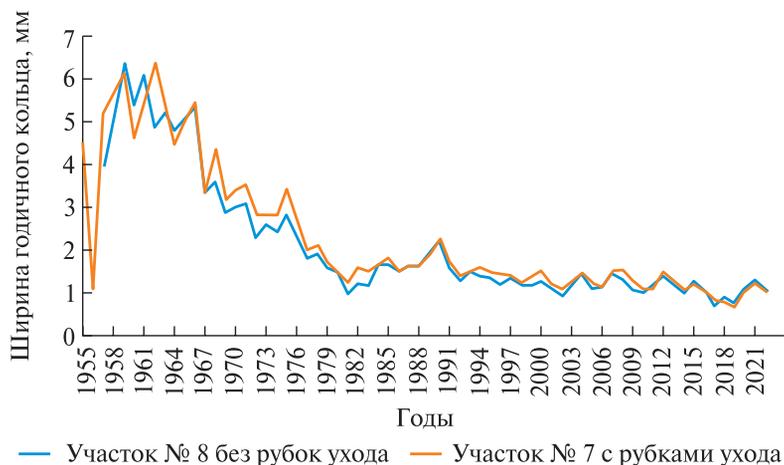


Рис. 1. Динамика радиального прироста в двух исследуемых древостоях сосны
Fig. 1. The dynamics of radial growth in the two studied pine stands

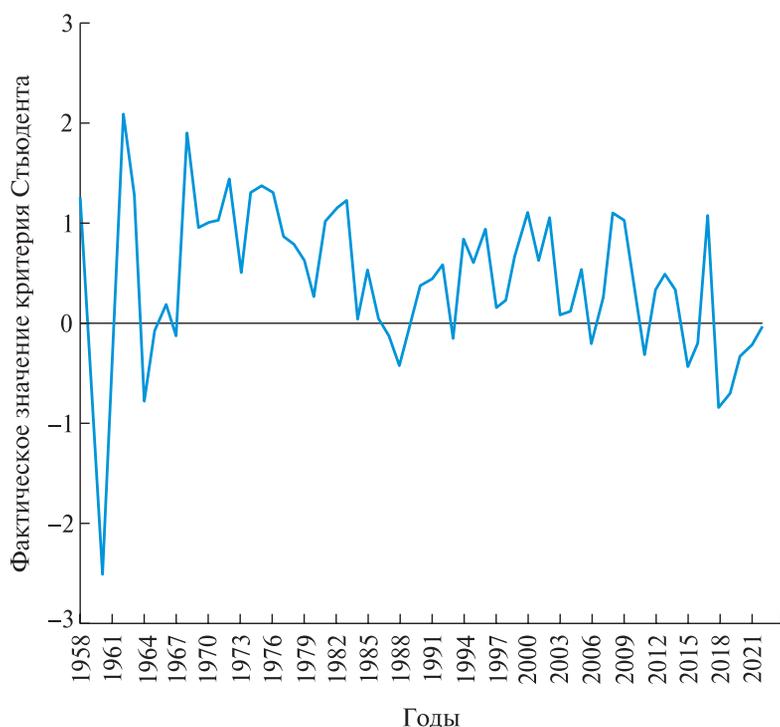


Рис. 2. Динамика фактического значения критерия Стьюдента, характеризующая достоверность отличий по ширине годичного кольца для двух древостоев
Fig. 2. Dynamics of the actual value of the Student's criterion, characterizing the reliability of differences in the width of the annual ring for two stands

опытного лесничества в выделе 40 квартала 25. Согласно таксационным данным 1974 г. выдел 40 квартала 25 занимал площадь 12 га. Выдел характеризуется типом лесорастительных условий С₃ и кисличным типом леса. Почва дерново-средне-подзолистая, среднесуглинистая на морене (мощность суглинков 41...80 см), глубина залегания грунтовых вод более 120 см, глубина залегания глеевого горизонта более 120 см.

В 1953 г. после вырубki насаждения неустановленного породного состава и предваритель-

ной обработки почвы была произведена посадка лесных культур сосны. Достоверных данных о подготовке почвы и о схеме посадки не сохранилось. Вполне вероятно, что в процессе подготовки почвы была проведена раскорчевка и нарезка борозд. В гребень были посажены сеянцы сосны. В низких местах часть посаженных культур погибла, хотя в целом насаждение сохранилось. В 2020 г. древостой имел состав 6СЗБ1Е, средний диаметр 24 см и среднюю высоту 27 м. В таксационном описании 1984 г. тип леса на данном выделе

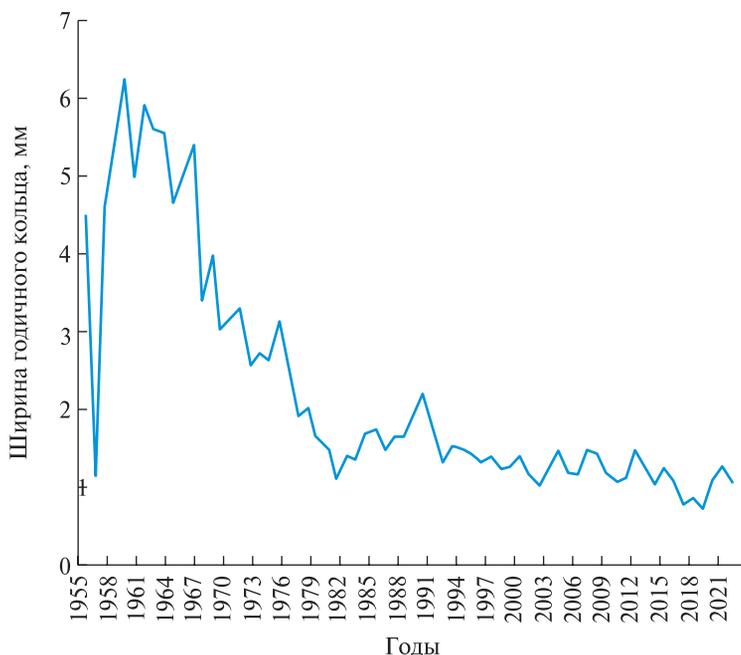


Рис. 3. Динамика ширины годичного кольца в исследуемой хронологии
 Fig. 3. Dynamics of the annual ring width in the chronology under study

был диагностирован как сложно-широколистный. Эта же характеристика дана в таксационных описаниях 1994, 2004, 2020 гг. Согласно исследованиям 2022 г., данный тип леса следовало бы диагностировать как разнотравно-кисличный.

В настоящем исследовании использован материал по сосне обыкновенной, полученный на основе отбора кернов древесины на двух участках полигона — участок 7 (с рубками ухода) и участок 8 (без рубок ухода). Рубка ухода (прочистка) проводилась в 1975 г. на площади 3,2 га и 8,2 га с интенсивностью 20 %.

Исследования велись по стандартной методике, обоснование которой изложено ранее [23]. С каждого участка буравом Пресслера отбирали по 15 кернов на высоте 1,3 м от поверхности земли (один керн с каждого учетного дерева). Измерения ширины годичных колец на кервах велись с использованием микроскопа бинокулярного стереоскопического (МБС-10) с точностью до 0,05 мм. Для контроля за правильностью измерений использовалась процедура перекрестной датировки в программе GrowLine [24].

Результаты и обсуждение

В ходе исследований были получены обобщенные хронологии для двух участков, характеризующие погодичную динамику радиального прироста (рис. 1).

Хронологии имеют очень высокий уровень сходства (коэффициент корреляции +0,98). Оценка достоверности отличий по ширине годичного кольца между хронологиями была проведена на

основе расчета фактического значения критерия Стьюдента и сопоставления этого показателя с данными о стандартном значении критерия Стьюдента (рис. 2). С учетом того, что анализируются временные ряды такого рода расчет необходимо вести для каждой точки временного ряда отдельно и рассматривать динамику фактического значения критерия Стьюдента (см. рис. 2).

Для уровня доверительной вероятности 0,05 и числа степеней свободы 28 стандартное значение критерия Стьюдента равно 2,05 [25]. Таких значений (по модулю) рассматриваемый временной ряд достигает в двух точках (в 1960 и в 1962), причем рассматриваемые значения лежат на границе порога достоверности (2,05 и 2,07 соответственно). Для всех остальных лет значения отличий по ширине годичного кольца между двумя рассматриваемыми древостоями недостоверны. Этот факт в совокупности с высоким значением коэффициента корреляции между хронологиями (0,98) дает основания для построения обобщенной для двух участков хронологии (рис. 3), которая может быть использована для отдельных видов анализа.

Экстремально узкое годичное кольцо 1956 года в данном случае, по-видимому, характеризует повреждение только одного дерева (например, скусывание его верхушки лосем). Ярко выражен «период большого роста» в 1957–1967 гг., резкое снижение ширины годичного кольца в 1967–1977 гг. и фактический выход значений прироста на «плато» в период 1978–2022 гг. (иначе — период резкого замедления темпов снижения прироста). При анализе причин формирования

локальных экстремумов прироста наиболее подходит временной интервал 1978–2022 гг., когда кривая выходит на «плато».

Погодичные колебания радиального прироста имеют выраженную климатическую обусловленность [9, 26]. Дендроклиматический анализ дает возможность установить, как изменяется относительная интенсивность депонирования углерода древостоем при разных погодных условиях, и дает базовую информацию для формирования прогнозов об изменении интенсивности депонирования углерода лесной экосистемой при разных сценариях изменения климата.

Расчет значений коэффициентов корреляции между временными рядами радиального прироста и временными рядами метеопараметров (среднемесячная температура, месячная сумма осадков) [27] проводился как для метеоусловий календарного года формирования годичного кольца, так и для метеоусловий года, предшествовавшего году формирования годичного кольца. Расчет проводился для временного интервала 1961–2022 гг., когда высоты 1,3 м от поверхности земли достигло более 50 % учетных деревьев (табл. 1–4).

В ходе исследований было установлено, что на прирост сосны на обоих рассматриваемых участках достоверно положительно влияют повышенные температуры января прошлого и текущего календарного года; повышенные температуры октября прошлого календарного года (прошлого по отношению к календарному году формирования годичного кольца) и повышенные осадки июля текущего года. Важно, что температуры января текущего года и температуры января прошлого года имеют при этом низкую степень взаимной корреляции (0,16). Это свидетельствует о том, что данные метеопараметры выступают как независимые экологические факторы, влияющие на величину радиального прироста сосны в исследуемых древостоях. Кроме того, для хронологий по каждому отдельному участку характерно наличие специфичных корреляций с метеопараметрами: с температурами марта прошлого года, с температурами сентября прошлого года. Индексированные хронологии по радиальному приросту имеют высокий уровень сходства между собой (коэффициент корреляции 0,88), что дает основания для построения обобщенной по двум участкам хронологии и моделирования динамики радиального прироста на основе уравнения линейной регрессии (рис. 4).

Регрессионный анализ позволил смоделировать динамику индексов прироста в зависимости от динамики четырех метеофакторов с коэффициентом корреляции 0,58 и общим коэффициентом детерминации 0,33. Модель (рис. 5) выражается уравнением вида

$$Y = 0,926949 + 0,00876 \times T1 + 0,009238 \times T1_{-1} + 0,018873 \times T10_{-1} + 0,000659 \times O7,$$

где $T1$ — среднемесячная температура января в календарный год формирования годичного кольца, °С;

$T1_{-1}$ — среднемесячная температура января в год, предшествующий календарному году формирования годичного кольца, °С;

$T10_{-1}$ — среднемесячная температура октября в год, предшествующий календарному году формирования годичного кольца, °С;

$O7$ — месячная сумма осадков июля в календарный год формирования годичного кольца, мм.

Анализируя кривые на рис. 5, отметим, что характер сопряженности их колебаний отличается в разные периоды роста. Таким образом, низкий коэффициент детерминации для временного интервала 1961–2022 гг. объясняется нестационарностью временного ряда по характеристикам влияния климатических факторов на величину прироста. Количественно данные отличия можно выразить (индексировать) путем расчета скользящего коэффициента корреляции (например, за 16 лет) (рис. 6).

Таким образом, временной ряд действительно нестационарен: он имеет временные интервалы, на которых полученная регрессионная модель очень хорошо отражает динамику радиального прироста, имеет участки, когда модель дает средние по прогностической ценности результаты, и имеет временной интервал, на котором модель не соответствует реальным значениям динамики индексов прироста. В итоге сочетания такого рода условий общий коэффициент детерминации модели на временном интервале 1961–2022 гг. оказывается довольно низким.

Расчеты показали, что в первые 16 лет жизни древостоев связь динамики индексов прироста и динамики модельных значений индексов прироста очень тесная: коэффициент корреляции равен 0,84, что достоверно на уровне доверительной вероятности 0,01. Затем корреляция начинает снижаться, достигая минимума (0,12) в период 1986–2001 гг. Далее значение скользящего коэффициента корреляции вновь начинает расти и начиная с периода 1999–2014 гг. он имеет только достоверные значения при уровне доверительной вероятности 0,05 (от 0,47 и более). Таким образом, климатический сигнал в исследуемой хронологии не стационарен. Вероятно, что установленная динамика характеризует смену лесорастительных условий/типа леса на выделе. Первоначально тип леса на участке был диагностирован как кисличный, затем как сложнострококотравный (и, по-видимому, какое-то время

Т а б л и ц а 1

Значения коэффициентов корреляции между рядами индексов прироста и рядами среднемесячных температур в календарный год формирования годичного кольца

The correlation coefficients values between the growth indices series and the series of average monthly temperatures in the calendar year of the annual ring formation

Месяц	Участок с рубками ухода	Участок без рубок ухода	Обобщенная хронология
Январь	0,36	0,35	0,37
Февраль	0,10	0,01	0,06
Март	0,18	0,14	0,17
Апрель	0,21	0,14	0,18
Май	-0,06	0,02	-0,02
Июнь	-0,05	0,01	-0,02
Июль	-0,02	-0,03	-0,03
Август	0,05	0,00	0,02
Сентябрь	-0,04	-0,05	-0,05
Октябрь	0,20	0,18	0,19
Ноябрь	0,02	-0,14	-0,06
Декабрь	-0,03	-0,01	-0,02

Примечание. Здесь и в табл. 2, 3 выделены значения коэффициентов корреляции, достоверные при числе степеней свободы 60 и уровне доверительной вероятности 0,05.

Т а б л и ц а 3

Значения коэффициентов корреляции между рядами индексов прироста и рядами среднемесячных температур в год, предшествовавший календарному году формирования годичного кольца

The correlation coefficients values between the series of growth indices and the series of average monthly temperatures in the year preceding the calendar year of the annual ring formation

Месяц	Участок с рубками ухода	Участок без рубок ухода	Обобщенная хронология
Январь	0,40	0,32	0,37
Февраль	0,16	0,04	0,10
Март	0,27	0,16	0,23
Апрель	0,03	0,02	0,03
Май	0,04	0,12	0,08
Июнь	0,23	0,08	0,16
Июль	0,13	0,19	0,16
Август	-0,06	-0,01	-0,04
Сентябрь	0,19	0,27	0,24
Октябрь	0,46	0,29	0,39
Ноябрь	-0,07	-0,09	-0,08
Декабрь	0,22	0,23	0,23

Т а б л и ц а 2

Значения коэффициентов корреляции между рядами индексов прироста и рядами месячных сумм осадков в календарный год формирования годичного кольца

The correlation coefficients values between the series of growth indices and the series of monthly precipitation amounts in the calendar year of the annual ring formation

Месяц	Участок с рубками ухода	Участок без рубок ухода	Обобщенная хронология
Январь	0,12	0,16	0,14
Февраль	0,16	0,13	0,15
Март	0,07	0,03	0,05
Апрель	0,07	0,00	0,04
Май	0,16	0,13	0,15
Июнь	0,08	0,06	0,07
Июль	0,30	0,30	0,31
Август	0,06	0,08	0,07
Сентябрь	0,14	0,21	0,18
Октябрь	0,05	-0,03	0,01
Ноябрь	-0,02	-0,06	-0,04
Декабрь	-0,10	-0,05	-0,08

Т а б л и ц а 4

Значения коэффициентов корреляции между рядами индексов прироста и рядами месячных сумм осадков в год, предшествовавший календарному году формирования годичного кольца

The correlation coefficients values between the series of growth indices and the series of monthly precipitation amounts in the year preceding the calendar year of the annual ring formation

Месяц	Участок с рубками ухода	Участок без рубок ухода	Обобщенная хронология
Январь	0,01	-0,01	0,00
Февраль	-0,12	-0,15	-0,14
Март	-0,06	-0,19	-0,13
Апрель	-0,04	0,00	-0,02
Май	0,00	-0,07	-0,04
Июнь	-0,02	0,05	0,01
Июль	0,00	-0,12	-0,06
Август	0,06	-0,15	-0,04
Сентябрь	-0,09	-0,02	-0,06
Октябрь	-0,01	0,01	0,00
Ноябрь	-0,07	-0,10	-0,09
Декабрь	-0,11	-0,09	-0,10

данная характеристика без корректировки воспроизводилась в таксационных описаниях), на конечном этапе исследований после выпол-

нения серии геоботанических описаний тип леса был диагностирован как разнотравно-кисличный. Известно, что о смене типа условий

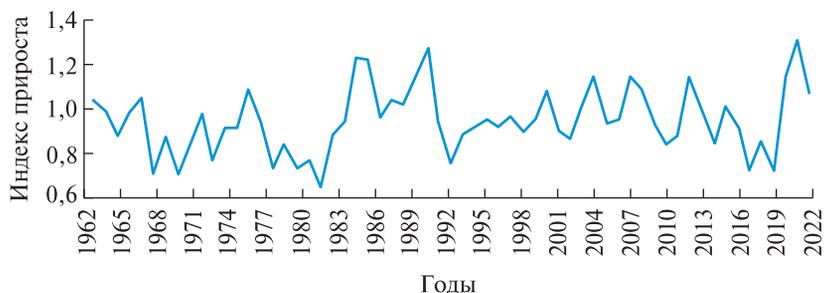


Рис. 4. Динамика индексов прироста в древостоях сосны
Fig. 4. Dynamics of growth indices in pine stands

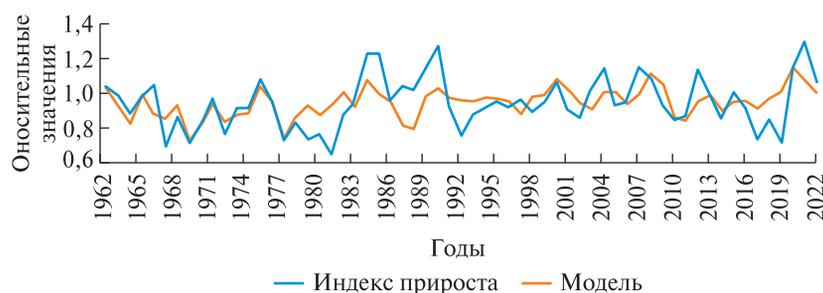


Рис. 5. Сравнительная динамика реальных и расчетных значений индекса радиального прироста
Fig. 5. Comparative dynamics of real and calculated values of the radial growth index

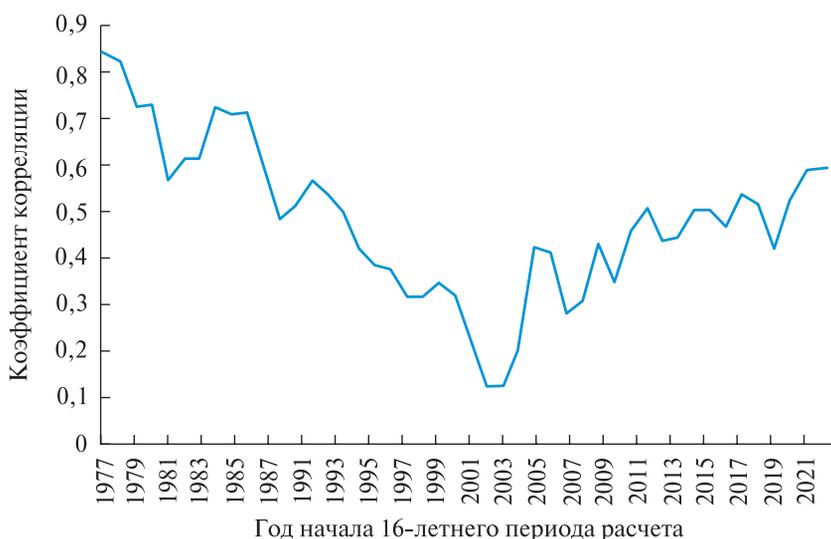


Рис. 6. Динамика скользящего коэффициента корреляции
Fig. 6. Sliding correlation coefficient dynamics

произрастания в связи с изменением возраста древостоя говорит В.В. Загреев [28]. Более подробно данный вопрос рассмотрен в статье В.А. Липаткина [29]. Изменение типа леса/типа условий произрастания закономерным образом должно сказываться на характере климатической обусловленности колебания величины радиального прироста сосны обыкновенной [5, 6], что, по всей видимости, мы и наблюдаем, анализируя динамику графика (см. рис. 6).

Выводы

Долговременный рост температур (который в Московском регионе особенно четко выражен для зимнего периода) будет в итоге положительно отражаться на углероддепонирующем процессе в данном конкретном насаждении. В глобальном масштабе это может свидетельствовать о том, что увеличение концентрации углекислого газа в атмосфере по мере роста температур в некото-

рой степени будет компенсироваться усилением углероддепонирующей функции ряда лесных экосистем.

Список литературы

- [1] Кнорре А.А. Интеграционные подходы и методы дендрохронологии в изучении динамических процессов наземных экосистем разного типа. Диссертация на соискание ученой степени д-ра биол. наук. Красноярск: Изд-во СФУ, 2023. 301 с.
- [2] Таранков В.И. Мониторинг лесных экосистем. Воронеж: Изд-во ВГЛТА, 2006. 299 с.
- [3] Таранков В.И., Мельников Е.Е., Акулов В.В., Матвеев С.М. Дендрохронологические аспекты продуктивности основных лесообразующих пород Центральной лесостепи // Лесной журнал, 2008. Вып. 36. С. 11–17.
- [4] Битвинскас Т.Т. Динамика прироста сосновых насаждений Литовской СССР и возможности его прогноза: автореф. дис. ... канд. с.-х. наук. М.: Изд-во ТСХА, 1966. 15 с.
- [5] Румянцев Д.Е. Диагностика особенностей роста сосны и ели в Южной Карелии с использованием методов дендрохронологии: дис. ... канд. биол. наук. М.: Изд-во МГУЛ, 2004. 115 с.
- [6] Epishkov A.A., Lipatkin V.A., Frolova V.A., Sidorenkov V.M., Vorobyeva N.S., Rumyantsev D.E. Radial growth dynamics in Scots pine forests of the Yaloturovsky forest district of Tyumen region // Ecology, Environment and Conservation, 2022, v. 28 (3), pp. 1252–1251.
- [7] Kirchheer A.J. Dendroclimatology on Scots pine (*Pinus sylvestris* L.) in northern Norway. Dis. Dr. Sci. Norway, University of Tromsø, Faculty of Science, Department of Biology, 1999, 121 p.
- [8] Vitas A. Dendroclimatological research of Scots pine (*Pinus Sylvestris* L.) in the Baltic coastal zone of Lithuania // Baltic Forestry, 2004, v. 10, no. 1, pp. 65–71.
- [9] Wilczynski S., Scrzyewski J. Dendrochronology of Scots pine (*Pinus sylvestris* L.) in the mountains of Poland // J. of Forest Science, 2003, v. 49 (3), pp. 95–105.
- [10] Ваганов Е.А., Качаев А.В. Дендроклиматический анализ роста сосны в лесоболотных фитоценозах Томской области // Лесоведение, 1992. № 6. С. 3–10
- [11] Бекетов А.Н. О влиянии климата на возрастание сосны и ели // Труды первого съезда русских естествоиспытателей. СПб.: Типография императорской академии наук, 1868. С. 111–163
- [12] Кудинов А.А. Результаты анализа особенностей роста сосны на побережьях Рыбинского водохранилища: автореф. дис. ... канд. с.-х. наук. М.: Изд-во МЛТИ, 1969. 26 с.
- [13] Матвеев С.М. Дендроиндикация динамики состояния сосновых насаждений Центральной лесостепи. Воронеж: Изд-во ВГУ, 2003. 269 с.
- [14] Мелехова Т.А. Формирование годичного слоя сосны в связи с лесорастительными условиями // Труды Архангельского лесотехнического института им. В.В. Куйбышева, 1954. Т. 54. С. 123–138.
- [15] Тольский А.П. К вопросу о влиянии температуры и осадков на прирост сосны в толщину // Лесной журнал, 1904. № 5. С. 858–868.
- [16] Феклистов П.А., Евдокимов В.Н., Барзут М.В. Биологические и экологические особенности роста сосны в северной подзоне европейской тайги. Архангельск: Изд-во АГТУ, 1997. 140 с.
- [17] Щекалев Р.В., Тарханов С.Н. Радиальный прирост и качество древесины сосны обыкновенной в условиях атмосферного загрязнения. Екатеринбург: Изд-во УрО РАН, 2006. 127 с.
- [18] Dursky J., Pavlickova A. Dendroclimaticky model borovice lesnej na zahorskej nizine // Acta facultatis forestalis. XL. Zvolen: Vedrala Technicka univerzita, 1998, pp. 85–97.
- [19] Feliksik E, Wilczynski S. The influence of temperature and rainfall on the increment width of native and foreign tree species from the Istebna Forest District // Folia forestalia Polonica. Series A., 2001, no. 43, pp. 103–114.
- [20] Lindholm M., Lehtonen H., Kolstrom T., Merilainen J., Eronen M., Timonen M. Climatic signals extracted from ring-width chronologies of Scots pine from the northern, middle and southern parts of the boreal forest belt in Finland // Silva Fennica, 2000, v. 34, no. 4, pp. 317–330.
- [21] Linderholm H.W. Climatic influence on Scots pine growth on dry and wet soils in the central Scandinavian mountains, interpreted from tree-ring width // Silva Fennica, 2001, v. 35, no. 4, pp. 415–424.
- [22] Wilczynski S., Krapiec M., Szychowska-Krapiec E., Zielski A. Regiony dendroklimatyczne sosny zwyczajnej (*Pinus sylvestris* L.) w Polsce // Sylwan, 2001, no. 8, pp. 53–61.
- [23] Румянцев Д.Е. Потенциал использования дендрохронологической информации в лесной науке и практике: дис. ... д-ра биол. наук. М.: Изд-во ВГЛТА, 2011. 354 с.
- [24] Липаткин В.А., Мазитов С.Ю. Перекрестная датировка дендрохронологических рядов с помощью ПЭВМ // Научные труды МГУЛ. Экология, мониторинг и рациональное природопользование. М.: Изд-во МГУЛ, 1997. Вып. 288 (1). С. 103–110.
- [25] Лакин Г.Ф. Биометрия. М.: Высшая школа, 1973. 343 с.
- [26] Соломина О.Н. Засухи Восточно-Европейской равнины по гидрометеорологическим и дендрохронологическим данным. СПб.: Нестор-История, 2017. 360 с.
- [27] Fritts H.C. Tree rings and climate. London–New York–San Francisco: Academic press, 1976, 576 p.
- [28] Загребев В.В. Географические закономерности роста и продуктивности древостоев. М.: Лесная пром-сть, 1978. 240 с.
- [29] Липаткин В.А. Динамика условий местопроизрастания и ее влияние на состояние лесных насаждений и отдельных деревьев // Научные труды МГУЛ. Экология, мониторинг и рациональное природопользование. М.: МГУЛ, 1997. Вып. 288 (1). С. 79–94.
- [30] Douglass A.E. Climatic cycles and tree-growth. A study the annual rings of trees in relation to climate and solar activity. Washington: Carnegie institution, 1919, 127 p.
- [31] Jozsa L.A. Contributions of tree-ring dating and wood structure analysis to the forensic sciences // Canadian Society Forensic Science J., 1985, v. 18, no. 4, pp. 200–210.
- [32] Schweingruber F.H. Tree-rings and Environment. Dendroecology. Birmensdorf, Swiss Federal Institute for Forest, Snow and Landscape Researches. Bern, Stuttgart, Vienna: Haupt, 1996, 609 p.

Сведения об авторах

Румянцев Денис Евгеньевич [✉] — д-р биол. наук, профессор кафедры «Лесоводство, экология и защиты леса», ФГБОУ ВО «Московский государственный технический университет имени Н.Э. Баумана (национальный исследовательский университет)» (Мытищинский филиал), dendro15@list.ru

Чумаченко Сергей Иванович — д-р биол. наук, зав. кафедрой «Лесоуправление, лесоустройство и геоинформационные системы», ФГБОУ ВО «Московский государственный технический университет имени Н.Э. Баумана (национальный исследовательский университет)» (Мытищинский филиал), chumachenko.s.i@gmail.com

Липаткин Владимир Александрович — канд. биол. наук, доцент, зав. кафедрой «Лесоводство, экология и защиты леса», ФГБОУ ВО «Московский государственный технический университет имени Н.Э. Баумана (национальный исследовательский университет)» (Мытищинский филиал), lipatkin@mgul.ac.ru

Киселева Вера Владимировна — канд. биол. наук, доцент кафедры «Лесоуправление, лесоустройство и геоинформационные системы», ФГБОУ ВО «Московский государственный технический университет имени Н.Э. Баумана (национальный исследовательский университет)» (Мытищинский филиал), vvkisel@mail.ru

Шипинская Ульяна Сергеевна — аспирант кафедры «Ландшафтная архитектура и садово-парковое строительство», ФГБОУ ВО «Московский государственный технический университет имени Н.Э. Баумана (национальный исследовательский университет)» (Мытищинский филиал), ylanashipinska@mail.ru

Лежнев Даниил Викторович — мл. науч. сотр. лаборатории лесоводства и биологической продуктивности, ФГБУН «Институт лесоведения Российской академии наук» (ИЛАН РАН), lezhnev.daniil@yandex.ru

Парфенова Анастасия Евгеньевна — главный эксперт Департамента природопользования и охраны окружающей среды города Москвы, parfyonova.la@yandex.ru

Поступила в редакцию 28.06.2023.

Одобрено после рецензирования 22.02.2024.

Принята к публикации 26.04.2024.

ASSESSMENT OF CLIMATIC REGIME INFLUENCE ON RELATIVE INTENSITY OF CARBON SEQUESTRATION IN SCOTS PINE STANDS IN FRYANOVO FORESTRY (MOSCOW REGION) CARBON POLYGON

D.E. Rumyantsev^{1✉}, **S. I. Chumachenko**¹, **V.A. Lipatkin**¹, **V.V. Kiseleva**¹, **U.S. Shipinskaya**¹, **D.V. Lezhnev**², **A.E. Parfenova**³

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

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

³Department of Nature Management and Environmental Protection of the City of Moscow, 11, Novy Arbat st., 119019, Moscow, Russia

dendro15@list.ru

The data of dendrochronological studies characterizing the relative intensity of carbon sequestration in the wood of Scots pine plantation after clean cutting in young stands and in the case of the absence of such cuttings at the stand are presented. The thinning effect on the amount of radial growth is recognized as statistically unreliable. It is shown that after the growth rate stabilization in diameter, annual fluctuations in radial growth have a prominent climatic dependence. A regression equation has been obtained linking the growth indices with the average monthly temperatures of January of the current and previous year, October of the previous year and the amount of precipitation in July of the current year. It is shown that this equation does not properly describe the dynamics of radial growth at all stages of plant development. The conclusion is made about the unsteadiness of the climatic signal in the studied tree-ring chronology, which is associated with a change in environmental conditions associated with a change in the type of forest during the growth and development of the plantation.

Keywords: Scots pine, dendrochronology, dendroclimatology, carbon deposition, carbon landfill

Suggested citation: Rumyantsev D.E., Chumachenko S.I., Lipatkin V.A., Kiseleva V.V., Shipinskaya U.S., Lezhnev D.V., Parfenova A.E. *Otsenka vliyaniya klimaticheskogo rezhima na odnositel'nyuyu intensivnost' deponirovaniya ugleroda v drevostoyakh sosny obyknovnoy v usloviyakh karbonovogo poligona Fryanovskogo lesnichestva (Moskovskaya oblast')* [Assessment of climatic regime influence on relative intensity of carbon sequestration in Scots pine stands in Fryanovo forestry (Moscow region) carbon polygon]. *Lesnoy vestnik / Forestry Bulletin*, 2024, vol. 28, no. 4, pp. 43–52. DOI: 10.18698/2542-1468-2024-4-43-52

References

- [1] Knorre A.A. *Integratsionnyye podkhody i metody dendrokronologii v izuchenii dinamicheskikh protsessov nazemnykh ekosistem raznogo tipa* [Integration approaches and methods of dendrochronology in the study of dynamic processes of terrestrial ecosystems of various types]. Dis. Dr. Sci. (Biol). Krasnoyarsk: SFU, 2023, 301 p.
- [2] Tarankov V.I. *Monitoring lesnykh ekosistem* [Monitoring of forest ecosystems]. Voronezh: VGLTA, 2006, 299 p.
- [3] Tarankov V.I., Mel'nikov E.E., Akulov V.V., Matveev S.M. *Dendrokronologicheskie aspekty produktivnosti osnovnykh lesoobrazuyushchikh porod Tsentral'noy lesostepi* [Dendrochronological aspects of the productivity of the main forest-forming species of the Central forest-steppe]. Lesnoy zhurnal [Forest Journal], 2008, v. 36, pp. 11–17.
- [4] Bitvinskas T.T. *Dinamika prirosta sosnovykh nasazhdeniy Litovskoy SSSR i vozmozhnosti ego prognoza* [Dynamics of growth of pine plantations in the Lithuanian USSR and the possibility of its forecast: abstract of thesis]. Dis. Cand. Sci. (Agric.). Moscow: TSKhA, 1966, 15 p.
- [5] Rumyantsev D.E. *Diagnostika osobennostey rosta sosny i eli v Yuzhnoy Karelii s ispol'zovaniem metodov dendrokronologii* [Diagnostics of the growth characteristics of pine and spruce in South Karelia using dendrochronology methods]. Dis. Cand. Sci. (Biol.). Moscow: MGUL, 2004, 115 p.
- [6] Epishkov A.A., Lipatkin V.A., Frolova V.A., Sidorenkov V.M., Vorobyeva N.S., Rumyantsev D.E. Radial growth dynamics in Scots pine forests of the Yaloturovsky forest district of Tyumen region. *Ecology, Environment and Conservation*, 2022, v. 28 (3), pp. 1252–1251.
- [7] Kirchheer A.J. *Dendroclimatology on Scots pine (Pinus sylvestris L.) in northern Norway*. Dis. Dr. Sci. Norway, University of Tromso, Faculty of Science, Department of Biology, 1999, 121 p.
- [8] Vitas A. *Dendroclimatological research of Scots pine (Pinus sylvestris L.) in the Baltic coastal zone of Lithuania*. *Baltic Forestry*, 2004, v. 10, no. 1, pp. 65–71.
- [9] Wilczynski S., Scrzyewski J. *Dendrochronology of Scots pine (Pinus sylvestris L.) in the mountains of Poland*. *J. of Forest Science*, 2003, v. 49 (3), pp. 95–105.
- [10] Vaganov E.A., Kachaev A.V. *Dendroklimaticheskiy analiz rosta sosny v lesobolotnykh fitosenozakh Tomskoy oblasti* [Dendroclimatic analysis of pine growth in forest-swamp phytocenoses of the Tomsk region]. *Lesovedenie*, 1992, no. 6, pp. 3–10.
- [11] Beketov A.N. *O vliyani klimata na vozrastanie sosny i eli* [On the influence of climate on the growth of pine and spruce]. *Trudy pervogo s'ezda russkikh estestvoispytateley* [Proceedings of the First Congress of Russian Naturalists]. St. Petersburg: Printing house of the Imperial Academy of Sciences, 1868, pp. 111–163
- [12] Kudinov A.A. *Rezultaty analiza osobennostey rosta sosny na poberezh'yakh Rybinskogo vodokhranilishcha* [Results of the analysis of the growth characteristics of pine on the coasts of the Rybinsk Reservoir]. Dis. Cand. Sci. (Agric.). Moscow: MLTI, 1969, 26 p.
- [13] Matveev S.M. *Dendroindikatsiya dinamiki sostoyaniya sosnovykh nasazhdeniy Tsentral'noy lesostepi* [Dendroindication of the dynamics of the state of pine plantations in the Central forest-steppe]. Voronezh: VSU, 2003, 269 p.
- [14] Melekhnova T.A. *Formirovaniye godichnogo sloya sosny v svyazi s lesorastitel'nymi usloviyami* [Formation of the annual layer of pine in connection with forest conditions]. *Tr. ALTI*, 1954, t. 54, pp. 123–138.
- [15] Tol'skiy A.P. *K voprosu o vliyani temperatury i osadkov na prirost sosny v tolshchinu* [On the question of the influence of temperature and precipitation on the growth of pine trees in thickness]. *Lesnoy zhurnal* [Forest Journal], 1904, no. 5, pp. 858–868.
- [16] Feklistov P.A., Evdokimov V.N., Barzut M.V. *Biologicheskie i ekologicheskie osobennosti rosta sosny v severnoy podzone evropeyskoy taygi* [Biological and environmental features of pine growth in the northern subzone of the European taiga]. Arkhangelsk: ASTU, 1997, 140 p.
- [17] Shchekalev R.V., Tarkhanov S.N. *Radial'nyy prirost i kachestvo drevesiny sosny obyknovnoy v usloviyakh atmosfernogo zagryazneniya* [Radial growth and quality of Scots pine wood under conditions of atmospheric pollution]. Ekaterinburg: Ural Branch of the Russian Academy of Sciences, 2006, 127 p.
- [18] Dursky J., Pavlickova A. *Dendroklimaticky model borovice lesnej na zahorskej nizine*. *Acta facultatis forestalis*. XL. Zvolen: Vedala Technicka univerzita, 1998, pp. 85–97.
- [19] Feliksik E., Wilczynski S. The influence of temperature and rainfall on the increment width of native and foreign tree species from the Istebna Forest District. *Folia forestalia Polonica. Series A.*, 2001, no. 43, pp. 103–114.
- [20] Lindholm M., Lehtonen H., Kolstrom T., Merilainen J., Eronen M., Timonen M. Climatic signals extracted from ring-width chronologies of Scots pine from the northern, middle and southern parts of the boreal forest belt in Finland. *Silva Fennica*, 2000, v. 34, no. 4, pp. 317–330.
- [21] Linderholm H.W. Climatic influence on Scots pine growth on dry and wet soils in the central Scandinavian mountains, interpreted from tree-ring width. *Silva Fennica*, 2001, v. 35, no. 4, pp. 415–424.
- [22] Wilczynski S., Krapiec M., Szychowska-Krapiec E., Zielski A. *Regiony dendroklimatyczne sosny zwyczajnej (Pinus sylvestris L.) w Polsce*. *Sylvan*, 2001, no. 8, pp. 53–61.
- [23] Rumyantsev D.E. *Potentsial ispol'zovaniya dendrokronologicheskoy informatsii v lesnoy nauke i praktike* [Potential for using dendrochronological information in forestry science and practice]. Dis. Dr. Sci. (Biol.). Moscow: VGLTA, 2011, 354 p.
- [24] Lipatkin V.A., Mazitov S.Yu. *Perekrestnaya datirovka dendrokronologicheskikh ryadov s pomoshch'yu PEVM* [Cross-dating of dendrochronological series using a PC]. *Nauchnye trudy MGUL. Ekologiya, monitoring i ratsional'noe prirodopol'zovanie* [Scientific works of the Moscow State University of Linguistics. Ecology, monitoring and rational use of natural resources]. Moscow: MGUL, 1997, iss. 288(1), pp. 103–110.
- [25] Lakin G.F. *Biometriya* [Biometrics]. Moscow: Higher School, 1973, 343 p.
- [26] Solomina O.N. *Zasukhi Vostochno-Evropeyskoy ravniny po gidrometeorologicheskim i dendrokronologicheskim dannym* [Droughts of the East European Plain according to hydrometeorological and dendrochronological data]. St. Petersburg: Nestor-Istoriya, 2017, 360 p.
- [27] Fritts H.C. *Tree rings and climate*. London–New York–San Francisco: Academic press, 1976, 576 p.

- [28] Zagreev V.V. *Geograficheskie zakonomernosti rosta i produktivnosti drevostoev* [Geographical patterns of growth and productivity of forest stands]. Moscow: Lesnaya prom-st, 1978, 240 p.
- [29] Lipatkin V.A. *Dinamika usloviy mestoproizrastaniya i ee vliyanie na sostoyanie lesnykh nasazhdeniy i otdel'nykh derev'ev* [Dynamics of habitat conditions and its influence on the state of forest plantations and individual trees]. Nauchnye trudy MGUL. Ekologiya, monitoring i ratsional'noe prirodopol'zovanie [Scientific works of MSUL. Ecology, monitoring and rational use of natural resources]. Moscow: MGUL, 1997, iss. 288(1), pp. 79–94.
- [30] Douglass A.E. Climatic cycles and tree-growth. A study the annual rings of trees in relation to climate and solar activity. Washington: Carnegie institution, 1919, 127 p.
- [31] Jozsa L.A. Contributions of tree-ring dating and wood structure analysis to the forensic sciences. Canadian Society Forensic Science J., 1985, v. 18, no. 4, pp. 200–210.
- [32] Schweingruber F.H. Tree-rings and Environment. Dendroecology. Birmensdorf, Swiss Federal Institute for Forest, Snow and Landscape Researches. Bern, Stuttgart, Vienna: Haupt, 1996, 609 p.

Authors' information

Rumyantsev Denis Evgen'evich  — Dr. Sci. (Biology), Professor of the Department of Forestry, Ecology and Forest Protection, BMSTU (Mytishchi branch), dendro15@list.ru

Chumachenko Sergey Ivanovich — Dr. Sci. (Biology), Head of the Department of Forest Management, Forest Management and Geoinformation Systems, BMSTU (Mytishchi branch), chumachenko.s.i@gmail.com

Lipatkin Vladimir Aleksandrovich — Cand. Sci. (Biology), Associate Professor, Head of the Department of Forestry, Ecology and Forest Protection, BMSTU (Mytishchi branch), lipatkin@mgul.ac.ru

Kiseleva Vera Vladimirovna — Cand. Sci. (Biology), Associate Professor of the Department of Forest management, Engineering and GIS, BMSTU (Mytishchi branch), vvkisel@mail.ru

Shipinskaya Ul'yana Sergeevna — pg. of the Department Landscape Architecture, BMSTU (Mytishchi branch), ylanashipinska@mail.ru

Lezhnev Daniil Viktorovich — Junior researcher, Laboratory of Forestry and Biological Productivity, Institute of Forest Science, Russian Academy of Sciences, lezhnev.daniil@yandex.ru

Parfenova Anastasiya Evgen'evna — Employee of the Department of Nature Management and Environmental Protection of the City of Moscow, parfyonova.la@yandex.ru

Received 28.06.2023.

Approved after review 22.02.2024.

Accepted for publication 26.04.2024.

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

ОБНАРУЖЕНИЕ ЗИМУЮЩИХ ТОРФЯНЫХ ПОЖАРОВ ДИСТАНЦИОННЫМИ МЕТОДАМИ

Г.В. Куксин¹, И.М. Секерин², С.В. Залесов^{2✉}

¹ФБУ «Всероссийский научно-исследовательский институт лесоводства и механизации лесного хозяйства» (ВНИИЛМ), Россия, 141202, Московская обл., г. Пушкино, ул. Институтская, д. 15

²ФГБОУ ВО «Уральский государственный лесотехнический университет» (УГЛТУ), Россия, 620100, г. Екатеринбург, ул. Сибирский тракт, д. 37

Zalesovsv@m.usfeu.ru

Проанализированы методы обнаружения зимних торфяных пожаров. Установлена эффективность совместного применения космического, авиационного и наземного мониторингов для надежного обнаружения торфяных пожаров в зимний период. Показана целесообразность проведения авиационного мониторинга с использованием беспилотных летательных аппаратов, оснащенных тепловизионным оборудованием. Указана необходимость первоочередного изучения участков с торфяными почвами, пройденных низовыми пожарами, и установления термоточек для выявления торфяных пожаров.

Ключевые слова: торфяной пожар, зима, тление торфа, космический, авиационный, наземный мониторинг

Ссылка для цитирования: Куксин Г.В., Секерин И.М., Залесов С.В. Обнаружение зимующих торфяных пожаров дистанционными методами // Лесной вестник / Forestry Bulletin, 2024. Т. 28. № 4. С. 53–65.

DOI: 10.18698/2542-1468-2024-4-53-65

Большинство ученых, занимающихся изучением климата, как в нашей стране, так и в странах ближнего и дальнего зарубежья, отмечают наблюдающиеся в последние десятилетия изменения климата [1–4]. При этом повышение температуры воздуха в основном сопровождается снижением количества осадков и усилением скорости ветров. В частности, уровень грунтовых вод в пределах Уральского федерального округа понизился на 1,5 м вследствие экстремальных значений температуры воздуха в конце весны и начале лета [1, 5, 6].

Сложившаяся ситуация оказывает непосредственное влияние на показатели горимости лесов. Кроме того, увеличилась продолжительность пожароопасного сезона [7–11], усилилась интенсивность природных пожаров [12–15] и негативных послепожарных последствий [16–20], в том числе сгорание жилых домов, объектов экономики, гибель людей [21]. В связи с этим появилась необходимость разработки мероприятий по повышению пожароустойчивости насаждений [22], созданию эффективной системы противопожарного устройства, способной остановить любой вид природного пожара [23–25]. Особенно важно создание системы противопожарных заслонов вокруг населенных пунктов и объектов экономики [26–28].

В целях совершенствования борьбы с лесными пожарами разрабатываются современные методы оценки пожарной опасности [29–30] и нормативно-

правовые документы, регулирующие вопросы охраны лесов от пожаров [31].

Успешность ликвидации природных пожаров во многом зависит от оперативности их обнаружения [32–34]. В условиях изменений климата, характеризующихся частыми периодами аномально жаркой погоды и недостатком осадков, произошли существенные перемены в развитии лесных пожаров. В частности, почвенные или торфяные лесные пожары [35] чаще всего развивались в виде одноочаговых пожаров в конце лета — начале осени [36]. Основной их причиной установлено неосторожное обращение с огнем местного населения, нередко разводившего костры на участках с торфяными почвами.

В настоящее время причины торфяных пожаров изменились, как и время их возникновения. Вследствие недостатка осадков в Свердловской области уровень грунтовых вод снизился на 1,5 м. Кроме того, на этой территории насчитывается более 80 тыс. га осушенных торфяников. Организации, заготавливающие торф для использования его в качестве топлива или удобрения сельскохозяйственных угодий, обанкротились, и осушенные участки остались бесхозными. В результате не регулируется уровень грунтовых вод в осушительной сети и не проводятся противопожарные мероприятия, осушительные сети продолжают сбрасывать воду, снижая влажность верхних слоев торфа ниже значений возможного заглубления тления.

Осушенные площади интенсивно зарастают травянистой и древесно-кустарниковой растительностью, которая высыхая после схода снежного



Рис. 1. Зимующий торфяной пожар
Fig. 1. Wintering peat-bog fire



Рис. 2. Перезимовавший торфяной пожар в апреле
Fig. 2. Overwintered peat-bog fire in April



Рис. 3. Ручной тепловизор
Fig. 3. Hand-held thermal imager

покрова создает высокую потенциальную опасность низовых пожаров. В случае возникновения последних они развиваются в многоочаговые торфяные пожары уже в апреле-мае [37, 38]. Тушение таких пожаров исключительно сложно и требует привлечения значительного количества техники и специально подготовленных рабочих [39]. Практически все модели, описывающие будущие пожарные режимы для бореальных, в том числе российских лесов, прогнозируют существенный рост и увеличение интенсивности таких пожаров [40, 41].

Анализируя негативную роль торфяных лесных пожаров нельзя не отметить, что при тлении торфа выделяется значительный объем продуктов неполного сгорания, которые загрязняют атмосферный воздух, создавая реальную угрозу здоровью населения. Мелкие частицы, выделяемые при торфяных пожарах, в процессе дыхания попадают в легкие и оседают там. При этом они, обладая канцерогенными свойствами, провоцируют онкологические заболевания. Ситуация усугубляется тем, что осушенные торфяники, как правило, расположены на незначительном расстоянии от населенных пунктов. Кроме того, процесс ликвидации торфяных пожаров сильно растянут по времени, что связано со сложностью тушения в летний период.

Ведущие научные журналы публикуют статьи, где доказывается, что рекордные выбросы парниковых газов связаны с увеличением количества торфяных пожаров в бореальной зоне. Торфяники, консервировавшие углерод на протяжении предыдущих тысячелетий [41] в процессе пожаров, выбрасывают его в атмосферу в виде углекислого газа.

По мнению многих авторов [42], торфяные пожары осенью как бы «исчезают» с поверхности (рис. 1), тлеют в течение зимы и «возвращаются к жизни» весной (рис. 2). Тление торфяных пожаров может продолжаться несколько лет. В зарубежной литературе такие пожары получили название «зомби-пожары».

Важное значение «зомби-пожаров» в изменениях климата обуславливает необходимость изучения возможности их недопущения или оперативной ликвидации в случае возникновения. Последнее возможно лишь при условии совершенствования способов обнаружения природных пожаров, что обусловило направление наших исследований.

Цель работы

Цель работы — усовершенствование способов обнаружения очагов тления на основании практического опыта выявления и обследования зимующих торфяных пожаров.



Рис. 4. Обследование перезимовавших очагов с применением пирометра для оценки температуры поверхности
Fig. 4. Survey of overwintered fires using a pyrometer to estimate surface temperature



Рис. 5. Обследование бывшего штабеля торфа щупом-термометром
Fig. 5. Survey of a former peat stack using a probe thermometer

Материалы и методы

В ходе исследований опирались на результаты научных исследований, посвященных указанной проблеме, применяли сравнительный и описательный анализы, методы выявления (обнаружения) и обследования очагов зимующих торфяных пожаров, использовали их характеристики, в частности:

- наземные обследования с обнаружением очагов по визуальным признакам (дыму, торфяной золе, проталинам в снеговом покрове) и по характерному запаху.

Такие обследования проводились с использованием ручных тепловизоров (рис. 3), инфракрасных



Рис. 6. Взятие проб буром-пробоотборником конструкции Инсторф
Fig. 6. Sampling with an Instorf drill sampler

пирометров (рис. 4), щупов-термометров (рис. 5), торфяных буров-пробоотборников (рис. 6);

- обследования с помощью беспилотных летательных аппаратов (БПЛА) мультикоптерного типа с фото- и видеокамерами для визуального обнаружения очагов с воздуха (рис. 7);

- авиационные обследования с применением самолета Ан-2 (рис. 8) и вертолета Robinson R66 с визуальным обнаружением очагов тления;

- обследования с помощью БПЛА мультикоптерного типа с тепловизионными камерами для обнаружения очагов тления в инфракрасном диапазоне (рис. 9);

- анализ мультиспектральных космических фотоснимков среднего пространственного разрешения в различных комбинациях каналов и сравнительный анализ участков со следами воздействия огня на растительность на фотоснимках за различные даты для обнаружения признаков действующих (развивающихся) очагов.

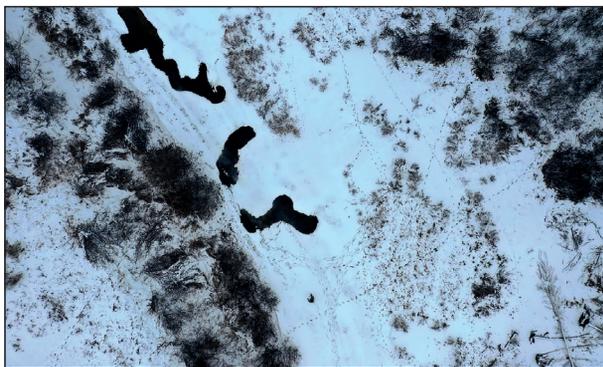


Рис. 7. Обнаружение очагов тления торфа с помощью БПЛА в визуальном режиме

Fig. 7. Detection of peat smolderings by UAV in visual mode



Рис. 8. Обследование торфяных пожаров зимой с применением самолета Ан-2. Визуальный режим съемки

Fig. 8. Survey of peat fires in winter using An-2 aircraft. Visual survey mode

На снимках при этом старались дешифровать участки с открытым горением, со следами увядания растительности, со следами сгорания растительности, с дымом, проталинами в небольшом слое снега.

Для проведения исследования были собраны результаты обследования типичных зимующих торфяных пожаров на осушенных болотах в нескольких регионах России в период с 2002 по 2023 гг.

Результаты и обсуждение

Для предварительного определения мест расположения очагов тления, потенциально переходящих в зимний период, были использованы мультиспектральные космические фотоснимки среднего пространственного разрешения Sentinel-2 MSI.

Практика этой работы показала, что для уверенного обнаружения очагов тления важно сравнивать изображения в динамике в различных комбинациях каналов, обращая внимание как на

признаки выделения дыма (для этого оптимальны псевдо натуральные цвета), так и изменения растительного покрова. В некоторых случаях на снимок может попадать открытое горение, которое является несомненным идентификатором активности очагов. В остальных случаях идентификатором служит либо изменение контура выгоревшей площади, либо шлейф дыма с предполагаемых очагов (рис. 10, 11).

Сравнение осеннего и зимнего снимков торфяного пожара (см. рис. 10) позволяет сделать предварительный вывод о том, что проталины соответствуют действующим очагам.

Для проверки предположений о расположении очагов тления, сделанных по данным космической фотосъемки, дополнительно с помощью БПЛА, оснащенных тепловизионными камерами (рис. 12), были проведены обследования участка, а также наземное обследование (рис. 13) с применением ручных тепловизоров, шупов-термометров, пирометров, влагомеров. В некоторых случаях для изучения структуры очагов и создания глубоких разрезов через них применялись ручные моторизованные траншекопатели (георипперы) (рис. 14).

Проведенные обследования с применением БПЛА мультикоптерного типа с тепловизионными камерами показали, что наилучший результат отмечается при использовании тепловизионной камеры с разрешением 640×512 пк.

Лимитирующим фактором при выполнении полетов в зимний период является температура воздуха, при которой может работать тепловизионная камера. Большинство тепловизионных камер, используемых на БПЛА, не могут работать при температуре ниже $-10\text{ }^{\circ}\text{C}$. Полет желательно совершать при температуре не ниже $-5\text{ }^{\circ}\text{C}$, с учетом того, что на высоте 300 м от поверхности земли температура в среднем опускается на $2\text{ }^{\circ}\text{C}$. Оптимальным для надежного обнаружения очагов тления является автоматический полет с перекрытием поля зрения как визуальной, так и тепловой камеры не менее чем на 30...40 %. В случае если при постобработке требуется построение ортофотопланов, в том числе по тепловым изображениям, желательно перекрытие полей получаемых снимков не меньше 70 % в продольном направлении вдоль движения и не менее 50 % в поперечном. При соблюдении этих условий и при высоте полета, обеспечивающей разрешение снимка около 10 см на 1 пк и выше (для большинства применяемых ныне БПЛА это высота до 300 м от поверхности земли). Такое обследование позволяет обнаружить все очаги тления, т. е. наземное обследование на 100 % подтверждает данные, полученные БПЛА.

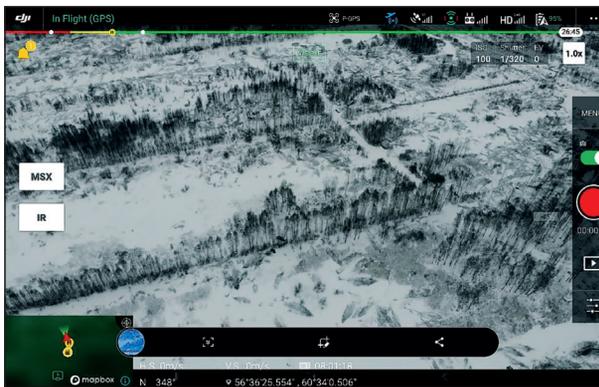
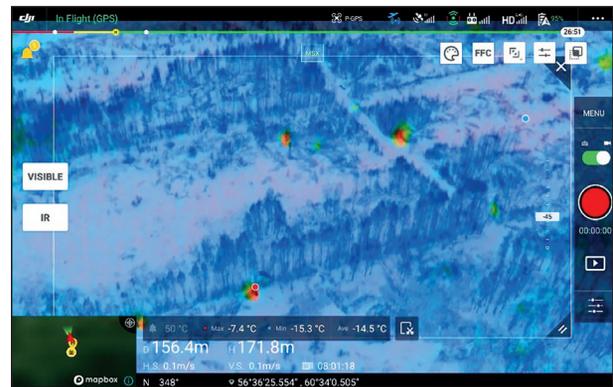
*a**б*

Рис. 9. Обследование перезимовавших очагов на фотоснимках, полученных БПЛА: *a* — в визуальном режиме; *б* — с тепловизионной камерой

Fig. 9. Survey of overwintered points of origin on UAV photos: *a* — in visual mode; *б* — with thermal imaging camera

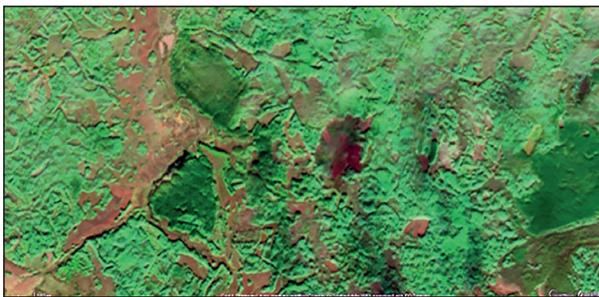
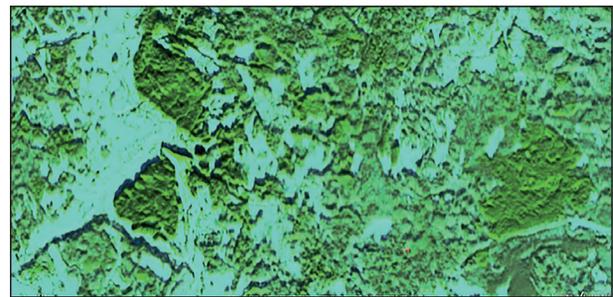
*a**б*

Рис. 10. Осенний (*a*) и зимний (*б*) снимки торфяного пожара

Fig. 10. Autumn (*a*) and winter (*б*) images of a peat-bog fire

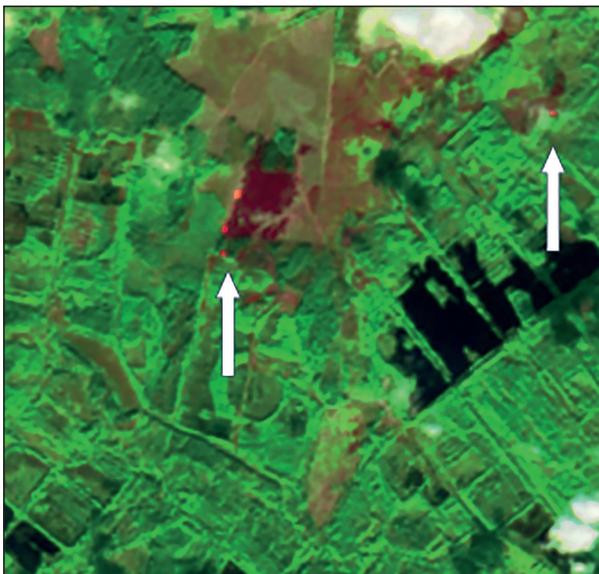
*a**б*

Рис. 11. Осеннее возобновление активности кромки пожара (*a*) и зимний снимок тех же участков (*б*)

Fig. 11. Autumn renewal of fire edge activity (*a*) and winter image of the same areas (*б*)

*a**б*

Рис. 12. Сравнение тепловизионного (*a*) и визуального (*б*) изображения очага тления
Fig. 12. Comparison of thermal (*a*) and visual (*б*) images of a glow nest

*a**б*

Рис. 13. Тепловизионное (*a*) и визуальное (*б*) изображение очагов при наземном обследовании
Fig. 13. Thermal (*a*) and visual (*б*) images of the glow nests during the ground survey

Участники обследования отмечали существенно более высокую надежность обнаружения очагов тления именно в зимних условиях вследствие очень резкого температурного контраста между очагами и окружающими участками по сравнению с аналогичными работами в летний период, когда работу тепловизора осложняет нагрев темных поверхностей солнечными лучами. Также было отмечено, что в случае когда на болотах в зимнее время есть участки с незамерзшей открытой водой происходят «ложные» срабатывания тепловизионной камеры, поскольку вода суще-

ственно теплее снега. В таких случаях требуется контроль камеры в видимом спектре, для того чтобы отделить очаги тления от участков с открытой водой в каналах.

Данный способ обследования в настоящее время — наиболее качественный, поскольку позволяет максимально точно найти все очаги, определить их площади и интенсивность горения.

Для постобработки тепловых изображений применялись программы DJI Terra, Agisoft Metashape.

Сравнение результативности обследований зимующих торфяных пожаров различными мето-



Рис. 14. Разрезание мерзлого грунта георипперами для исследования структуры очагов, обнаруженных по данным БПЛА

Fig. 14. Cutting of frozen soil with georippers to study the structure of the glow nests detected by UAV data

дами выявило достоинства и недостатки этих методов и привело к пониманию того, что только комбинирование всех возможных подходов и инструментов обследования может обеспечить раннее и достаточно надежное обнаружение таких пожаров.

Анализ термоточек на фотоснимках низкого пространственного разрешения и анализ космических фотоснимков среднего и высокого пространственного разрешения целесообразен для предварительного определения площади пожара (площади, пройденной огнем), а также для отслеживания динамики развития пожара. Прежде всего приходится анализировать пожары в летний и осенний периоды, пробуя по их динамике определить, могли ли остаться действующие очаги тления, потенциально переходящие в зимний период. Наиболее удобным инструментом для такого анализа в настоящее время являются мультиспектральные космические фотоснимки среднего пространственного разрешения Sentinel-2 MSI (20 м/пк) Европейского космического агентства. Границы пожара определяются методом визуального дешифрирования снимков [43] в комбинации каналов 11-8-2 и 4-3-2 при рабочем масштабе от 1:10 000 до 1:50 000. Для определения границ и площади, пройденной огнем, целесообразно использовать оконтуривание пожара с помощью инструментов картирования. Полученные данные необходимо сопоставлять с фотоснимками высокого пространственного разрешения в открытых картографических сервисах для выбора оптимальной схемы тушения и для определения мест дальнейших практических измерений на пожаре.

Для выявления и последующего обследования очагов, перешедших в зимний период, по космическим снимкам в период после выпадения снега можно использовать фотоснимки в комбинации каналов 11-8-2 и 4-3-2 при рабочем масштабе от 1:10 000 до 1:50 000. Практика показала, что для уверенного обнаружения очагов тления необходимо смотреть мультиспектральные космические фотоснимки в динамике, сравнивать одинаковые сцены и конкретные тайлы для выявления отличий при предположении о том, что обнаружен участок тления, сравнивать изображения в различных комбинациях каналов, обращая внимание на признаки выделения дыма (для этого оптимальны псевдонатуральные цвета) и изменения растительного покрова. В некоторых случаях на снимок может попадать открытое горение, которое является несомненным идентификатором активности очагов. В остальных случаях идентификатором является либо изменение контура выгоревшей площади либо шлейф дыма с предполагаемых очагов.

На настоящий момент такой способ выявления зимующих пожаров является недостаточно надежным, поскольку не обеспечивает обнаружение всех действующих в зимнее время очагов, т. е. может быть рекомендован как предварительный и вспомогательный инструмент. Перспективным представляется сочетание этого способа с применением снимков высокого (субметрового) разрешения. Также направлением дальнейшей работы должно быть машинное обучение нейронных сетей и распознавание ими признаков зимующих пожаров. Эта работа требует дальнейшего нако-

пления базы данных фотоснимков с экспертно обнаруженными на них пожарами, размеченных для дальнейшего машинного обучения.

Обследование местности с применением БПЛА целесообразно применять для тех территорий и конкретных участков, по которым на основании анализа космических фотоснимков были сделаны предположения о наличии действующих очагов тления.

Применение БПЛА с визуальными камерами оказалось наиболее результативным в периоды с максимальным выделением дыма и водяного пара над очагами. При положительных температурах работы рекомендуется проводить в утренние и вечерние часы, близкие к времени выпадения росы и образования туманов. В это время вода быстрее конденсируется на частицах дыма и дает визуально заметные столбики белого дыма над очагами. При сильных отрицательных температурах визуальное обнаружение очагов по дыму дает более высокую надежность в утренние и дневные часы при высоком атмосферном давлении, а также, когда горячие очаги испаряют больше влаги, замерзающей в морозном воздухе и дающей клубы остывающего пара.

Применение БПЛА с тепловизионными камерами оптимально при высоком контрасте очагов и окружающей поверхности, т. е. в периоды с наименьшим нагревом темных поверхностей солнечными лучами. При этом важно учитывать ограничения, имеющиеся у аппаратуры, в том числе сложности в работе с аккумуляторами на морозе, замерзание сервоприводов, обледенение винтов, запотевание камер и т. п. В результате оптимальным является применение БПЛА с тепловизионными камерами в пасмурные и не слишком морозные дни. Проведенные обследования с применением БПЛА мультикоптерного типа с тепловизионными камерами показало, что обследования можно проводить в ручном режиме полета, если проводится поиск отдельных очагов. Однако для многоочагового пожара оптимальным для надежного обнаружения всех очагов тления является автоматический полет с перекрытием поля зрения как визуальной, так и тепловой камеры БПЛА не менее, чем на 30...40 %. В случае если при постобработке требуется построение ортофотопланов, в том числе по тепловым изображениям, значимо перекрытие поля зрения камеры на 80...60 %. При соблюдении таких условий и при высоте полета не более 300 м от поверхности земли с разрешением не менее 10 см на 1 пк визуальной камеры и не менее 50 см на 1 пк тепловизионной камеры такое обследование позволяет обнаружить все очаги тления, т. е. наземное обследование на 100 % подтверждает данные, полученные с помощью БПЛА.

Для картирования отдельных очагов тления можно использовать координаты со сделанных фотографий или треки полета БПЛА. В случае многоочаговых пожаров, когда требуется составление карты с нанесением множества точек с нескольких пролетов, оптимальным инструментом могут быть построенные по визуальным и тепловым фотографиям ортофотопланы. Для постобработки тепловых изображений (создания ортофотоплана из тепловых изображений) в условиях проведенных экспериментов успешно применялась программа DJI Terra.

Опыт зимнего авиационного обследования на самолете Ан-2 показал, что оно дает возможность достаточно надежно обнаружить большинство очагов тления при следующих погодных условиях: температурной инверсии, высоком атмосферном давлении, морозах ниже -20°C . При сочетании этих условий происходит обильное выделение пара над очагами тления, и летчик-наблюдатель может обнаружить такие участки на удалении около 1 км. Однако и этот способ не совсем надежный, поскольку можно обнаружить только крупные очаги в период их интенсивного горения, а скрытые очаги, находящиеся под корнями деревьев, которые развиваются, даже опытный летчик-наблюдатель не обнаруживает.

Наземные обследования целесообразны после нанесения на карты и схемы всех предполагаемых очагов тления (температурных аномалий) по данным обследования с помощью БПЛА. Также хорошо себя показало использование полученных ортофотопланов, загруженных в навигаторы наземных групп для облегчения поиска всех очагов горения. При наземном обследовании можно уточнить координаты очагов, их точные границы, площади, а также дообследовать или даже впервые обнаружить отдельные очаги, хорошо экранированные нависающим краем дороги или корнями дерева.

Основными задачами наземного обследования является установление глубины и температуры очагов тления, уровень грунтовых вод вблизи очагов, определение факторов, мешающих подавлению очагов осадками и уточнение других деталей, необходимых для организации эффективного тушения. При наземных обследованиях хорошо показали себя для обнаружения очагов тепловизоры. Для определения глубины и конфигурации подземной части очага наиболее подходящим инструментом являются щупы-термометры, для определения строения торфяной залежи — буры-пробоотборники конструкции Инсторфа. Влажность предварительно можно оценивать влагомерами, например отечественным влагомером ИВ-4, но для более точных оценок и интерпретаций показаний влагомеров целесо-

образно брать пробы грунта и в лабораторных условиях уточнять влажность взвешиванием образцов после высушивания в соответствии с ГОСТ 5180–84. Глубина снегового покрова может быть измерена рейкой или рулеткой, однако для более точных оценок запасов влаги в снеговом покрове целесообразно дополнять это исследованиями по соответствующим методикам.

Выводы

1. Для надежного обнаружения торфяных пожаров зимой необходимо сочетать космический, авиационный, в том числе с применением БПЛА, и наземный мониторинги.

2. Для анализа вероятности прохождения низовых пожаров по территории с залежами торфа следует использовать термоточки Terra, Aqua, SNPP, NOAA полигонов ИСДМ-Рослесхоз.

3. Для предварительного анализа и установления мест, где перед наступлением зимы происходило активное тление на кромке пожара, целесообразно использовать космические снимки среднего пространственного разрешения.

4. После установления участков осеннего тления важно проводить обследование с использованием БПЛА с тепловизионными камерами.

5. После установления мест расположения тепловых аномалий (вероятных очагов тления) по данным БПЛА или летчика-наблюдателя проводится их наземное обследование с применением как тепловизионного оборудования, так и щупов-термометров, что позволяет собрать данные, необходимые для принятия решений, направленных на ликвидацию очагов тления.

Список литературы

[1] Ерицов А.М., Секерин И.М., Кректунов А.А., Залесов С.В. Особенности пожароопасного сезона 2022 года в Курганской области // Лесной вестник / Forestry Bulletin, 2023. Т. 27. № 4. С. 73–80. DOI: 10.18698/2542-1468-2023-4-73-80.

[2] Лескин П., Линднер М., Веркерк П.Й., Набуурс Г.Я., Ван Брусселен Й., Куликова Е., Хассегава М., Леринк Б. Леса России и изменение климата. Что нам может сказать наука. Joensuu: European Forest Institute, 2020. 140 с.

[3] Швиденко А.З., Щепашенко Д.Г. Климатические изменения и лесные пожары в России // Лесоведение, 2013. № 5. С. 50–61.

[4] Vivchar A. Wildfires in Russia in 2000–2008: Estimates of burnt areas using the satellite MODIS MCD45 dsts // Remote Sensing Letters, 2011, v. 2 (1), pp. 81–90.

[5] Кузнецов Л.Е., Секерин И.М., Кректунов А.А., Щеплягин П.В. Анализ лесных пожаров и их влияние на экологию Тюменской области // Оптимизация лесопользования. Екатеринбург: Изд-во УГЛТУ, 2023. С. 360–365.

[6] Сибиркина А.Р., Лихачёв С.Ф. О лесных пожарах в Челябинской области за 2018–2021 годы и анализ требований к воспроизводству лесов в лесохозяйственном регламенте // Лесной вестник / Forestry Bulletin, 2023. Т. 27. № 5. С. 60–73. DOI: 10.18698/2542-1468-2023-5-60-73.

[7] Кузнецов Л.Е., Залесов С.В., Кректунов А.А., Секерин И.М., Куксин Г.В. Анализ горимости лесов на территории Уральского Федерального округа // Международный научно-исследовательский журнал, 2023. № 11 (137). URL: <https://research-journal.org/archive/11-137-2023-november/10.23670/IRJ.2023.137.43> (дата обращения 15.12.2023).

[8] Feurdean A., Florescu G., Tantau I. Recent fire regime in the Southern boreal forests of Western Siberia is unprecedented in the last five millennia // Quaternary Sci. Rev., 2020, v. 244, p. 106495.

[9] Kharuk V.I., Dvinskaya M.L., Ranson K.J. Fire return intervals within the northern boundary of the larch forest in Central Siberia // Int. J. of Wildland Fire, 2013, v. 22 (2), pp. 207–211. doi.org/10.1071/WF11181

[10] Kukavskaya E.A., Soja A.J., Petkov A.P. Fire emissions estimates in Siberia: Evaluation of uncertainties in area burned, lnd cover, and fuel consumption // Can. J. Forest Res., 2013, no. 43 (5), pp. 493–506. doi: 10.1139/cjfr-2012-0367

[11] Залесова Е.С., Оплетаяев А.С., Платонов Е.Ю., Хабибуллин А.Ф., Кутыева Г.А. Горимость лесов Уральского федерального округа и эффективность охраны их от пожаров // Леса России и хозяйство в них, 2017. № 2 (61). С. 47–56.

[12] Белькова Т.А., Перминов В.А., Алексеев Н.А. Обзор эколого-экономических последствий торфяных пожаров // XXI век. Техносферная безопасность, 2016. № 3. С. 35–44.

[13] Воробьев Ю.Л., Акимов В.А., Соколов Ю.И. Лесные пожары на территории России: Состояние и проблемы. М.: ДЭКС-ПРЕСС, 2004. 312 с.

[14] Иванова Г.А., Иванов А.В. Пожары в сосновых лесах Средней Сибири. Новосибирск: Наука, 2015. 240 с.

[15] Гармышев В.В., Ващалова Т.В. Мониторинг лесных пожаров на территории иркутской области на основе ретроспективного анализа // Вестник ИргСХА, 2019. № 93. С. 45–54.

[16] Залесов С.В., Платонов Е.П., Платонов Е.Ю. Пожары и их последствия в Западной Сибири. Екатеринбург: Изд-во УГЛТУ, 2022. 191 с.

[17] Иванова Г.А., Кукавская Е.А., Безкоровайнова И.Н. Воздействие пожаров на светлохвойные леса Нижнего Приангарья. Новосибирск: Наука, 2022. 204 с.

[18] Кузнецов Л.Е., Кректунов А.А., Секерин И.М., Щеплягин П.В., Юдина П.С. Сравнительный анализ последствий лесных пожаров на территории Российской Федерации // Леса России и хозяйство в них, 2023. № 4 (87). С. 69–77.

[19] Томшин О.А., Соловьев Б.С. Детектирование гарей на территории восточной сибиря по данным AVHRR/NOAA (1984–2016) с использованием комбинированного подхода // Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса, 2019. Т. 16. № 4. С. 137–149.

[20] Багинова О.Д., Алтаев А.А. Лесные пожары в Бурятии // Безопасность жизнедеятельности, 2019. № 9 (225). С. 50–53.

[21] Гаврилова А.А., Ершова Т.В., Елисеев А.А. Организация беспилотного мониторинга лесных пожаров в Архангельской области // Техничко-технологические проблемы сервиса, 2018. № 4 (46). С. 20–22.

[22] Фуряев В.В., Самсоненко С.Д., Фуряев И.В., Шубин Д.А. Пожароустойчивость лесов юго-востока Западной Сибири. Новосибирск: Наука, 2014. 156 с.

[23] Мартынюк А.А. Инновационные разработки ВНИИЛМ — в практику лесного хозяйства // Лесохозяйственная информация, 2018. № 3. С. 7–11.

- [24] Шанин И.И., Лысыч М.Н. Эффективные орудия и механизированные технические устройства, применяемые при профилактике и тушении лесных пожаров // *Успехи современного естествознания*, 2018. № 12–2. С. 403–410.
- [25] Крюкова М.С., Шидловский А.Л., Фахми Ш.С. Оценка показателей качества видеосистемы обнаружения лесных пожаров // *Проблемы управления рисками в техносфере*, 2018. № 2 (46). С. 63–73.
- [26] Борисова Т.А. Риски лесных пожаров в Байкальском регионе на примере Республики Бурятия // *Использование и охрана природных ресурсов в России*, 2016. № 3 (147). С. 42–47.
- [27] Орлов А.М., Андреев Ю.А., Чаков В.В., Поздяков В.В. Пожарная обстановка в лесах Хабаровского края. Хабаровск: ОАО «Хабаровская краевая типография», 2022. 160 с.
- [28] Козаченко М.А., Ашомка С.Н., Кибакина А.В., Юнякин М.Р., Гольш Е.А. Сравнительная оценка жизненного состояния деревьев и древостоев лиственных пород на ненарушенных территориях и после лесных пожаров в лесах Саратовского правобережья // *Научная жизнь*, 2019. № 1. С. 102–110.
- [29] Ермоленко А.А. Анализ состояния и причин изменения лесистости в Центральном федеральном округе: сложившаяся практика и возможные решения // *Лесохозяйственная информация*, 2018. № 4. С. 55–65.
- [30] Сверлова Л.И. Метод оценки пожарной опасности в лесах по условиям погоды с учётом поясов атмосферной засушливости и сезонов года. Хабаровск: Изд-во ДВ УГМС, 2000. 46 с.
- [31] Ерицов А.М., Секерин И.М., Кректунов А.А. О необходимости совершенствования нормативно-правового регулирования в области охраны лесов от пожаров // *Вестник Бурятской государственной сельскохозяйственной академии им. В.Р. Филиппова*. 2023. № 3 (72). С. 79–86.
- [32] Крушель Е.Г., Лютая Т.П., Привалов О.О., Щербakov М.В. Распознавание пожароопасных ситуаций в лесных массивах и лесополосах // *Известия Волгоградского государственного технического университета*, 2018. № 8 (218). С. 39–42.
- [33] Кректунов А.А., Ефимов И.А., Васьяков Я.Н., Залесов С.В. Анализ данных по способам обнаружения лесных пожаров на территории Свердловской области за период с 2014 по 2022 годы // *Техносферная безопасность*. 2023. № 2 (39). С. 101–111.
- [34] Савченко В.А., Коршунов Н.А., Перминов А.В., Котельников Р.В. Практическое использование отечественных методов и технологий, а также средств обнаружения и тушения лесных пожаров. Пушкино: Изд-во ВНИИЛМ, 2021. 27 с.
- [35] Константинов А.В., Королева Т.С., Кушнир Е.А., Торжков И.О. Оценка экономических последствий наблюдаемых и ожидаемых климатических изменений с учетом долгосрочных прогнозных сценариев развития лесного сектора // *Лесотехнический журнал*, 2017. Т. 7. № 4 (28). С. 257–274.
- [36] Залесов С.В. Лесная пирология. Екатеринбург: Изд-во УГЛТУ, 2021. 396 с.
- [37] Скрыльник Г.П. Влияние лесных пожаров на развитие геосистем плакоров юга Средней Сибири и гор Дальнего Востока // *Успехи современного естествознания*, 2018. № 5. С. 131–141.
- [38] Гудина А.Г., Тюкавина О.Н. Анализ горимости лесов Вельского района Архангельской области // *Ученые записки Петрозаводского государственного университета*, 2018. № 8 (177). С. 74–77.
- [39] Козаченко М.А., Ашомка С.Н., Кибакина А.В., Юнякин М.Р., Гольш Е.А. Сравнительная оценка жизненного состояния деревьев и древостоев лиственных пород на ненарушенных территориях и после лесных пожаров в лесах Саратовского правобережья // *Научная жизнь*, 2019. № 1. С. 102–110.
- [40] Goldammer J.G., Price C. Potential Impacts of Climate Change on Fire Regimes in the Tropics Based on Magicc and a GISS GCM-Derived Lightning Model // *Climatic Change*, 1998, v. 39, pp. 273–296.
- [41] Witze A. Why Arctic fires are bad news for climate change // *Nature*, 2020, t. 585, no. 7825, pp. 336–337.
- [42] Чикирева Т.В. Исследование водно-теплого режима торфяного грунта вокруг трубопровода при подземной прокладке: автореф. дис. канд. техн. наук. Тюмень, 2005. 24 с.

Сведения об авторах

Куксин Григорий Валерьевич — науч. сотр. отдела лесной пирологии и охраны лесов от пожаров, ФБУ «Всероссийский научно-исследовательский институт лесоводства и механизации лесного хозяйства» (ВНИИЛМ), эксперт АНО «Центр профилактики ландшафтных пожаров», Gkuksin1980@gmail.com

Секерин Илья Михайлович — канд. с.-х. наук, доцент кафедры лесоводства, ФГБОУ ВО «Уральский государственный лесотехнический университет»

Залесов Сергей Вениаминович  — д-р с.-х. наук, профессор, зав. кафедрой лесоводства, ФГБОУ ВО Уральский государственный лесотехнический университет, zalesovsv@m.usfeu.ru

Поступила в редакцию 24.01.2024.

Одобрено после рецензирования 21.02.2024.

Принята к публикации 02.05.2024.

DETECTION OF WINTERING PEAT-BOG FIRES BY REMOTE METHODS

G.V. Kuksin¹, I.M. Sekerin², S.V. Zalesov²✉

¹VNIILM, 15, Institutskaya st., 141202, Moscow reg., Pushkino, Russia

²Ural State Forest Engineering University, 37, Sibirskiy Trakt 620110, Yekaterinburg, Russia

Zalesovsv@m.usfeu.ru

The article touches upon detection of wintering peat-bog fires. It has been established that reliable detection of peat-bog fires in winter can be ensured only by a combination of space-based, aviation and ground-based monitoring. In view of the specifics of the spread of peat-bog fires it is advisable to carry out monitoring using unmanned aerial vehicles equipped with thermal imaging equipment. Detection of peat-bog fires should begin with the study of areal with peat-bog soils affected by ground fires and the establishment of thermal points. Then using of average spatial resolution areas cosmoplots of active division of peat-bog before the start of winter are determined. After detection of smouldering they should be investigated by television cameras. If thermal anomalies are detected during the flights their inspection in situ should be used by special equipment. As a result of the work having been done it became possible to make a decision on a peat-bog fire elimination.

Keywords: peat-bog fire, winter, peat-bog smoldering, cosmic, aviation, ground monitoring

Suggested citation: Kuksin G.V., Sekerin I.M., Zalesov S.V. *Obnaruzhenie zimuyushchikh torfyanykh pozharov distantsionnymi metodami* [Detection of wintering peat-bog fires by remote methods]. *Lesnoy vestnik / Forestry Bulletin*, 2024, vol. 28, no. 4, pp. 53–65. DOI: 10.18698/2542-1468-2024-4-53-65

References

- [1] Eritsov A.M., Sekerin D.M., Krektunov A.A., Zalesov S.V. *Osobennosti pozharoopasnogo sezona 2022 goda v Kurganskoj oblasti* [Features of fire season 2022 in Kurgan region]. *Lesnoy vestnik / Forestry Bulletin*, 2023, vol. 27, no. 4, pp. 73–80. DOI: 10.18698/2542-1468-2023-4-73-80
- [2] Leskinen P., Lindner M., Verkerk P.Y., Nabuurs G.Ya., Van Brusselen Y., Kulikova E., Khassegava M., Lerink B. *Les Rossii i izmenenie klimata. Chto nam mozhnet skazat' nauka* [Forests of Russia and climate change. What can science tell us?]. Joensuu: European Forest Institute, 2020, 140 p.
- [3] Shvidenko A.Z., Shchepashchenko D.G. *Klimaticheskie izmeneniya i lesnye pozhary v Rossii* [Climatic changes and forest fires in Russia]. *Lesovedenie*, 2013, no. 5, pp. 50–61.
- [4] Vivchar A. Wildfires in Russia in 2000–2008: Estimates of burnt areas using the satellite MODIS MCD45 dsts. *Remote Sensing Letters*, 2011, v. 2 (1), pp. 81–90.
- [5] Kuznetsov L.E., Sekerin I.M., Krektunov A.A., Shcheplyagin P.V. *Analiz lesnykh pozharov i ikh vliyaniye na ekologiyu Tyumenskoy oblasti* [Analysis of forest fires and their impact on the ecology of the Tyumen region]. *Optimizatsiya lesopol'zovaniya* [Optimization of forest management]. Ekaterinburg: UGFLTU, 2023, pp. 360–365.
- [6] Sibirskina A.R., Likhachev S.F. *O lesnykh pozharakh v lesakh Chelyabinskoy oblasti za 2018–2021 gody i analiz trebovaniy k vosproizvodstvu lesov v lesokhozyaystvennom reglamente* [Forest fires in the Chelyabinsk region forests for 2018–2021 and requirements analysis for forest reproduction in forest regulations]. *Lesnoy vestnik / Forestry Bulletin*, 2023, vol. 27, no. 5, pp. 60–73. DOI: 10.18698/2542-1468-2023-5-60-73
- [7] Kuznetsov L.E., Zalesov S.V., Krektunov A.A., Sekerin I.M., Kuksin G.V. *Analiz gorimosti lesov na territorii Ural'skogo Federal'nogo okruga* [Analysis of forest fire rates on the territory of the Ural Federal District]. *Mezhdunarodnyy nauchno-issledovatel'skiy zhurnal* [International Scientific Research J.], 2023, no. 11 (137). Available at: <https://research-journal.org/archive/11-137-2023-november/10.23670/IRJ.2023.137.43> (accessed 15.12.2023).
- [8] Feurdean A., Florescu G., Tantau I. Recent fire regime in the Southern boreal forests of Western Siberia is unprecedented in the last five millennia. *Quaternary Sci. Rev.*, 2020, v. 244, p. 106495.
- [9] Kharuk V.I., Dvinskaya M.L., Ranson K.J. Fire return intervals within the northern boundary of the larch forest in Central Siberia. *Int. J. of Wildland Fire*, 2013, v. 22 (2), pp. 207–211. doi.org/10.1071/WF11181
- [10] Kukavskaya E.A., Soja A.J., Petkov A.P. Fire emissions estimates in Siberia: Evaluation of uncertainties in area burned, lfnid cover, and fuel consumption. *Can. J. Forest Res.*, 2013, no. 43 (5), pp. 493–506. doi: 10.1139/cjfr-2012-0367
- [11] Zalesova E.S., Opletaev A.S., Platonov E.Yu., Khabibullin A.F., Kuttyeva G.A. *Gorimost' lesov Ural'skogo federal'nogo okruga i effektivnost' okhrany ikh ot pozharov* [Burnability of forests of the Ural Federal District and the effectiveness of protecting them from fires]. *Les Rossii i khozyaystvo v nikh* [Forests of Russia and management in them], 2017, no. 2 (61), pp. 47–56.
- [12] Bel'kova T.A., Perminov V.A., Alekseev N.A. *Obzor ekologo-ekonomicheskikh posledstviy torfyanykh pozharov* [Review of the environmental and economic consequences of peat fires]. *XXI vek. Tekhnosfernaya bezopasnost' [XXI century. Technospheric Safety]*, 2016, no. 3, pp. 35–44.
- [13] Vorob'ev Yu.L., Akimov V.A., Sokolov Yu.I. *Lesnye pozhary na territorii Rossii: Sostoyaniye i problemy* [Forest fires on the territory of Russia: Status and problems]. Moscow: DEX-PRESS, 2004, 312 p.
- [14] Ivanova G.A., Ivanov A.V. *Pozhary v sosnovykh lesakh Sredney Sibiri* [Fires in pine forests of Central Siberia]. Novosibirsk: Nauka, 2015, 240 p.
- [15] Garmyshev V.V., Vashchalova T.V. *Monitoring lesnykh pozharov na territorii irkutskoy oblasti na osnove retrospektivnogo analiza* [Monitoring of forest fires on the territory of the Irkutsk region based on retrospective analysis]. *Vestnik IrGSKhA* [Bulletin of the Irkutsk State Agricultural Academy], 2019, no. 93, pp. 45–54.
- [16] Zalesov S.V., Platonov E.P., Platonov E.Yu. *Pozhary i ikh posledstviya v Zapadnoy Sibiri* [Fires and their consequences in Western Siberia]. Ekaterinburg: UGFLTU, 2022, 191 p.

- [17] Ivanova G.A., Kukavskaya E.A., Bezkorovaynova I.N. *Vozdeystvie pozharov na svetlokhvoynnye lesa Nizhnego Priangar'ya* [Impact of fires on light coniferous forests of the Lower Angara region]. Novosibirsk: Nauka, 2022, 204 p.
- [18] Kuznetsov L.E., Krekturnov A.A., Sekerin I.M., Shcheplyagin P.V., Yudina P.S. *Sravnitel'nyy analiz posledstviy lesnykh pozharov na territorii Rossiyskoy Federatsii* [Comparative analysis of the consequences of forest fires on the territory of the Russian Federation]. *Les Rossii i khozyaystvo v nikh* [Forests of Russia and management in them], 2023, no. 4 (87), pp. 69–77.
- [19] Tomshin O.A., Solov'ev B.S. *Detektirovanie garey na territorii vostochnoy sibiri po dannym AVHRR/NOAA (1984–2016) s ispol'zovaniem kombinirovannogo podkhoda* [Detection of burnt areas in the territory of Eastern Siberia according to AVHRR/NOAA data (1984–2016) using a combined approach]. *Sovremennyye problemy distantsionnogo zondirovaniya Zemli iz kosmosa* [Modern problems of remote sensing of the Earth from space], 2019, v. 16, no. 4, pp. 137–149.
- [20] Baginova O.D., Altaev A.A. *Lesnye pozhary v Buryatii* [Forest fires in Buryatia]. *Bezopasnost' zhiznedeyatel'nosti* [Life safety], 2019, no. 9 (225), pp. 50–53.
- [21] Gavrilo A.A., Ershova T.V., Eliseev A.A. *Organizatsiya bespilotnogo monitoringa lesnykh pozharov v Arkhangel'skoy oblasti* [Organization of unmanned monitoring of forest fires in the Arkhangelsk region]. *Tekhniko-tehnologicheskie problemy servisa* [Technical and technological problems of service], 2018, no. 4 (46), pp. 20–22.
- [22] Furyaev V.V., Samsonenko S.D., Furyaev I.V., Shubin D.A. *Pozharoustoychivost' lesov yugo-vostoka Zapadnoy Sibiri* [Fire resistance of forests in the southeast of Western Siberia]. Novosibirsk: Nauka, 2014, 156 p.
- [23] Martynyuk A.A. *Innovatsionnye razrabotki VNIILM — v praktiku lesnogo khozyaystva* [Innovative developments of VNIILM — in the practice of forestry]. *Lesokhozyaystvennaya informatsiya* [Forestry information], 2018, no. 3, pp. 7–11.
- [24] Shanin I.I., Lysych M.N. *Effektivnye orudiya i mekhanizirovannyye tekhnicheskiye ustroystva, primenyaemye pri profilaktike i tushenii lesnykh pozharov* [Effective tools and mechanized technical devices used in the prevention and extinguishing of forest fires]. *Uspekhi sovremennogo estestvoznaniya* [Advances in modern science], 2018, no. 12–2, pp. 403–410.
- [25] Kryukova M.S., Shidlovskiy A.L., Fakhmi Sh.S. *Otsenka pokazateley kachestva videosistemy obnaruzheniya lesnykh pozharov* [Assessing the quality indicators of a forest fire detection video system]. *Problemy upravleniya riskami v tekhnosfere* [Problems of risk management in the technosphere], 2018, no. 2 (46), pp. 63–73.
- [26] Borisova T.A. *Riski lesnykh pozharov v Baykal'skom regione na primere Respubliki Buryatiya* [Risks of forest fires in the Baikal region on the example of the Republic of Buryatia]. *Ispol'zovanie i okhrana prirodnnykh resursov v Rossii* [Use and protection of natural resources in Russia], 2016, no. 3 (147), pp. 42–47.
- [27] Orlov A.M., Andreev Yu.A., Chakov V.V., Pozdyakov V.V. *Pozharnaya obstanovka v lesakh Khabarovskogo kraya* [Fire situation in the forests of the Khabarovsk Territory]. Khabarovsk: JSC Khabarovsk Regional Printing House, 2022, 160 p.
- [28] Kozachenko M.A., Ashomka S.N., Kibakina A.V., Yuniyakin M.R., Golysh E.A. *Sravnitel'naya otsenka zhiznennogo sostoyaniya derev'ev i drevostoev listvennykh porod na nenarushennykh territoriyakh i posle lesnykh pozharov v lesakh Saratovskogo pravoberezh'ya* [Comparative assessment of the life state of trees and deciduous tree stands in undisturbed territories and after forest fires in the forests of the Saratov right bank]. *Nauchnaya zhizn'* [Scientific life], 2019, no. 1, pp. 102–110.
- [29] Ermolenko A.A. *Analiz sostoyaniya i prichin izmeneniya lesistosti v Tsentral'nom federal'nom okruge: slozhivshayasya praktika i vozmozhnyye resheniya* [Analysis of the state and causes of changes in forest cover in the Central federal district: current practice and possible solutions]. *Lesokhozyaystvennaya informatsiya* [Forestry information], 2018, no. 4, pp. 55–65.
- [30] Sverlova L.I. *Metod otsenki pozharnoy opasnosti v lesakh po usloviyam pogody s uchetom poyasov atmosferynoy zasushlivosti i sezonov goda* [A method for assessing fire danger in forests based on weather conditions, taking into account zones of atmospheric aridity and seasons]. Khabarovsk: Publishing house DV UGMS, 2000, 46 p.
- [31] Eritsov A.M., Sekerin I.M., Krekturnov A.A. *O neobkhodimosti sovershenstvovaniya normativno-pravovogo regulirovaniya v oblasti okhrany lesov ot pozharov* [On the need to improve legal regulation in the field of forest protection from fires]. *Vestnik Buryatskoy gosudarstvennoy sel'skokhozyaystvennoy akademii im. V.R. Filippova* [Bulletin of the Buryat State Agricultural Academy named after V.R. Filippova], 2023, no. 3 (72), pp. 79–86.
- [32] Krushel' E.G., Lyutaya T.P., Privalov O.O., Shcherbakov M.V. *Raspoznavanie pozharoопасnykh situatsiy v lesnykh massivakh i lesopolosakh* [Recognition of fire hazardous situations in forests and shelterbelts]. *Izvestiya Volgogradskogo gosudarstvennogo tekhnicheskogo universiteta* [News of the Volgograd State Technical University], 2018, no. 8 (218), pp. 39–42.
- [33] Krekturnov A.A., Efimov I.A., Vas'kov Ya.N., Zalesov S.V. *Analiz dannyykh po sposobam obnaruzheniya lesnykh pozharov na territorii Sverdlovskoy oblasti za period s 2014 po 2022 gody* [Analysis of data on methods of detecting forest fires in the Sverdlovsk region for the period from 2014 to 2022]. *Tekhnosfermaya bezopasnost'* [Technosphere safety], 2023, no. 2 (39), pp. 101–111.
- [34] Savchenko V.A., Korshunov N.A., Perminov A.V., Kotel'nikov R.V. *Prakticheskoe ispol'zovanie otechestvennykh metodov i tekhnologii, a takzhe sredstv obnaruzheniya i tusheniya lesnykh pozharov* [Practical use of domestic methods and technologies, as well as means of detecting and extinguishing forest fires]. Pushkino: Publishing house VNIILM, 2021, 27 p.
- [35] Konstantinov A.V., Koroleva T.S., Kushnir E.A., Torzhkov I.O. *Otsenka ekonomicheskikh posledstviy nablyudaemykh i ozhidaemykh klimaticheskikh izmeneniy s uchetom dolgosrochnnykh prognoznykh stsensariyev razvitiya lesnogo sektora* [Assessment of the economic consequences of observed and expected climate changes taking into account longterm forecast scenarios for the development of the forest sector]. *Lesotekhnicheskyy zhurnal* [Forestry Journal], 2017, v. 7, no. 4 (28), pp. 257–274.
- [36] Zalesov S.V. *Lesnaya pirologiya* [Forest pyrology]. Ekaterinburg: UGFLTU, 2021, 396 p.
- [37] Skryl'nik G.P. *Vliyaniye lesnykh pozharov na razvitiye geosistem plakorov yuga Sredney Sibiri i gor Dal'nego Vostoka* [The influence of forest fires on the development of geosystems of plains in the south of Central Siberia and the mountains of the Far East]. *Uspekhi sovremennogo estestvoznaniya* [Advances in modern natural science], 2018, no. 5, pp. 131–141.
- [38] Gudina A.G., Tyukavina O.N. *Analiz gorimosti lesov Vel'skogo rayona Arkhangel'skoy oblasti* [Analysis of forest fire rates in the Velsk region of the Arkhangelsk region]. *Uchenye zapiski Petrozavodskogo gosudarstvennogo universiteta* [Scientific notes of Petrozavodsk State University], 2018, no. 8 (177), pp. 74–77.

- [39] Kozachenko M.A., Ashomka S.N., Kibakina A.V., Yunyakin M.R., Golysh E.A. *Sravnitel'naya otsenka zhiznennogo sostoyaniya derev'ev i drevostoev listvennykh porod na nenarushennykh territoriyakh i posle lesnykh pozharov v lesakh Saratovskogo pravoberezh'ya* [Comparative assessment of the life state of trees and deciduous tree stands in undisturbed territories and after forest fires in the forests of the Saratov right bank]. *Nauchnaya zhizn'* [Scientific life], 2019, no. 1, pp. 102–110.
- [40] Goldammer J.G., Price C. Potential Impacts of Climate Change on Fire Regimes in the Tropics Based on Magicc and a GISS GCM-Derived Lightning Model. *Climatic Change*, 1998, v. 39, pp. 273–296.
- [41] Witze A. Why Arctic fires are bad news for climate change. *Nature*, 2020, t. 585, no. 7825, pp. 336–337.
- [42] Chikireva T.V. *Issledovanie vodno-teplovogo rezhima torfyanogo grunta vokrug truboprovoda pri podzemnoy prokladke* [Study of the water-thermal regime of peat soil around the pipeline during underground installation: abstract of thesis]. Dis. Cand. Sci. (Tech.). Tyumen, 2005, 24 p.

Authors' information

Kuksin Grigoriy Valer'evich — Researcher at the Department of Forest Pyrology and Protection of forests from fires, VNIILM, expert of ANO «Center for Prevention of Landscape Fires», Gkuksin1980@gmail.com

Sekerin Il'ya Mikhaylovich — Cand. Sci. (Agriculture), Associate Professor of the Department of Forestry, Ural State Forestry University

Zalesov Sergey Veniaminovich  — Dr. Sci. (Agriculture), Professor, Head of the Forestry Department of the Ural State Forestry University, zalesovsv@m.usfeu.ru

Received 24.01.2024.

Approved after review 21.02.2024.

Accepted for publication 02.05.2024.

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

НОВЫЕ ТЕХНИЧЕСКИЕ И ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЕ РЕШЕНИЯ В СФЕРЕ ТУШЕНИЯ ЛЕСНЫХ ПОЖАРОВ

О.И. Григорьева¹✉, В.А. Савченкова², И.В. Григорьев³,
И.С. Должиков⁴, А.С. Лоренц⁵, О.И. Гринько⁶

¹ФГБОУ ВО «Санкт-Петербургский государственный лесотехнический университет имени С.М. Кирова», Россия, 194021, г. Санкт-Петербург, Институтский пер., д. 5, лит. У

²ФГБОУ 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

³ФГБОУ ВО «Арктический государственный агротехнологический университет», Россия, 677008, Республика Саха (Якутия), г. Якутск, ш. Сергеляхское, 3 км, д. 3

⁴ФГБОУ ВО «Санкт-Петербургский государственный архитектурно-строительный университет», Россия, 190005, г. Санкт-Петербург, ул. 2-я Красноармейская, д. 4

⁵ФГАОУ ВО «Северный (Арктический) федеральный университет имени М.В. Ломоносова» (САФУ), 163002, Россия, г. Архангельск, ул. Набережная Северной Двины, д. 17

⁶ФГБОУ ВО «Братский государственный университет», Россия, 665709, Иркутская обл., г. Братск, ул. Макаренко, д. 40

grigoreva_o@list.ru

Проблема эффективного тушения лесных пожаров очень актуальна для лесного комплекса Российской Федерации, а для Сибири и Дальнего Востока особенно. Помимо оперативного обнаружения очагов лесных пожаров, значительную проблему представляет быстрая доставка воды к их очагам. В статье представлены новые технические и технологические решения для тушения лесных пожаров, прежде всего низовых. Установлена возможность получения необходимой для тушения пожара воды в лесу, при помощи мобильных иглофильтровых установок. Выявлена возможность существенной экономии воды на тушение лесного пожара, за счет использования высокотехнологичной системы пожаротушения тонкораспыленной водой высокого давления («водяной туман») Fire Stop 200/30. Рекомендована предварительная установка иглофильтров в наиболее пожароопасных выделах для повышения оперативности начала пожаротушения после доставки к месту их расположения мобильных иглофильтровых установок. Для обеспечения энергией мобильных иглофильтровых установок рекомендовано использование дизельных генераторов, а также мобильных газогенераторных установок. Показана возможность оперативной доставки сил и средств пожаротушения на место пожара, при помощи колесных и гусеничных тракторов малого класса тяги (мини-тракторов), и выполнения с их помощью ряда необходимых для тушения пожара работ.

Ключевые слова: лесные пожары, иглофильтровые установки, системы машин, мини-тракторы, пожарные форвардеры, водяной туман

Ссылка для цитирования: Григорьева О.И., Савченкова В.А., Григорьев И.В., Должиков И.С., Лоренц А.С., Гринько О.И. Новые технические и технологические решения в сфере тушения лесных пожаров // Лесной вестник / Forestry Bulletin, 2024. Т. 28. № 4. С. 66–77. DOI: 10.18698/2542-1468-2024-4-66-77

Лесные пожары оказывают воздействие на лесные экосистемы в масштабе всей планеты, наносят существенный экономический и экологический ущерб лесной отрасли [1–4], поэтому оперативная и эффективная борьба с ними определена как актуальная задача.

«Методика тушения ландшафтных пожаров», утвержденная МЧС России 14.09.2015 г. № 2-4-87-32 ЛБ, описывает различные способы локализации лесных пожаров, в частности тушение горячей кромки водой с помощью огнетушителей, мотопомп, пожарных автоцистерн, ранцевых опрыскивателей [5].

Примеры тушения крупных лесных пожаров с помощью воды [3, 5, 7, 8] свидетельствуют о несовершенстве этого способа в связи с недостаточной локализацией источников воды и трудно-

стью использования водоемов в этих целях. При отсутствии водных источников вблизи кромки пожара воду доставляют тракторными или автоцистернами, а за неимением сети дорог — вертолетами в емкостях (например, П-1.00) или на внешней подвеске.

Данные способы ресурсозатратны и зачастую вследствие большого плеча перевозки занимают значительный временной интервал. При обнаружении лесного пожара, даже в зоне применения наземных сил и средств, может возникнуть некоторая проблема доставки лесопожарной техники к месту пожара по причине его значительной удаленности [9–11]. Это отдаляет время начала тушения пожара, а следовательно, способствует увеличению площади пожара и возрастанию его силы. Поэтому актуально уменьшение временного интервала доставки воды к местам лесных пожаров, обеспечивающее эффективность их локализации.

Цель работы

Цель работы — анализ возможностей использования мобильных иглофильтровых установок для тушения лесных пожаров, экономии воды за счет использования высокотехнологичной системы пожаротушения тонкораспыленной водой высокого давления («водяной туман») Fire stop 200/30, оперативной доставки сил и средств пожаротушения на место пожара с помощью колесных и гусеничных мини-тракторов и выполнения с их помощью необходимых при тушении пожара работ.

Материалы и методы

В сфере строительства зданий и сооружений широко используется методика водопонижения, т. е. применяется комплекс специальных мер для стабилизации водоносного грунта во время строительства объекта. Существует множество видов установок водопонижения, которые используются в зависимости от условий эксплуатации. Поверхностное или открытое водопонижение предполагает выемку грунта для создания котлована или траншеи, в которых при гидроизоляции откосов вода, имеющая возможность поступать только с уровня дна, закачивается насосными установками [12]. Данная методика весьма востребована благодаря простоте технологии и возможности возведения котлована как ручным, так и механизированным способом. Однако получение воды таким способом имеет некоторые недостатки, основным из которых в сфере тушения лесных пожаров является низкая производительность выкачивания грунтовых вод, так как по мере откачки статических запасов жидкости ее приток к котловану уменьшается, и работа насосного оборудования становится малоэффективной.

Для откачки грунтовых вод из подготовленных приемных колодцев применяется подземное или закрытое водопонижение — в отечественной строительной практике в основном иглофильтровым способом.

Результаты и обсуждение

Технология вакуумного водопонижения является одним из самых эффективных современных способов понижения уровня грунтовых вод, в частности, ее возможно применить в условиях лесополосы, для быстрого получения воды непосредственно у места ее распыления. Современные вакуумные установки для водопонижения обеспечивают более 340 м³/ч воды [12]. Данная производительность возможна только при соблюдении определенных требований: при правильном расчете уровня грунтовых вод, необходимом диаметре иглофильтров и их количестве, и т. п.

Суть метода использования иглофильтрационных установок (ИФУ) заключается в погружении иглофильтров в осушаемый грунт преимущественно гидроразрывом или бурением (рис. 1).

В работе [13] приведено значение максимально возможного высокого вакуума, до 70 МПа, который может развиваться в насосе ИФУ. Следовательно, учитывая удельный вес столба воды в иглофильтре и гидравлические потери добываемых вод при прохождении канала от фильтрующего звена иглофильтра непосредственно до рабочего органа насоса, отрицательное давление в фильтровом звене иглофильтра может развиваться до значений не более 20...30 МПа, если фильтровое звено установлено не глубже 4...5 м от земной поверхности.

В статье [12] указано, что при уровне залегания грунтовых вод в Северо-Западном регионе на глубине 0,2...2 м от поверхности в фильтровых звеньях иглофильтров может развиваться вакуум большего значения (30...40 МПа). При этом приток воды из грунта усиливается под действием вакуума, благодаря интенсификации откачки воздушной смеси, проникающей в иглофильтр через верхнюю оголенную часть фильтрового звена. По сравнению с водой удельный вес воздушной смеси меньше, соответственно, меньше и общий удельный вес столба воды в водоподъемной трубе. Тогда из развиваемого насосом значения вакуума вычитается удельный вес столба не воды, а водовоздушной смеси. При этом оставшаяся энергия насоса интенсифицирует добычу грунтовых вод. Применение данного способа предусматривает подключение к всасывающему коллектору ИФУ вакуумного насоса для откачки воздуха.

После подключения насоса все иглофильтры подсоединяют к общему водосборному коллектору, в котором с помощью насоса развивается вакуум для добычи грунтовых вод, поступивших в иглофильтры. Вакуумный насос создает пониженное давление в коллекторе и, соответственно, в иглофильтрах. Грунтовая вода под давлением начинает поступать в магистраль. Таким образом происходит постепенное снижение уровня грунтовых вод.

Оборудование ИФУ достаточно компактное, легко перевозится к месту пожара и быстро разворачивается в рабочее состояние. Технически его не сложно использовать в лесу, вдали от обычных источников воды. Наиболее важным является определение глубины залегания грунтовых вод в лесу в целях возможности их получения с помощью ИФУ.

В работе [14] приведено несколько методов определения уровня залегания грунтовых вод:

1) непосредственное разовое измерение уровня грунтовых вод в соответствующие периоды;

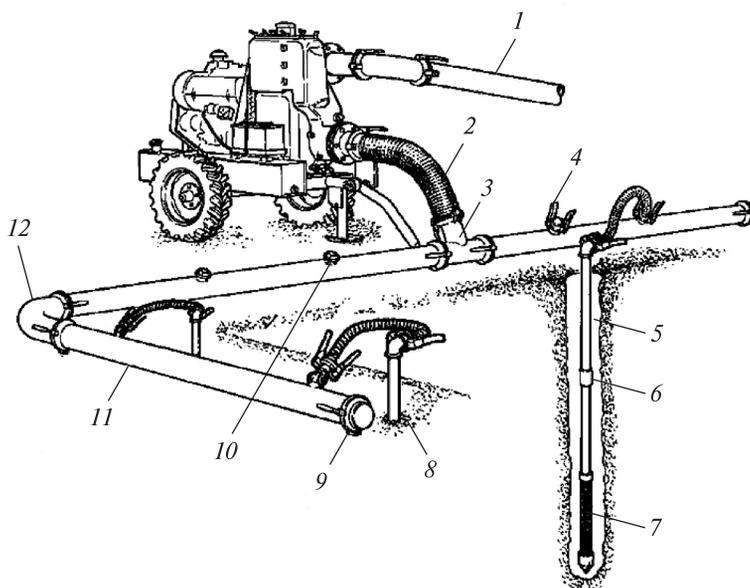


Рис. 1. Возможная компоновка системы водопонижения: 1 — труба выпускная; 2 — труба гибкая; 3 — муфта тройников; 4 — заглушка накидная; 5 — труба подъемная; 6 — муфта; 7 — иглофильтр; 8 — муфта Trasflex; 9 — заглушка вставная; 10 — пробка резьбовая; 11 — коллектор; 12 — патрубок коленчатый 90

Fig. 1. Possible layout of the dewatering system: 1 — outlet pipe; 2 — flexible pipe; 3 — tee coupling; 4 — coupling plug; 5 — lifting pipe; 6 — coupling; 7 — needle filter; 8 — Trasflex coupling; 9 — insertion plug; 10 — threaded plug; 11 — manifold; 12 — crank pipe 90

2) измерение уровня грунтовых вод в сочетании с анализом количества атмосферных осадков;

3) систематическое наблюдение за уровнем грунтовых вод в целях установления закономерностей колебания глубины их залегания.

Непосредственным разовым измерением глубины залегания грунтовых вод в конце мая — начале июня исключается влияние сезонной амплитуды, если в течение 1–2 мес. перед определением количество атмосферных осадков примерно равнялось среднемноголетним значениям, т. е. не было явно выраженного засушливого периода или периода обильного атмосферного увлажнения.

Более точно средняя многолетняя глубина залегания грунтовых вод устанавливается путем систематических наблюдений за уровнем грунтовых вод в специально устроенных скважинах (таблица).

Проанализировав информацию из имеющихся источников, можно полагать, что глубина залегания грунтовых вод в лесу, по усредненным значениям (см. таблицу), не превышает 5 м.

В настоящее время известно большое количество установок водопонижения. Они характеризуются как по типу привода — дизельные, электрические; так и по способу перемещения — стационарные, передвижные. На наш взгляд, наиболее перспективным отечественным вариантом

Усредненные уровни грунтовых вод в зависимости от бонитета

Averaged groundwater levels depending on bonitet

Глубина залегания грунтовых вод, м	Бонитет	Глубина залегания грунтовых вод, м	Бонитет
0,8	III, 7	2,6	II, 0
1,0	II, 8	2,8	III, 7
1,2	I, 4	3,0	III, 4
1,4	I, 6	3,2	III, 2
1,6	I, 5	3,4	III, 0
1,8	I, 2	3,6	IV, 9
2,0	II, 8	3,8	IV, 7
2,2	II, 5	4,0	IV, 6
2,4	II, 3	4,2	IV, 4

является установка понижения грунтовых вод ВПК (водопонижающий комплекс) «Шторм-М» (по ТУ 20.10.20–001–VPC007–20E–2017) производства компании ООО «Грунт-Вакуум» (Ленинградская обл.), которая уже прошла предварительные испытания в условиях леса и показала хорошие эксплуатационные качества.

В условиях леса объективно выгодней использовать дизельные (автономные) передвижные

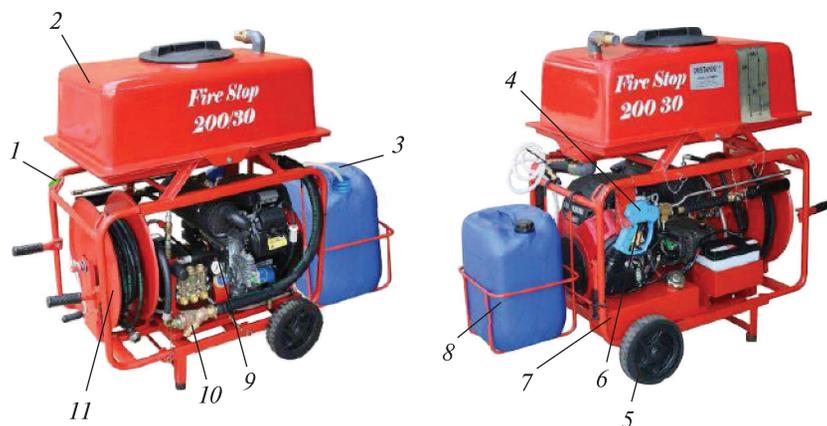


Рис. 2. Компоновка установки Fire Stop 200/30: 1 — рама; 2 — бак для воды; 3 — система всасывания огнетушащего раствора; 4 — распылительный пистолет высокого давления; 5 — колесное шасси; 6 — крепление распылительного пистолета высокого давления; 7 — топливный бак; 8 — бак для огнетушащего раствора; 9 — фильтр линии подачи воды; 10 — фланец крепления распылительного пистолета к шлангу; 11 — шланг

Fig. 2. Fire Stop 200/30 installation layout: 1 — frame; 2 — water tank; 3 — fire extinguishing solution suction system; 4 — high-pressure spray gun; 5 — wheeled chassis; 6 — high-pressure spray gun mounting; 7 — fuel tank; 8 — fire extinguishing solution tank; 9 — water supply line filter; 10 — flange of spray gun attachment to the hose; 11 — hose

вакуумные установки водопонижения. При использовании стационарных аналогов в момент погрузки и выгрузки необходимо привлекать подъемно-транспортные средства, что увеличивает временной интервал развертки установки.

Вся система водопонижения состоит из нескольких элементов, их суммарная масса не превышает 1,3 т, что позволяет использовать транспортно-технологическое средство повышенной проходимости с грузоподъемностью до 2 т.

Рассмотренные выше ИФУ, как показывают результаты предварительных испытаний установки ВПК «Шторм-М» в лесу, позволяют извлекать из подземных источников большой объем воды. Водой заправляются пожарные машины (тракторы, форвардеры) или ранцевые огнетушители. При этом есть возможность использовать извлеченную воду для тушения пожара непосредственно от установки благодаря значительному напору. Тем не менее, наиболее эффективное использование воды является важной задачей при тушении лесного пожара, решить которую можно при работе непосредственно от ИФУ, или лесопожарной машины, используя систему пожаротушения Fire Stop 200/30 компании Cristanini (Италия) (рис. 2). Она представляет собой легкое модульное транспортное средство, поддающееся эффективному управлению двух специалистов пожаротушения.

Система пожаротушения Fire Stop 200/30 имеет следующие преимущества:

- высокую мобильность;
- низкие водо- и энергопотребление;

- простоту в использовании;
- многофункциональность;
- высокую производительность;
- безопасность работы;
- возможность транспортировки и применения на труднодоступных участках;
- возможность смешивания воды с огнетушащим раствором в необходимых пропорциях.

Система пожаротушения Fire Stop 200/30 работает от бензинового двигателя, мощностью 14,7 кВт, который приводит в действие насос высокого давления (20 МПа). Насос обеспечивает дальность струи до 17 м. Для автономной работы на системе Fire Stop 200/30 установлены бак для воды емкостью 120 дм³ и бак для огнетушащего раствора емкостью 30 дм³. Расход воды составляет 30 дм³/мин, огнетушащего раствора — 3 дм³/мин.

При пустых баках система Fire Stop 200/30 имеет массу 175 кг, ее габаритные размеры составляют 1320×700×1200 мм. Система оснащена шлангом длиной 40 м.

Малые габариты и масса позволяют системе Fire Stop 200/30 перемещаться на компактных транспортных средствах, имеющих высокую проходимость и маневренность под пологом леса (рис. 3), или на лодках.

Эффективность работы системы пожаротушения Fire Stop 200/30 обеспечивает запатентованный распылительный пистолет высокого давления, который создает «водяной туман» за счет необычайного мелкого распыления струи воды (или смеси воды с огнетушащим раствором). В частности, 1 дм³ тонкораспыленной воды при



Рис. 3. Мини-машины высокой проходимости для размещения системы Fire Stop 200/30
Fig. 3. Mini-machines of high cross-country mobility to accommodate the Fire Stop 200/30 system

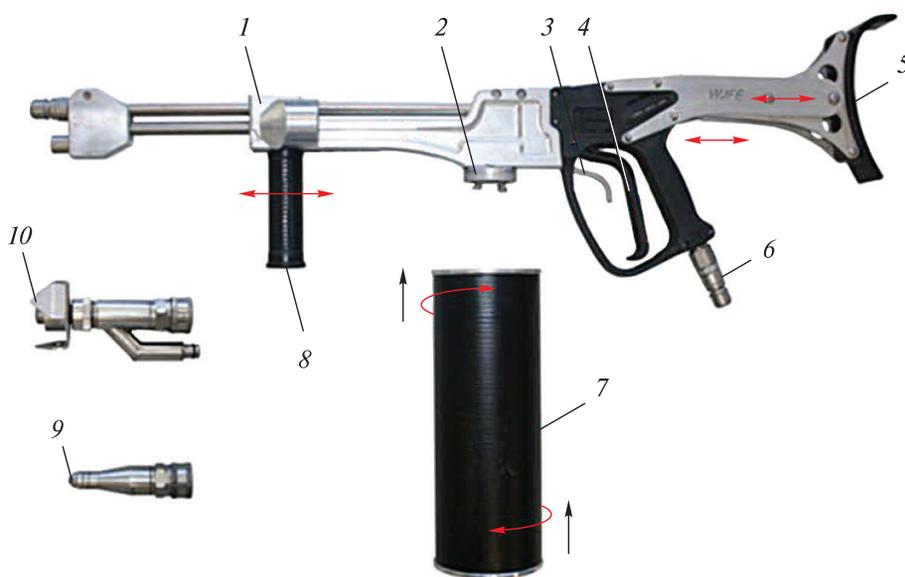


Рис. 4. Распылительный пистолет высокого давления компании Cristanini (Италия): 1 — вакуум; 2 — быстроразъемное соединение абразивного картриджа; 3 — курок для вкл/выкл абразивного действия; 4 — курок для воды высокого давления; 5 — регулируемый плечевой упор; 6 — соединение воды высокого давления; 7 — картридж для абразивных материалов (стрелками показан способ его присоединения); 8 — регулируемая ручка; 9 — распылительная форсунка («водяной туман»); 10 — режущая форсунка

Fig. 4. Cristanini high pressure spray gun (Italy): 1 — vacuum; 2 — quick—release connection of the abrasive cartridge; 3 — trigger for on/off abrasive action; 4 — trigger for high—pressure water; 5 — adjustable shoulder rest; 6 — connection of high—pressure water; 7 — cartridge for abrasive materials (arrows show the method of its connection); 8 — adjustable handle; 9 — spray nozzle («water mist»); 10 — cutting nozzle

давлении 20 МПа производит 160 млн капель, которые имеют с атмосферой контактную поверхность 20 м², что в 416 раз больше поверхности, покрываемой давлением 0,1 МПа. Тонкораспыленная вода быстро превращается в пар и эффективно поглощает теплоту, производимую пожаром.

Распылительный пистолет высокого давления, в зависимости от конкретной ситуации, может работать в четырех режимах. В случае необходимости и при добавлении картриджа с абразивом этот пистолет может работать и как резак (рис. 4),

а при работе «в упор» — быстро перерезать, например, мешающие стволы деревьев (система WIFE 300 modular той же компании Cristanini (Италия)). Система WIFE 300 modular сочетает в себе свойства быстрой водяной струи (940 км/ч или 261 м/с), создаваемой за счет высокого давления на выходе из форсунки, с абразивным материалом, который смешивается в распылительном пистолете. В результате обеспечивается мощная резка, позволяющая выполнять перфорации/резку различных материалов большой толщины.



а



б

Рис. 5. Российские мини-тракторы: а — «Нева МТ-1»; б — BAUMECH
 Fig. 5. Russian mini tractors: а — «Neva MT-1»; б — BAUMECH

Создавать необходимое для работы такого водяного пистолета давление необязательно с помощью штатного насоса (двигателя и насоса системы пожаротушения Fire Stop 200/30). Конструктивно можно обеспечить требуемое давление от системы лесопожарной машины или ИФУ. Опытно-конструкторским путем можно подобрать и оптимальные параметры форсунки для создания «водяного тумана».

Рассмотренные установки для добычи воды в лесу и эффективного пожаротушения обладают очень важным свойством — мобильностью. Они могут перемещаться в нужную точку с помощью компактных транспортных средств, имеющих высокую проходимость и маневренность под пологом леса. К таким машинам относятся колесные и гусеничные-мини тракторы, успешно производимые несколькими машиностроительными заводами в Российской Федерации [15] (рис. 5, а, б). За рубежом машины такой компоновки называют «железным конем».

ЗАО «Красный Октябрь — Нева» (г. Санкт-Петербург) производит мини-тракторы «Нева МТ-1». Производственная компания BAUMECH (г. Новосибирск) производит колесные и гусеничные мини-тракторы, которые легко перемещаются по дорогам общего пользования на простом прицепе к легковому автомобилю.

Серьезным недостатком классических лесопожарных тракторов является сезонность их использования. В непожароопасный сезон они простаивают в боксах, связывая оборотные средства предприятия. С точки зрения эффективности использования базового шасси пожарные форвардеры значительно лучше, поскольку в непожароопасный сезон с них достаточно быстро можно демонтировать пожарное оборудование и использовать для выполнения других работ.

Это же можно отнести и к мини-тракторам, которые можно задействовать для перемещения ИФУ и систем пожаротушения Fire Stop 200/30.

После доставки оборудования в точку борьбы с лесным пожаром эти машины могут выполнять работы по минерализации прилегающих к кромке пожара полос леса, сбору лесных горючих материалов и т. д.

Когда мини-тракторы не задействованы на пожаротушении в лесу, их можно использовать на лесовосстановительных работах, первых рубках ухода, малообъемных лесозаготовках и т. д. [16–19].

Исходя из принципа модульной компоновки универсальной системы машин, для доставки рассмотренного выше противопожарного оборудования следует иметь как колесные, так и гусеничные мини-машины, поскольку колесные машины обеспечивают большую эксплуатационную скорость, а гусеничные — большую проходимость и тяговое усилие, необходимые, например, при работах по минерализации почвы [20, 21].

В наиболее пожароопасных кварталах, оптимальных с точки зрения логистики доставки воды к местам пожаротушения в конкретной местности, иглофильтры установки водопонижения (недорогие) можно заранее загрузить (замыть) в грунт, и тогда при необходимости будет возможность доставить рукава и насос, что позволит оперативно приступить к добыче воды для тушения пожара.

Как указано выше, наиболее приемлема автономная ИФУ с дизельным двигателем. Но в связи с тем, что ИФУ запитывается от электродвигателей, рассмотрим способы получения электроэнергии в лесу от мобильных газогенераторных установок. Этот вопрос подробно раскрыт в работах [22–26] для случая энергоснабжения лесных терминалов.

Перспективным сырьем для работы мобильных газогенераторных установок в рассматриваемых условиях являются порубочные остатки (кроновая часть, вершинная часть хлыстов, отком-

левки), сбор которых эффективно осуществляется с помощью рассмотренных выше мини-тракторов [27–30], а измельчают их мобильными рубильными машинами [31–33].

Получаемую посредством ИФУ воду некоторые авторы [17, 34] считают целесообразно использовать для полива древесно-кустарниковой растительности, например, при создании и эксплуатации лесных плантаций.

В силу специфики сложения и гидротермического режима, недоступным для использования ИФУ будут условия лесов на вечной мерзлоте. Хотя слой сезонной мерзлоты, в рассматриваемых природно-производственных условиях будет оттаивать, но эффекта получения воды, как из водоносного слоя грунтовых вод, получить не удастся [35].

Выводы

Успешные испытания установки понижения грунтовых вод ВПК «Шторм-М» подтвердили эффективность добычи воды в лесу в оптимальном для борьбы с лесным пожаром месте.

В освоенных лесных массивах защитных и эксплуатационных лесов, в наиболее оптимальных местах лесопожарных кварталов следует заранее устанавливать (заглублять) иглофильтры, что позволяет повысить оперативность начала тушения лесного пожара при доставке к их месторасположению ИФУ.

Перемещение ИФУ, благодаря их компактности и небольшой массе, рационально перемещать на колесных или гусеничных мини-тракторах, в зависимости от природно-производственных условий.

Техническое решение системы Fire Stop 200/30 позволяет существенно повысить эффективность тушения пожара, при одновременной экономии воды.

Работа выполнена в рамках научной школы «Инновационные разработки в области лесозаготовительной промышленности и лесного хозяйства». Исследование выполнено по гранту Российского научного фонда № 23-16-00092, <https://rscf.ru/project/23-16-00092/>.

Список литературы

- [1] Lukina A., Lisyatnikov M., Martinov V., Kunitskaya O., Chernykh A., Roschina S. Mechanical and microstructural changes in post-fire raw wood // *Architecture and Engineering*, 2022, t. 7, no. 3, pp. 44–52.
- [2] Krivoshapkina O., Yakovleva A., Zakharova A., Pavlova A., Eroshenko V., Gogoleva P., Tikhonov E., Kunitskaya O. Environmental safety of residents of Yakutsk and Zhatay: evidence from sociological research // *J. of Environmental Studies and Sciences*, 2022, t. 12, no. 3, pp. 566–576.
- [3] Куницкая О.А., Новгородов Д.В., Марков О.Б. Проблемы эффективной переработки поврежденной лесным пожаром древесины // *Комплексные вопросы аграрной науки и образования. Сборник науч. статей по материалам внутривузовской науч.-практ. конф., посвященной 65-летию высшего аграрного образования Республики Саха (Якутия) и Всерос. студ. науч.-практ. конф. с междунар. участием в рамках «Северного форума – 2021 по устойчивому развитию»*, 30 сент. 2021 г. Якутск. Якутск: Изд-во Арктического государственного агротехнологического университета, 2021. С. 285–291.
- [4] Григорьева О.И., Гринько О.И., Гурьев А.Ю. Перспективная технология лесовосстановления после крупных и катастрофических лесных пожаров // *Повышение эффективности лесного комплекса. Материалы VIII Всерос. нац. науч.-практ. конф. с междунар. участием*, 24 мая 2022 г., Петрозаводск. Петрозаводск: Изд-во Петрозаводского государственного университета, 2022. С. 52–54.
- [5] Методика тушения ландшафтных пожаров. Утверждена МЧС России 14 сентября 2015 г. № 2–4–87–32–ЛБ. URL: <https://www.garant.ru/products/ipo/prime/doc/71145496/> (дата обращения 05.09.2023 г.)
- [6] Ковалев Р.Н., Еналеева-Бандура И.М., Баранов А.Н., Григорьева О.И., Григорьев И.В. Математическая модель определения оптимального месторасположения лесных пожарно-химических станций с учетом уровня развития транспортных сетей на территории лесного фонда // *Resources and Technology*, 2021. Т. 18. № 4. С. 77–92.
- [7] Коршунов Н.А., Щетинский Е.А. Руководство тушением крупных лесных пожаров // *Лесное хозяйство*, 2013. № 4. С. 39–40.
- [8] Андреев Ю.А., Брюханов А.В. Профилактика, мониторинг и борьба с природными пожарами (на примере Алтае-Саянского экорегиона). Красноярск: Город, 2011. 272 с.
- [9] Елисеев А.А., Тарасова В.А. Использование форвардера John Deere для тушения лесных пожаров // *Социально-экономические и технические системы: исследование, проектирование, оптимизация*, 2021. № 2 (88). С. 78–85.
- [10] Григорьева О.И., Гринько О.И., Николаева Ф.В. Лесопожарные транспортно-технологические комплексы на базе колесных форвардеров // *Транспортные и транспортно-технологические системы. Материалы междунар. науч.-техн. конф. Тюмень*, 15 апреля 2021 г. / отв. редактор Н.С. Захаров. Тюмень: Изд-во Тюменского индустриального университета, 2021. С. 55–58.
- [11] Мартынюк А.А., Котельников Р.В. Использование закона Бенфорда для оценки достоверности сведений о лесных пожарах // *Лесотехнический журнал*, 2018. Т. 8. № 1 (29). С. 28–34.
- [12] Волкова Ю.В., Шкваров А.И., Духопельникова Н.Р., Рудевский В.М. Применение иглофильтровых установок в Санкт-Петербурге // *Неделя науки СПбПУ: Материалы науч. конф. с междунар. участием, Санкт-Петербург, 19–24 ноября 2018 г. СПб.: Политех-Пресс*, 2018. С. 136–138.
- [13] Арутюнян Р.Н. Вакуумное водопонижение в практике строительства. М.: Стройиздат, 1990. 184 с.
- [14] Русаленко А.И. Определение глубины залегания грунтовых вод в лесных фитоценозах. Минск: Изд-во Белорусского государственного технологического университета, 2009. 16 с.
- [15] Михайлова Л.М., Куницкая О.А., Мотовилов А.И. Перспективы систем машин на базе средств малой механизации для малообъемных лесозаготовок и лесохозяйственных работ // *Стратегия и перспективы развития агротехнологий и лесного комплекса Якутии до 2050*

- года: Материалы всерос. науч.-практ. конф. с междунар. участием, посвященной 100-летию образования Якутской АССР и 85-летию Первого президента РС(Я) М.Е. Николаева (Николаевские чтения), Якутск, 17 ноября 2022 г. Якутск: Знание-М, 2022. С. 735–742.
- [16] Morkovina S.S., Kunickaya O., Dolmatova L., Markov O., Nguyen V.L., Baranova T., Shadrina S., Grin'ko O. Comparative analysis of economic aspects of growing seedlings with closed and open root systems: the experience of Russia // *Asian J. of Water, Environment and Pollution*, 2021, t. 18, no. 2, pp. 19–26.
- [17] Kunickaya O., Tanyukevich V., Khmeleva D., Kulik A., Runova E., Savchenkova V., Voronova A., Lavrov M. Cultivation of the targeted forest plantations // *J. of Environmental Treatment Techniques*, 2020, t. 8, no. 4, pp. 1385–1393.
- [18] Куницкая О.А., Давтян А.Б., Помигуев А.В. Транспортно-технологические комплексы для производства топливной щепы // *Транспортные и транспортно-технологические системы: Материалы Междунар. науч.-техн. конф., Тюмень, 15 апреля 2021 года / под ред. Н.С. Захарова. Тюмень: Изд-во Тюменского индустриального университета, 2021. С. 141–144.*
- [19] Куницкая О.А., Степанова Д.И., Григорьев М.Ф. Транспортно-технологические системы для сбора и переработки пищевой продукции леса // *Энергоэффективность и энергосбережение в современном производстве и обществе: Материалы Междунар. науч.-практ. конф. Воронеж, 06–07 июня 2018 г. / под ред. В.А. Гулевского. Воронеж: Изд-во Воронежского государственного аграрного университета имени Императора Петра I, 2018. С. 102–108.*
- [20] Sushkov S.I., Burmistrova O.N., Timokhova O., Burmistrov V.A., Mikhaylenko E., Chemshikova Y. Perfection of decision-making methods in multilevel hierarchical transport systems // *IOP Conf. Series: Materials Sci. and Engineering*. Novosibirsk, 2019, С. 012203.
- [21] Бурмистрова О.Н., Черников Э.А., Пильник Ю.Н., Чемшикова Ю.М. К вопросу совершенствования транспортных грузопотоков лесоматериалов в условиях интеллектуальных транспортных систем // *Лесотехнический журнал*, 2018. Т. 8. № 3 (31). С. 131–138.
- [22] Куницкая О.А., Помигуев А.В. Функциональные возможности и эксплуатационные характеристики средств энергоснабжения лесных терминалов // *Повышение эффективности лесного комплекса: Материалы VII Всерос. нац. науч.-практ. конф. с междунар. участием. Петрозаводск, 25 мая 2021 г. Петрозаводск: Изд-во Петрозаводского государственного университета, 2021. С. 102–103.*
- [23] Куницкая О.А., Помигуев А.В. Эффективная система преобразования тепловой энергии в электрическую для энергоснабжения лесных терминалов // *Повышение эффективности лесного комплекса: Материалы VII Всерос. нац. науч.-практ. конф. с междунар. участием. Петрозаводск, 25 мая 2021 г. Петрозаводск: Изд-во Петрозаводского государственного университета, 2021. С. 104–105.*
- [24] Куницкая О.А., Стородубцева Т.Н., Помигуев А.В. Энерго-ресурсосберегающие технологии электроснабжения лесных терминалов // *Эколого-ресурсосберегающие технологии в науке и технике: Материалы Всерос. науч.-техн. конф., Воронеж 19–20 октября 2021 г. Воронеж: Изд-во Воронежского государственного лесотехнического университета им. Г.Ф. Морозова, 2021. С. 112–117.*
- [25] Куницкая О.А., Помигуев А.В. Перспективы развития систем генерирования и преобразования электрической энергии для лесных терминалов // *Лесоэксплуатация и комплексное использование древесины: сб. статей Всерос. науч.-практ. конф. Красноярск, 10 марта 2021 г. Красноярск: Изд-во Сибирского государственного университета науки и технологий имени академика М.Ф. Решетнева, 2021. С. 124–128.*
- [26] Kunickaya O., Pomiguyev A., Kruchinin I., Storodubtseva T., Voronova A., Levushkin D., Borisov V., Ivanov V. Analysis of modern wood processing techniques in timber terminals // *Central European Forestry J.*, 2022, t. 68, no. 1, pp. 51–59.
- [27] Трушевский П.В., Куницкая О.А. Современные системы машин для очистки лесосек от порубочных остатков // *Актуальные проблемы лесного хозяйства и деревопереработки: Материалы Всерос. науч.-практ. конф. Казань, 24–28 апреля 2023 г. / под ред. Ю.М. Казакова. Казань: Изд-во Казанского национального исследовательского технологического университета, 2023. С. 121–126.*
- [28] Трушевский П.В., Куницкая О.А. Влияние технологии и системы машин лесосечных работ на концентрацию порубочных остатков // *Актуальные проблемы лесного хозяйства и деревопереработки: Материалы Всерос. науч.-практ. конф. Казань, 24–28 апреля 2023 г. / под ред. Ю.М. Казакова. Казань: Изд-во Казанского национального исследовательского технологического университета, 2023. С. 110–113.*
- [29] Трушевский П.В., Куницкая О.А. Способы сбора порубочных остатков для производства биотоплива // *Актуальные проблемы лесного хозяйства и деревопереработки: Материалы Всерос. науч.-практ. конф. Казань, 24–28 апреля 2023 г. / под ред. Ю.М. Казакова. Казань: Изд-во Казанского национального исследовательского технологического университета, 2023. С. 89–93.*
- [30] Kunickaya O.A., Sleptsova N.A., Ustinova V.V., Shadrin A.A., Burmistrova O.N., Markov O.B., Gasparyan G.D., Davtyan A.B., Lapshina M.L., Kruzhilin S.N. Wood treatment with hydro impact: a theoretical and experimental study // *Bulgarian J. of Agricultural Science*. 2019, t. 25, no. 2, pp. 158–166.
- [31] Трушевский П.В., Куницкая О.А., Григорьева О.И., Давтян А.Б. Эффективное и безопасное использование мобильных рубительных машин // *Безопасность и охрана труда в лесозаготовительном и деревообрабатывающем производствах*. 2023. № 4. С. 30–43.
- [32] Ryabukhin P.B., Kunitskaya O.A., Burgonutdinov A.M., Makuev V.A., Sivtseva T.V., Zadrauskaite N.O., Gerts E.F., Markov O.B. Improving the efficiency of forest companies by optimizing the key indicators of sustainable forest management: a case study of the Far East // *Forest Science and Technology*, 2022, t. 18, no. 4, pp. 190–200.
- [33] Medvedev S.O., Zyryanov M.A., Mokhiev A.P., Kunitskaya O.A., Voronov R.V., Storodubtseva T.N., Grigorieva O.I., Grigorev I.V. Russian timber industry: current situation and modelling of prospects for wood biomass use // *International Journal of Design and Nature and Ecodynamics*, 2022, t. 17, no. 5, pp. 745–752.
- [34] Давтян А.Б., Должиков И.С., Куницкая О.А. Обоснование систем машин для создания и эксплуатации энергетических лесных плантаций в различных природно-производственных условиях // *Вестник АГАТУ*, 2022. № 4 (8). С. 49–94.
- [35] Новиков М.С., Куницкая О.А., Рудов С.Е., Каляшов В.А. Методика и аппаратура экспериментальных исследований динамики температур слоев лесного почвогрунта криолитозоны // *Устойчивое развитие сельского хозяйства и агросистем будущего в Арктике: Материалы Всерос. студ. науч.-практ. конф. в рамках Северного форума по устойчивому развитию, 30 ноября 2022 г., Новокузнецк. Якутск: Знание-М, 2022. С. 378–383.*

Сведения об авторах

Григорьева Ольга Ивановна¹ — доцент кафедры лесоводства, ФГБОУ ВО «Санкт-Петербургский государственный лесотехнический университет имени С.М. Кирова» (St. Petersburg State Forestry Engineering University named after S.M. Kirov), grigoreva_o@list.ru

Савченкова Вера Александровна — д-р с.-х. наук, доцент, гл. науч. сотр. отдела лесной пирологии и охраны лесов от пожаров ФБУ ВНИИЛМ, профессор кафедры «Лесные культуры, селекция и дендрология», ФГБОУ ВО «Московский государственный технический университет имени Н.Э. Баумана (национальный исследовательский университет)» (Мытищинский филиал), v9651658826@yandex.ru

Григорьев Игорь Владиславович — профессор кафедры «Технология и оборудование лесного комплекса», ФГБОУ ВО «Арктический государственный агротехнологический университет» (Arctic State Agrotechnological University). 677007, Республика Саха (Якутия), silver73@inbox.ru

Должиков Илья Сергеевич — ассистент кафедры безопасности производств, ФГБОУ ВО «Санкт-Петербургский государственный архитектурно-строительный университет» (Saint Petersburg State University of Architecture and Civil Engineering), idolzhikov222@mail.ru

Лоренц Анатолий Сергеевич — доцент кафедры инжиниринга транспортно-технологических средств и оборудования, ФГАОУ ВО «Северный (Арктический) федеральный университет имени М.В. Ломоносова» (Northern (Arctic) Federal University named after M.V. Lomonosov), a.lorents@narfu.ru

Гринько Олег Иванович — аспирант базовой кафедры воспроизводства и переработки лесных ресурсов, ФГБОУ ВО «Братский государственный университет» (Bratsk State University), goi2@yandex.ru

Поступила в редакцию 28.04.2023.

Одобрено после рецензирования 27.02.2024.

Принята к публикации 02.05.2024.

NEW TECHNICAL AND TECHNOLOGICAL SOLUTIONS TO EXTINGUISH FOREST FIRES

O.I. Grigor'eva¹, V.A. Savchenkova², I.V. Grigor'ev³, I.S. Dolzhikov⁴, A.S. Lorenz⁵, O.I. Grin'ko⁶

¹Saint Petersburg State Forestry Engineering University named after S.M. Kirov, 5, Institutsky Lane, 194021, Saint Petersburg, Russia

²BMSTU (Mytishchi branch), 1, 1st Institutskaya st., 141005, Mytishchi, Moscow reg., Russia

³Arctic State Agrotechnological University, 3, Sergelyakhskoye sh., 3 km, 677008, Yakutsk, Republic of Sakha (Yakutia), Russia

⁴Saint Petersburg State University of Architecture and Civil Engineering, 4, 2nd Krasnoarmeyskaya st., 190005, Saint Petersburg, Russia

⁵Northern (Arctic) Federal University named after M.V. Lomonosov, 17, Naberezhnaya Severnoy Dviny, 163002, Arkhangelsk, Russia

⁶Bratsk State University, 40, Makarenko st., 665709, Bratsk, Russia

grigoreva_o@list.ru

The issue of effective forest fires extinguishing is very topical for the forest complex in the Russian Federation, and especially for Siberia and the Far East. In addition to the rapid detection of forest fire foci, a significant problem is the rapid delivery of water to their foci. The article presents new technical and technological solutions for extinguishing forest fires, primarily grassroots ones. The possibility of obtaining the necessary water for extinguishing a fire in the forest using mobile wellpoint filter units has been established. The possibility of significant water savings for extinguishing a forest fire has been identified through the use of a high-tech fire extinguishing system with thinly sprayed high-pressure water («water mist») Fire Stop 200/30. It is recommended to pre-install wellpoint filters in the most fire-hazardous areas to increase the efficiency of fire extinguishing after delivery of mobile wellpoint filter units to their location. The use of diesel generators, as well as mobile gas generator sets, is recommended to provide energy for mobile wellpoint filter installations. The possibility of prompt delivery of fire extinguishing forces and means to the fire site, using wheeled and tracked tractors of small traction class (mini tractors), and using them to perform a number of necessary fire extinguishing works is shown.

Keywords: forest fires, wellpoint filter installations, machine systems, mini tractors, fire forwarders, water mist

Suggested citation: Grigor'eva O.I., Savchenkova V.A., Grigor'ev I.V., Dolzhikov I.S., Lorenz A.S., Grin'ko O.I. *Novye tekhnicheskie i tekhnologicheskie resheniya v sfere tusheniya lesnykh pozharov* [New technical and technological solutions to extinguish forest fires]. *Lesnoy vestnik / Forestry Bulletin*, 2024, vol. 28, no. 4, pp. 66–77. DOI: 10.18698/2542-1468-2024-4-66-77

References

- [1] Lukina A., Lisyatnikov M., Martinov V., Kunitskaya O., Chernykh A., Roschina S. Mechanical and microstructural changes in post-fire raw wood. *Architecture and Engineering*, 2022, t. 7, no. 3, pp. 44–52.
- [2] Krivoshapkina O., Yakovleva A., Zakharova A., Pavlova A., Eroshenko V., Gogoleva P., Tikhonov E., Kunickaya O. Environmental safety of residents of Yakutsk and Zhatay: evidence from sociological research. *J. of Environmental Studies and Sciences*, 2022, t. 12, no. 3, pp. 566–576.
- [3] Kunitskaya O.A., Novgorodov D.V., Markov O.B. *Problemy effektivnoy pererabotki povrezhdennoy lesnym pozharom drevesiny* [Problems of effective processing of wood damaged by forest fire]. *Kompleksnye voprosy agrarnoy nauki i obrazovaniya. Sbornik nauchnykh statey po materialam Vnutrivuzovskoy nauchno-prakticheskoy konferentsii, posvyashchennoy 65-letiyu Vysshego agrarnogo obrazovaniya Respubliki Sakha (Yakutiya) i Vserossiyskoy studencheskoy nauchno-prakticheskoy konferentsii s mezhdunarodnym uchastiem v ramkakh «Severnogo foruma – 2021»* [Complex issues of agrarian science and education. Collection of scientific articles based on the materials of the Intra-University Scientific and Practical Conference dedicated to the 65th anniversary of Higher Agrarian Education of the Republic of Sakha (Yakutia) and the All-Russian Student Scientific and Practical Conference with international participation within the framework of the Northern Forum – 2021], September 27 – November 12, 2021. Yakutsk: Arctic State Agrotechnological University, 2021, pp. 285–291.
- [4] Grigor'eva O.I., Grin'ko O.I., Gur'ev A.Yu. *Perspektivnaya tekhnologiya lesovosstanovleniya posle krupnykh i katastroficheskikh lesnykh pozharov* [Promising technology for reforestation after large and catastrophic forest fires]. *Povyshenie effektivnosti lesnogo kompleksa. Materialy VIII Vserossiyskoy natsional'noy nauchno-prakticheskoy konferentsii s mezhdunarodnym uchastiem. Petrozavodsk, 24 maya 2022 goda* [Improving the efficiency of the forestry complex. Materials of the VIII All-Russian National Scientific and Practical Conference with International Participation]. Petrozavodsk, May 24, 2022. Petrozavodsk: Petrozavodsk State University, 2022, pp. 52–54.
- [5] *Metodika tusheniya landshafnykh pozharov. Utr. MChS Rossii 14 sentyabrya 2015 g.* [Methods for extinguishing landscape fires. Approved Ministry of Emergency Situations of Russia September 14, 2015]. Available at: <https://www.garant.ru/products/ipo/prime/doc/71145496/> (accessed 05.09.2023).
- [6] Kovalev R.N., Enaleeva-Bandura I.M., Baranov A.N., Grigor'eva O.I., Grigor'ev I.V. *Matematicheskaya model' opredeleniya optimal'nogo mestoraspolozheniya lesnykh pozharo-khimicheskikh stantsiy s uchetom urovnya razvitiya transportnykh setey na territorii lesnogo fonda* [Mathematical model for determining the optimal location of forest fire-chemical stations taking into account the level of development of transport networks on the territory of the forest fund]. *Resources and Technology*, 2021, v. 18, no. 4, pp. 77–92.
- [7] Korshunov N.A., Shchetinskiy E.A. *Rukovodstvo tusheniem krupnykh lesnykh pozharov* [Management of extinguishing large forest fires]. *Lesnoe khozyaystvo* [Forestry], 2013, no. 4, pp. 39–40.
- [8] Andreev Yu. A., Bryukhanov, A. V. *Profilaktika, monitoring i bor'ba s prirodnyimi pozharami (na primere Altae-Sayanskogo ekoregiona)* [revention, monitoring and control of natural fires (on the example of the Altai-Sayan ecoregion)]. Krasnoyarsk: City, 2011, 272 p.
- [9] Eliseev A.A., Tarasova V.A. *Ispol'zovanie forvardera John Deere dlya tusheniya lesnykh pozharov* [Using a John Deere forwarder to extinguish forest fires]. *Sotsial'no-ekonomicheskie i tekhnicheskie sistemy: issledovanie, proektirovanie, optimizatsiya* [Socio-economic and technical systems: research, design, optimization], 2021, no. 2 (88), pp. 78–85.
- [10] Grigor'eva O.I., Grin'ko O.I., Nikolaeva F.V. *Lesopozharnye transportno-tekhnologicheskie komplekсы na baze kolesnykh forvarderov* [Forest fire transport-technological complexes based on wheeled forwarders]. *Transportnye i transportno-tekhnologicheskie sistemy. Materialy Mezhdunarodnoy nauchno-tekhnicheskoy konferentsii* [Transport and transport-technological systems. Materials of the International Scientific and Technical Conference]. Ed. N.S. Zakharov. Tyumen, April 15, 2021. Tyumen: Tyumen Industrial University, 2021, pp. 55–58.
- [11] Martynyuk A.A., Kotelnikov R.V. *Ispol'zovanie zakona Benforda dlya otsenki dostovernosti svedeniy o lesnykh pozharakh* [Using Benford's law to assess the reliability of information about forest fires]. *Lesotekhnicheskyy zhurnal* [Forestry Journal], 2018, v. 8, no. 1 (29), pp. 28–34.
- [12] Volkova Yu.V., Shkvarov A.I., Dukhopel'nikova N.R., Rudevskiy V.M. *Primenenie iglofil'trovnykh ustanovok v Sankt-Peterburge* [Application of wellpoint installations in St. Petersburg]. *Nedelya nauki SPbPU: mater. nauchnoy konferentsii s mezhdunarodnym uchastiem, Sankt-Peterburg, 19–24 noyabrya 2018 g.* [Science Week SPbPU: material. scientific conference with international participation], St. Petersburg, November 19–24, 2018. St. Petersburg: Polytech-Press, 2018, pp. 136–138.
- [13] Arutyunyan R.N. *Vakuumnoe vodoponizhenie v praktike stroitel'stva* [Vacuum water reduction in construction practice]. Moscow: Stroyizdat, 1990, 184 p.
- [14] Rusalenko A.I. *Opredelenie glubiny zaleganiya gruntovykh vod v lesnykh fitotsenozakh* [Determination of the depth of groundwater in forest phytocenoses]. Minsk: Belarusian State Technological University, 2009, 16 p.
- [15] Mikhaylova L.M., Kunitskaya O.A., Motovilov A.I. *Perspektivy sistem mashin na baze sredstv maloy mekhanizatsii dlya maloob'emnykh lesozagotovok i lesokhozyaystvennykh rabot* [Prospects for machine systems based on small-scale mechanization for low-volume logging and forestry work]. *Strategiya i perspektivy razvitiya agrotekhnologii i lesnogo kompleksa Yakutii do 2050 goda: mater. Vserossiyskoy nauchno-prakticheskoy konferentsii s mezhdunarodnym uchastiem, posvyashchennoy 100-letiyu obrazovaniya Yakutskoy ASSR i 85-letiyu Pervogo prezidenta RS(Ya) M.E. Nikolaeva (Nikolaevskie chteniya)* [Strategy and prospects for the development of agricultural technologies and the forestry complex of Yakutia until 2050: material. All-Russian scientific and practical conference with international participation, dedicated to the 100th anniversary of the formation of the Yakut Autonomous Soviet Socialist Republic and the 85th anniversary of the First President of the Republic of Sakha (Yakutia) M.E. Nikolaev (Nikolaev Readings)], Yakutsk, November 17, 2022. Yakutsk: Znanie-M, 2022, pp. 735–742.
- [16] Morkovina S.S., Kunickaya O., Dolmatova L., Markov O., Nguyen V.L., Baranova T., Shadrina S., Grin'ko O. Comparative analysis of economic aspects of growing seedlings with closed and open root systems: the experience of Russia. *Asian J. of Water, Environment and Pollution*, 2021, t. 18, no. 2, pp. 19–26.

- [17] Kunickaya O., Tanyukevich V., Khmeleva D., Kulik A., Runova E., Savchenkova V., Voronova A., Lavrov M. Cultivation of the targeted forest plantations. *J. of Environmental Treatment Tech-niques*, 2020, t. 8, no. 4, pp. 1385–1393.
- [18] Kunitskaya O.A., Davtyan A.B., Pomiguyev A.V. *Transportno-tekhnologicheskie komplekxy dlya proizvodstva toplivnoy shchepy* [Transport-technological complexes for the production of fuel chips]. *Transportnye i transportno-tekhnologicheskie sistemy: mater. Mezhdunarodnoy nauchno-tekhnicheskoy konferentsii* [Transport and transport-technological systems: material. International Scientific and Technical Conference, Tyumen, April 15, 2021]. Ed. N.S. Zakharov. Tyumen: Tyumen Industrial University, 2021, pp. 141–144.
- [19] Kunitskaya O.A., Stepanova D.I., Grigor'ev M.F. *Transportno-tekhnologicheskie sistemy dlya sbora i pererabotki pishchevoy produktzii lesa* [Transport and technological systems for the collection and processing of forest food products]. *Energoeffektivnost' i energosberezhenie v sovremennom proizvodstve i obshchestve: mater. Mezhdunarodnoy nauchno-prakticheskoy konferentsii* [Energy efficiency and energy saving in modern production and society: material. International Scientific and Practical Conference]. Ed. V.A. Gulevsky, Voronezh, June 06–07, 2018. Voronezh: Voronezh State Agrarian University named after Emperor Peter I, 2018, pp. 102–108.
- [20] Sushkov S.I., Burmistrova O.N., Timokhova O., Burmistrov V.A., Mikhaylenko E., Chemshikova Y. Perfection of decision-making methods in multilevel hierarchical transport systems. *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*. Novosibirsk, 2019, C. 012203.
- [21] Burmistrova O.N., Chernikov E.A., Pil'nik Yu.N., Chemshikova Yu.M. *K voprosu sovershenstvovaniya transportnykh gruzopotokov lesomaterialov v usloviyakh intellektual'nykh transportnykh sistem* [On the issue of improving transport cargo flows of timber in the conditions of intelligent transport systems]. *Lesotekhnicheskyy zhurnal* [Forestry Journal], 2018, v. 8, no. 3 (31), pp. 131–138.
- [22] Kunitskaya O.A., Pomiguyev A.V. *Funktsional'nye vozmozhnosti i ekspluatatsionnye kharakteristiki sredstv energosnabzheniya lesnykh terminalov* [Functional capabilities and operational characteristics of power supply means for forest terminals]. *Povyshenie effektivnosti lesnogo kompleksa: mater. VII Vserossiyskoy natsional'noy nauchno-prakticheskoy konferentsii s mezhdunarodnym uchastiem* [Improving the efficiency of the forestry complex: material. VII All-Russian National Scientific and Practical Conference with International Participation]. Petrozavodsk, May 25, 2021. Petrozavodsk: Petrozavodsk State University, 2021, pp. 102–103.
- [23] Kunitskaya O.A., Pomiguyev A.V. *Effektivnaya sistema preobrazovaniya teplovooy energii v elektricheskuyu dlya energosnabzheniya lesnykh terminalov* [An effective system for converting thermal energy into electrical energy for power supply of forest terminals]. *Povyshenie effektivnosti lesnogo kompleksa: mater. VII Vserossiyskoy natsional'noy nauchno-prakticheskoy konferentsii s mezhdunarodnym uchastiem* [Improving the efficiency of the forestry complex: material. VII All-Russian National Scientific and Practical Conference with International Participation]. Petrozavodsk, May 25, 2021. Petrozavodsk: Petrozavodsk State University, 2021, pp. 104–105.
- [24] Kunitskaya O.A., Storodubtseva T.N., Pomiguyev A.V. *Energo-resursosberegayushchie tekhnologii elektrosnabzheniya lesnykh terminalov* [Energy-resource-saving technologies for power supply to forest terminals]. *Ekologo-resursosberegayushchie tekhnologii v nauke i tekhnike: mater. Vserossiyskoy nauchno-tekhnicheskoy konferentsii* [Ecological and resource-saving technologies in science and technology: material. All-Russian Scientific and Technical Conference], Voronezh October 19–20, 2021. Voronezh: Voronezh State Forestry University named after G.F. Morozova, 2021, pp. 112–117.
- [25] Kunitskaya O.A., Pomiguyev A.V. *Perspektivy razvitiya sistem generirovaniya i preobrazovaniya elektricheskoy energii dlya lesnykh terminalov* [Prospects for the development of systems for generating and converting electrical energy for forest terminals]. *Lesoekspluatatsiya i kompleksnoe ispol'zovanie drevesiny: sb. statey Vserossiyskoy nauchno-prakticheskoy konferentsii* [Forest exploitation and complex use of wood: collection. articles of the All-Russian Scientific and Practical Conference]. Krasnoyarsk, March 10, 2021. Krasnoyarsk: Siberian State University of Science and Technology named after Academician M.F. Reshetneva, 2021, pp. 124–128.
- [26] Kunickaya O., Pomiguyev A., Kruchinin I., Storodubtseva T., Voronova A., Levushkin D., Borisov V., Ivanov V. Analysis of modern wood processing techniques in timber terminals. *Central European Forestry J.*, 2022, t. 68, no. 1, pp. 51–59.
- [27] Trushevskiy P.V., Kunitskaya O.A. *Sovremennye sistemy mashin dlya ochistki lesosek ot porubochnykh ostatkov* [Modern systems of machines for cleaning cutting areas from logging residues]. *Aktual'nye problemy lesnogo khozyaystva i derevopererabotki: mater. Vserossiyskoy nauchno-prakticheskoy konferentsii* [Current problems of forestry and wood processing: material. All-Russian Scientific and Practical Conference]. Ed. Yu.M. Kazakov, Kazan, April 24–28, 2023. Kazan: Kazan National Research Technological University, 2023, pp. 121–126.
- [28] Trushevskiy P.V., Kunitskaya O.A. *Vliyaniye tekhnologii i sistemy mashin lesosechnykh rabot na kontsentratsiyu porubochnykh ostatkov* [The influence of technology and systems of logging machines on the concentration of logging residues]. *Aktual'nye problemy lesnogo khozyaystva i derevopererabotki: mater. Vserossiyskoy nauchno-prakticheskoy konferentsii* [Current problems of forestry and wood processing: material. All-Russian Scientific and Practical Conference]. Ed. Yu.M. Kazakov, Kazan, April 24–28, 2023. Kazan: Kazan National Research Technological University, 2023, pp. 110–113.
- [29] Trushevskiy P.V., Kunitskaya O.A. *Sposoby sbora porubochnykh ostatkov dlya proizvodstva biotopliva* [Methods for collecting logging residues for biofuel production]. *Aktual'nye problemy lesnogo khozyaystva i derevopererabotki: mater. Vserossiyskoy nauchno-prakticheskoy konferentsii* [Current problems of forestry and wood processing: material. All-Russian Scientific and Practical Conference]. Ed. Yu.M. Kazakov, Kazan, April 24–28, 2023. Kazan: Kazan National Research Technological University, 2023, pp. 89–93.
- [30] Kunickaya O.A., Sleptsova N.A., Ustinova V.V., Shadrin A.A., Burmistrova O.N., Markov O.B., Gasparyan G.D., Davtyan A.B., Lapshina M.L., Kruzhilin S.N. Wood treatment with hydro impact: a theoretical and experimental study. *Bulgarian J. of Agricultural Science*. 2019, t. 25, no. 2, pp. 158–166.
- [31] Trushevskiy P.V., Kunitskaya O.A., Grigor'eva O.I., Davtyan A.B. *Effektivnoe i bezopasnoe ispol'zovanie mobil'nykh rubitel'nykh mashin* [Efficient and safe use of mobile chippers]. *Bezopasnost' i okhrana truda v lesozagotovitel'nom i derevobrabatvayushchem proizvodstvakh* [Safety and labor protection in logging and woodworking industries], 2023, no. 4, pp. 30–43.

- [32] Ryabukhin P.B., Kunitskaya O.A., Burgonutdinov A.M., Makuev V.A., Sivtseva T.V., Zdrauskaite N.O., Gerts E.F., Markov O.B. Improving the efficiency of forest companies by optimizing the key indicators of sustainable forest management: a case study of the Far East. *Forest Science and Technology*, 2022, t. 18, no. 4, pp. 190–200.
- [33] Medvedev S.O., Zyryanov M.A., Mokhirev A.P., Kunitskaya O.A., Voronov R.V., Storodubtseva T.N., Grigorieva O.I., Grigorev I.V. Russian timber industry: current situation and modelling of prospects for wood biomass use. *International Journal of Design and Nature and Ecodynamics*, 2022, t. 17, no. 5, pp. 745–752.
- [34] Davtyan A.B., Dolzhikov I.S., Kunitskaya O.A. *Obosnovanie sistem mashin dlya sozdaniya i ekspluatatsii energeticheskikh lesnykh plantatsiy v razlichnykh prirodno-proizvodstvennykh usloviyakh* [Justification of machine systems for the creation and operation of energy forest plantations in various natural production conditions]. *Vestnik AGATU* [Bulletin of AGATU], 2022, no. 4 (8), pp. 49–94.
- [35] Novikov M.S., Kunitskaya O.A., Rudov S.E., Kalyashov V.A. *Metodika i apparatura eksperimental'nykh issledovaniy dinamiki temperatur sloev lesnogo pochvogrunta kriolitozony* [Methods and equipment for experimental studies of the dynamics of temperatures in layers of forest soil in the permafrost zone]. *Ustoychivoe razvitie sel'skogo khozyaystva i agrosistem budushchego v Arktike: mater. Vserossiyskoy studencheskoy nauchno-prakticheskoy konferentsii v ramkakh «Severnogo foruma – 2022»* [Sustainable development of agriculture and agricultural systems of the future in the Arctic: material. All-Russian student scientific and practical conference within the framework of the Northern Forum – 2022]. Novokuznetsk, November 30, 2022. Yakutsk: Znanie-M, 2022, pp. 378–383.

The work was carried out within the framework of the scientific school «Innovative developments in the field of logging industry and forestry». The research was carried out under the grant of the Russian Science Foundation No. 23-16-00092, <https://rscf.ru/project/23-16-00092/>.

Authors' information

Grigor'eva Ol'ga Ivanovna  — Associate Professor of the Forestry Department of the Saint Petersburg State Forestry Engineering University named after S.M. Kirov, grigoreva_o@list.ru

Savchenkova Vera Aleksandrovna — Dr. Sci. (Agriculture), Associate Professor, Chief Researcher of the Department of Forest pyrology and fire protection of forests at the Federal Budget Institution All-Russian Research Institute for Silviculture and Mechanization of Forestry, v9651658826@yandex.ru

Grigor'ev Igor' Vladislavovich — Professor of the Department Technology and Equipment of the Forest complex of the Arctic State Agrotechnological University, silver73@inbox.ru

Dolzhikov Il'ya Sergeevich — Assistant of the Department of Industrial Safety of the Saint Petersburg State University of Architecture and Civil Engineering, idolzhikov222@mail.ru

Lorents Anatoliy Sergeevich — Associate Professor of the Department of Engineering of Transport and Technological Means and Equipment of the Northern (Arctic) Federal University named after M.V. Lomonosov (Northern (Arctic) Federal University named after M. V. Lomonosov), a.lorents@narfu.ru

Grin'ko Oleg Ivanovich — pg. of the Basic Department of Reproduction and Processing of Forest Resources of the Bratsk State University, goi2@yandex.ru

Received 28.04.2023.

Approved after review 27.02.2024.

Accepted for publication 02.05.2024.

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

КОМПЛЕКСНАЯ СТРАТЕГИЯ ОЗЕЛЕНЕНИЯ ВНУТРИКВАРТАЛЬНОЙ ТЕРРИТОРИИ В ГРАДОСТРОИТЕЛЬСТВЕ (НА ПРИМЕРЕ ИСТОРИЧЕСКОГО КВАРТАЛА Г. ВОРОНЕЖА)

В.В. Кругляк^{1✉}, Е.И. Гурьева², В.Г. Акашева²

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

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

kruglyak_vl@mail.ru

Приведена концептуальная модель комплексной стратегии озеленения внутриквартальной территории в градостроительстве. Рассмотрена схема этажности застройки с учетом границ территории исследования. Указаны городские социальные объекты. Проанализирована историческая ретроспектива развития ул. Кольцовской с 1880 по 2023 гг. Приведена карта градостроительного зонирования городского округа города Воронежа (зона — 1023; 1018; 1016; 1013). Выполнен фотоанализ объектов ландшафтно-градостроительной среды. Определен профиль ул. Фридриха Энгельса. Изложены рекомендации по оптимизации зеленых насаждений, их структуры, видового состава на территории внутренних дворов в пределах рассматриваемого исторического квартала.

Ключевые слова: озеленение населенных пунктов, градостроительство, квартал, зеленые насаждения

Ссылка для цитирования: Кругляк В.В., Гурьева Е.И., Акашева В.Г. Комплексная стратегия озеленения внутриквартальной территории в градостроительстве (на примере исторического квартала г. Воронежа) // Лесной вестник / Forestry Bulletin, 2024. Т. 28. № 4. С. 78–90. DOI: 10.18698/2542-1468-2024-4-78-90

Озеленение города представляет собой неотъемлемый элемент обустройства современной городской экосистемы. Зеленые насаждения смягчают негативные последствия урбанизации, благодаря формированию комфортного пространства для жизнедеятельности населения, что определяет их актуальность для градостроительства, в том числе для Воронежа. В целях сохранения уникальной природы Воронежа и создания улучшенных условий для его жителей требуется активная деятельность по озеленению [1].

Урбанизация в некотором смысле разрушает природную среду, сокращает зеленые зоны, что ведет к ухудшению состояния окружающей среды [2].

Одной из основных проблем зеленого строительства, в частности в Воронеже, является отсутствие зеленых зон и садов вблизи жилых кварталов. При строительстве новых жилых комплексов и бизнес-центров следует учитывать не только функциональность и эстетику, но и разрабатывать приемлемые принципы озеленения. Планы по благоустройству должны включать в себя парковые зоны, посадку деревьев и кустарников, цветники, а также ландшафтное дизайнерское оформление придомовых территорий [3]. В целях зеленого градостроительства необходимо создание хорошо организованных пешеходных и велосипедных дорожек для удобного передви-

жения пешеходов и велосипедистов. Наличие этих проблем не только затрудняет доступность различных районов города, но и приводит к загрязнению воздуха, вызывает пробки на дорогах. Зеленые насаждения украшают городскую среду и имеют важное значение для современного градостроительства [4].

Цель работы

Целью работы — разработка комплексной стратегии озеленения внутриквартальной территории города Воронежа, с учетом возможности достижения устойчивого развития города.

Объект исследования — внутриквартальная территория Воронежа, ограниченная улицами Пушкинской, Фридриха Энгельса, Свободы, 9 Января, Куцыгина и Кольцовской.

Предмет исследования — природный каркас исторического квартала Воронежа.

Для достижения поставленной цели были определены следующие задачи:

1) изучить природные особенности территории исторического квартала и определить ее ландшафтные характеристики, т. е. выполнить анализ текущего состояния озелененности городской территории;

2) проанализировать градостроительную ситуацию и определить возможности взаимодействия градостроительных объектов с окружающей средой, т. е. провести идентификацию зон, приори-

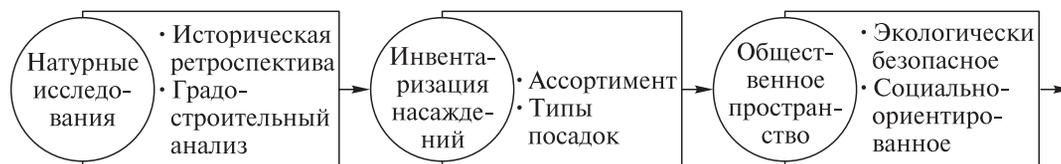


Рис. 1. Концептуальная модель исследования
Fig. 1. Conceptual study model

тетных для озеленения и создания новых зеленых площадей;

3) создать концепцию ландшафтно-градостроительной системы, учитывающую особенности природной среды и градостроительной ситуации, т. е. разработать мероприятия по поддержанию и улучшению состояния зеленых зон.

Материалы и методы

Методическую основу для проведения данного исследования составили современные отечественные и зарубежные теоретические и концептуальные методы проектирования озеленения кварталов [5]. Исследование осуществлялось поэтапно (рис. 1) с помощью комплексного подхода к изучению внешних факторов, влияющих на формирование и изменение окружающей среды в исторической части Воронежа в условиях ландшафтной реконструкции [6]. В ходе исследования были выявлены ландшафтно-градостроительные особенности и закономерности развития данной территории, использованные для разработки основ управления преобразованием окружающей среды исторического квартала Воронежа [7].

Для решения поставленных задач собрали данные о текущей озелененности городской территории Воронежа с использованием геоинформационных систем (ГИС), а также провели количественный и качественный анализ приоритетных для озеленения зон на основе географических и экологических характеристик. Кроме того, был разработан план мероприятий по озеленению зон с учетом землепользования, транспортной инфраструктуры и потребностей населения и проанализировано влияние комплексной стратегии озеленения на устойчивое развитие города с учетом экологических, социальных и экономических особенностей.

Стратегия озеленения внутриквартальной территории в пределах исторического района города заключается в оценке последствий антропогенного воздействия на зеленые насаждения [8] для достижения их эффективного состояния и создания благоприятной живописной среды [9].

Были использованы исследования:

- данные о стратегии развития городов [10];
- руководство по реконструкции городских зеленых насаждений [11];

- особенности использования ландшафта и архитектуры по данным Дж. Саймондса [12];

- характеристика проживания людей в городе обоснована на основании исследований Я. Гейла [13];

- планировочные предпосылки рационального природопользования города обоснованы по данным Баженова [14];

- составляющие экологического архитектурно-строительного проектирования в России приведены по данным Бенуж [15];

- градостроительная организация ландшафта для устойчивого развития городских территорий обоснована по данным Большакова [16];

- классические основы проектирования городской застройки представлены на основании исследований Залеской [17];

- ГИС-технологии ландшафтно-экологических исследований крупных городов приведены по данным Макарова [18];

- архитектура городских пешеходных пространств проанализирована с учетом данных Урбаха [19];

- формирование городских социальных пространств с использованием информационных технологий было синтезировано с учетом исследований Чурсина [20];

- лучшие мировые практики ландшафтного дизайна и устойчивости среды использованы по данным Нефедова [21];

- опыт западных стран в градостроительном развитии жилой застройки охарактеризован с использованием исследований Крашенинникова [22];

- современные элементы урбанистики представлены по данным Крашенинникова [23];

- исторические названия улиц города Воронежа представлены по материалам Попова [24];

- биоиндикация городских транспортно-селитебных ландшафтов рекомендуется по данным Шунелько [25];

- показатели комфортности ландшафтно-рекреационных территорий крупнейших городов проанализированы с учетом исследований Прокопенко [26];

- проектирование неаллергенного озеленения урбанизированных территорий показано на основании исследований Иванова [27];

– разработка и анализ вариантов проекта транспортно-пешеходного пересечения городских улиц в крупном городе определено с учетом исследований Буракова [28];

– термины и определения по озеленению городов приведены на основании ГОСТ 28329–89 [29];

– экологические особенности местных и интродуцированных деревьев и кустарников Центрального Черноземья изложены на основании многолетних и комплексных исследований Машкина [30].

Результаты и обсуждение

Природный комплекс Воронежа сформировался и существует без внешнего вмешательства человека и характеризуется индивидуальной структурой и внешним видом.

Градостроительный комплекс Воронежа сформирован человеком и сочетает в себе жилые дома и различные здания, необходимые для жизнедеятельности, в частности школы, детские сады, учебные заведения, пожарные депо, предприятия торговли и обслуживания, лечебные и другие медицинские учреждения и т. п. (рис. 2, 3).

Исследуемый квартал ограничен магистральной Кольцовской улицей общегородского значения, улицами районного значения — 9 Января и Пушкинской и местного значения — улицей Куцыгина. В структуре города ул. Кольцовская имеет форму полукольца, огибающего исторический центр города, протяженностью длиной около 2,9 км (рис. 4).

Природно-градостроительный комплекс Воронежа сформировался в результате градостроительного вмешательства в природный ландшафт в целях создания комфортной среды для жизнедеятельности человека. Придомовые территории, дворы, парки, скверы, бульвары и озелененные зоны отдыха спроектированы с учетом улично-дорожной сети так, чтобы просматривался ландшафт и обеспечивался эстетический внешний вид со всех сторон. При создании таких ландшафтных объектов в городской инфраструктуре используются уже существующие природные комплексы или формируются искусственные элементы, например насыпные холмы либо водоемы.

Согласно Правилам землепользования и застройки (документ текущей реализации Генерального плана) на исследуемой территории проведено зонирование (рис. 5).

Среди положительных моментов, можно отметить наличие зеленых насаждений на некоторых участках, которые не только создают тень в жаркие дни, но и служат естественным барьером между пешеходными дорожками и автомобильной дорогой. Также имеются места для отдыха, обо-

рудованные места для комфортного перехода и ухоженная пролегающая часть у прилегающих участков новых жилых комплексов. Внутренние и внешние стоянки также доступны для использования.

Однако есть и негативные аспекты, которые необходимо учесть. Часть пешеходных дорожек находится в плохом состоянии или требует ремонта, что затрудняет передвижение по ним. Также не везде предусмотрены пандусы для людей с ограниченной подвижностью. Места для отдыха декоративно не оформлены, иногда пешеходные переходы расположены далеко один от другого, что провоцирует спонтанные места перехода. Здание паспортного стола имеет много рекламных элементов, которые могут отвлекать водителей от дороги. Популярная остановка не оборудована лавочками и урнами, не имеет навеса. Некоторые объекты непригодны для использования из-за отсутствия нужного ремонта и продолжительного эксплуатационного периода. Некоторые стоянки не имеют необходимого покрытия и разметки и можно сказать, что являются «самопровозглашенными».

В целом исследование выявило как положительные, так и отрицательные аспекты в формировании и изменении жилой среды в исторической части города Воронежа. Это позволит разработать необходимые рекомендации и предложения по улучшению ситуации.

Создание зеленых технологий, основанных на привлекательных условиях для пешеходов и велосипедных поездок, а также для общественного транспорта, является одним из основных приоритетов градостроительства (рис. 6). Искажение структуры транспортной системы в больших городах России, включая Воронеж, обуславливает необходимость изменения их структуры в горизонтальном и вертикальном измерениях в целях увеличения доступности к полезным транспортным средствам для всех жителей (рис. 7) [31–33].

Экологический ландшафтный дизайн — это подход к созданию и управлению природными и полуприродными ландшафтами, который учитывает воздействие человека на окружающую среду. Он базируется на экологических принципах, направленных на сохранение биоразнообразия, защиту ресурсов и создание устойчивых экосистем. Образуя «лесные пейзажи» в городе, человек ставит перед собой следующие задачи:

- стабилизировать ветровой режим; увеличить сравнительную влажность атмосферы и уравновесить ее суточные и сезонные колебания;
- уменьшить выброс пыли и газов в атмосферу;
- снизить степень шума.

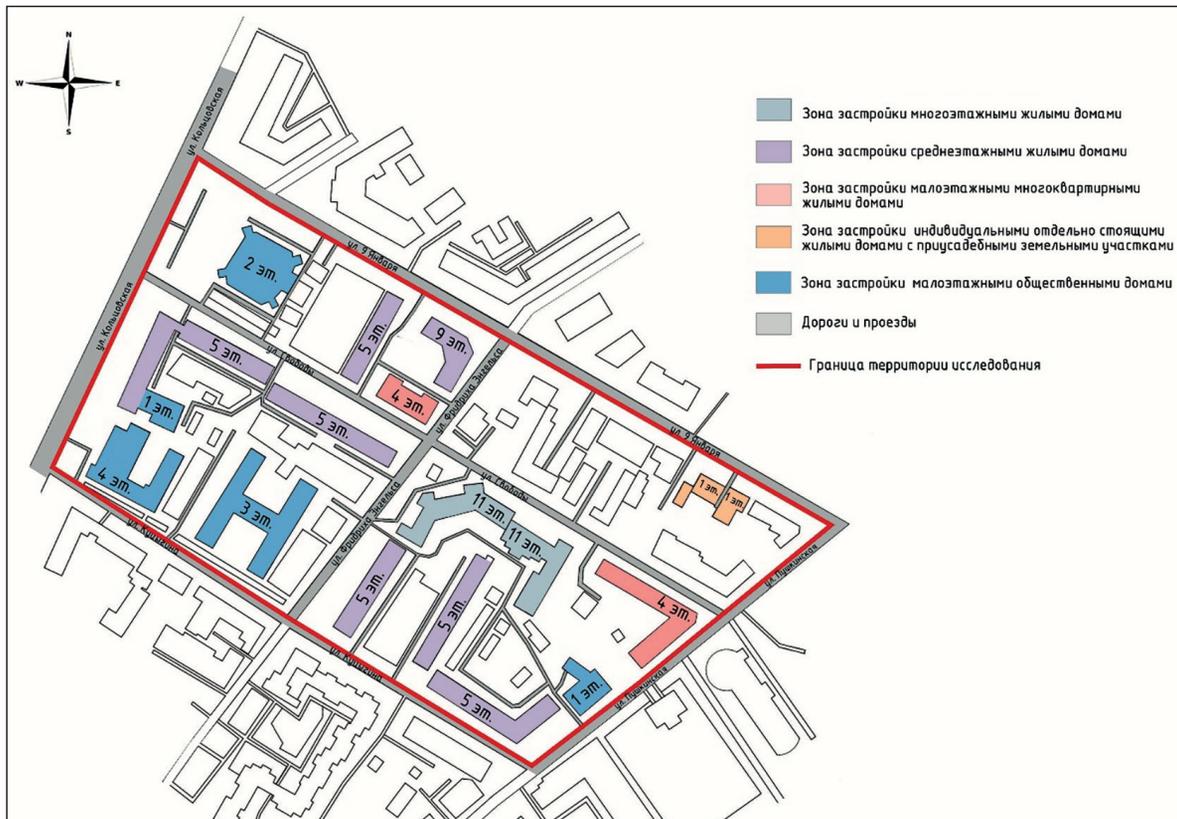


Рис. 2. Схема этажности застройки на объекте исследования
 Fig. 2. The scheme of building heights in the block on the studied object

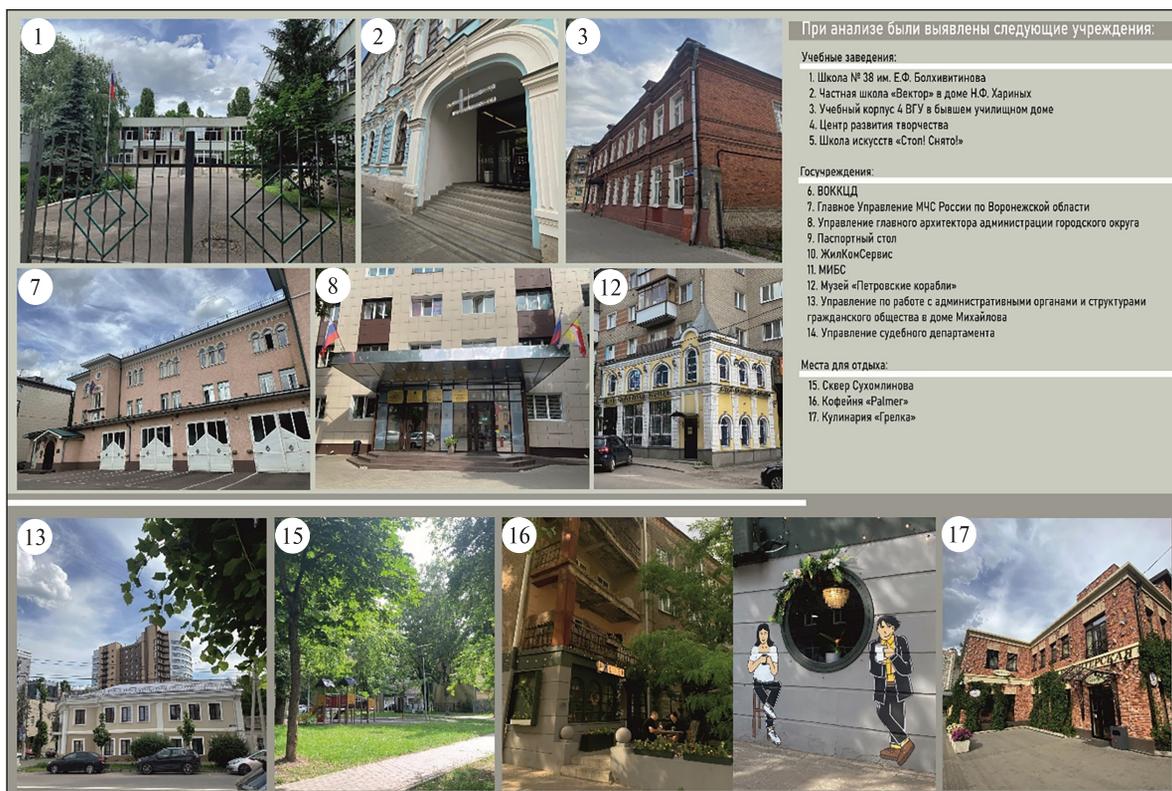


Рис. 3. Городские социальнозначимые объекты
 Fig. 3. Urban socially significant objects



Рис. 4. Историческая ретроспектива развития ул. Кольцовской: 1 — торговля лошадьми на Новоконной площади, 1880-е годы; 2 — основная трамвайная магистраль на ул. Кольцовской, 1926 г.; 3 — храм Рождества Христова, 2000 г.; 4–7 — ГУ МЧС России по Воронежской области (1930 г., 2023 г.); 5–8 — перекресток улиц Кольцовской и Комиссаржевской (1942 г., 2023 г.); 6–9 — ул. Кольцовская, вид на дом с башней (1998 г., 2023 г.)

Fig. 4. Historical retrospective of Koltsovskaya St. development. Koltsovskaya Street: 1 — horse trading on Novokonnyaya Square, 1880; 2 — the main tramway on Koltsovskaya Street, 1926; 3 — the Church of the Nativity of Christ, 2000; 4–7 — the Main Department of the Ministry of Emergency Situations of Russia in Voronezh region (1930, 2023); 5–8 — the intersection of Koltsovskaya and Komissarzhevskaya Streets (1942, 2023); 6–9 — Koltsovskaya Street, view of the house with a tower (1998, 2023)

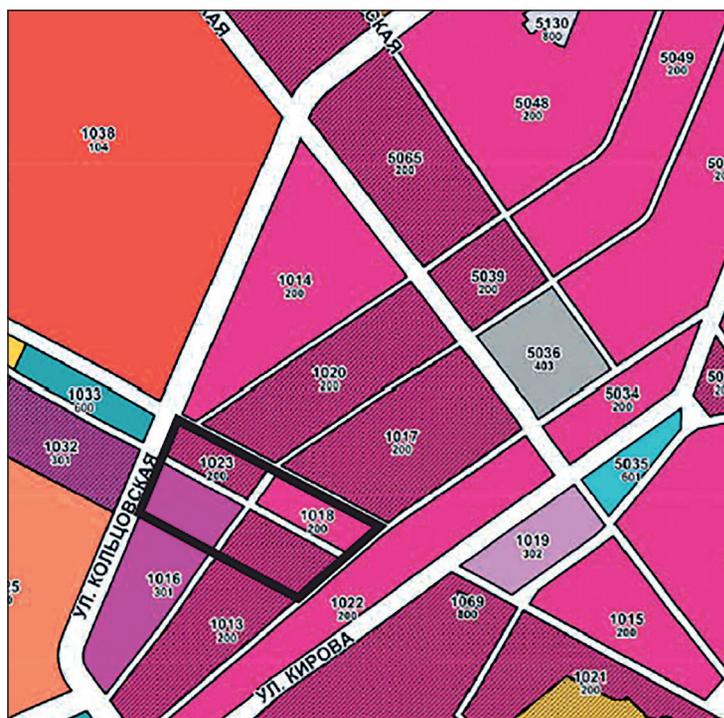


Рис. 5. Карта градостроительного зонирования городского округа Воронежа (фрагмент): 1023 — зона смешанной и общественно-городской застройки (планируется); 1018 — зона смешанной и общественно-городской застройки (существует); 1016 — зона многофункциональная общественно-деловая (существует); 1013 — зона смешанной и общественно-городской застройки (планируется)

Fig. 5. Urban planning zoning map of Voronezh urban district (fragment): 1023 — mixed and public-urban development zone (planned); 1018 — mixed and public-urban development zone (exists); 1016 — mixed-use public-business zone (exists); 1013 — mixed and public-urban development zone (planned)

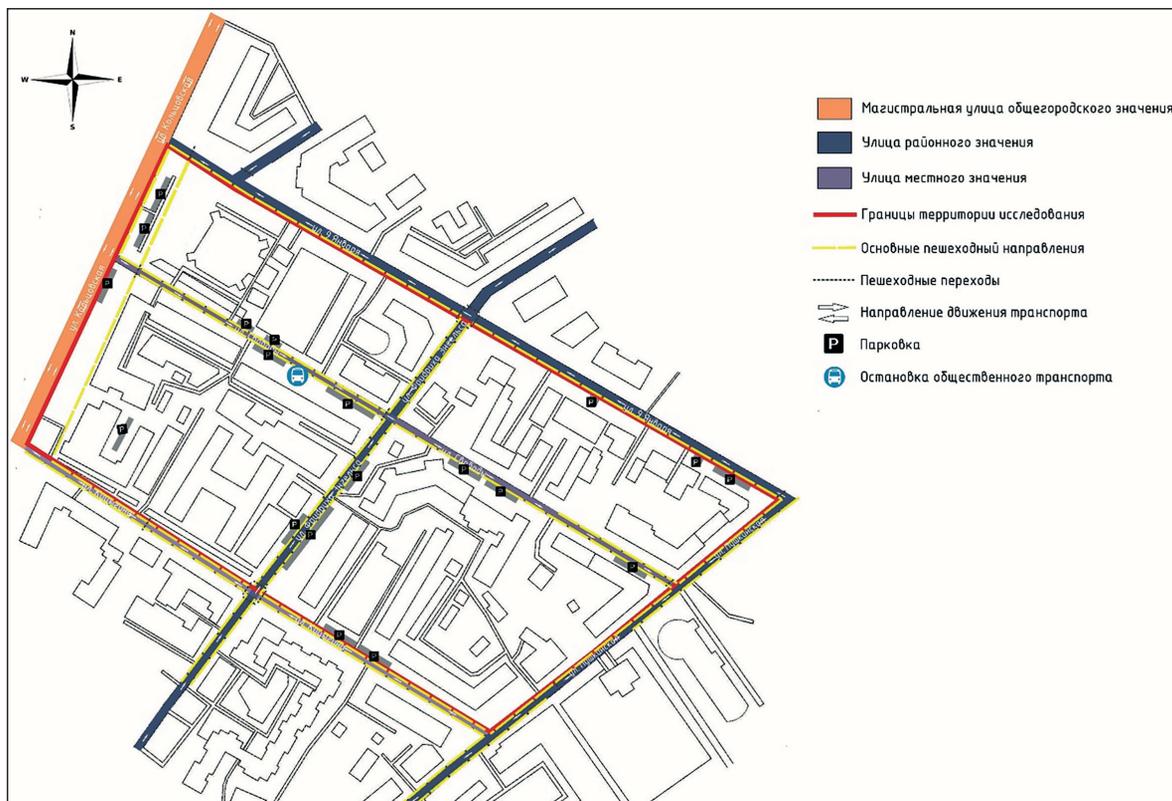


Рис. 6. Улично-дорожная сеть квартала
Fig. 6. The street and road network of the block

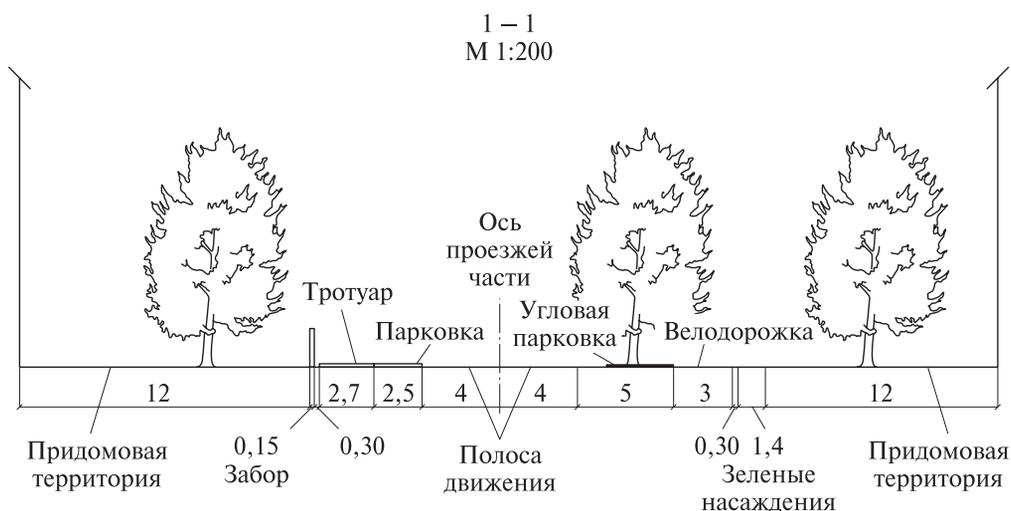


Рис. 7. Профиль улицы Фридриха Энгельса
Fig. 7. Friedrich Engels Street profile

Рекомендации по оптимизации зеленых насаждений, их структуре и видовому составу. Перечислим принципы, которые помогают достичь целостности визуального восприятия общественных пространств во внутриквартальной территории (рис. 8):

1) принцип идейной целостности: объединение фрагментов и деталей в законченный объект для создания целостного восприятия;

2) принцип сценария: направление восприятия на основные и второстепенные объекты, которые могут различаться и быть упорядоченными в определенной последовательности для соединения всех элементов и образования единой структуры;

3) принцип визуальной структуры: структурирование окружающей среды, соединение деталей объекта;

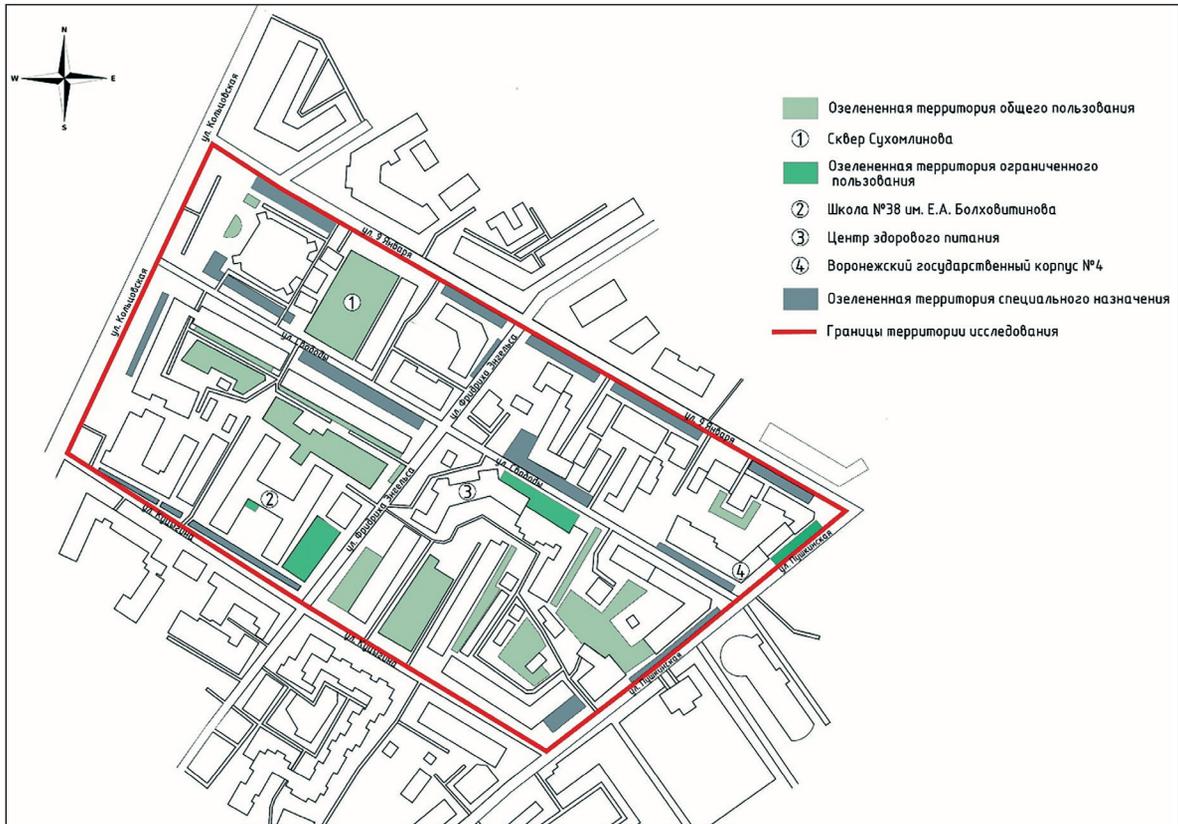


Рис. 8. Схема озелененных территорий исторического квартала
 Fig. 8. Natural features of the territory of the historical block



Рис. 9. Ассортимент типов посадок: а — цветники; б — садово-парковый массив; в — солитер; г — бордюр; д — живая изгородь; е — вертикальное озеленение
 Fig. 9. Assortment of planting types: a — flower beds; б — garden and park array; в — solitaire; г — border stone; д — hedge; e — vertical greening

4) принцип модуля: территориальные размеры (метры), которые составляют общее композиционное решение ландшафтного дизайна;

5) принцип контраста распространения: размещение фрагментов в определенном порядке — взаимосвязь главных объектов со второстепенными, подчиненность главным объектам;

6) принцип зрительного веса: определение формы и оттенка объектов, изменение размеров объекта (высота и других параметров) в целях улучшения и привлекательности композиции;

7) принцип эстетичности.

Комплексная стратегия озеленения внутриквартальной территории в градостроительстве предусматривает выполнение следующих показателей.

1. Существующий на данный момент ассортимент растений на внутриквартальной территории следует расширить, опираясь на круглогодичную привлекательность, например: в саду непрерывного цветения добавить декоративные хвойные растения, которые разнообразят серые краски зимней погоды. Включить растения с красивой окраской стволов (береза) и растения с привлекательной архитектурой кроны (суах), с плодами (рябина).

Для улучшения видов делать акцент на раннецветущие кустарники (например, форзиции). Для летних красок к красивоцветущим растениям (катальпа) и кустарников (спирея) добавить пестролистные формы кустарников (пузыреплодники). Осенние пейзажи украсить растениями с сезонной изменчивостью окраски листвы (клен).

2. Охрана и сохранение зеленых зон в городах и их агломерациях — один из ключевых компонентов устойчивого развития городов.



Рис. 10. Схема текущего состояния озелененности городской территории
 Fig. 10. Analysis of the current state of urban landscaping

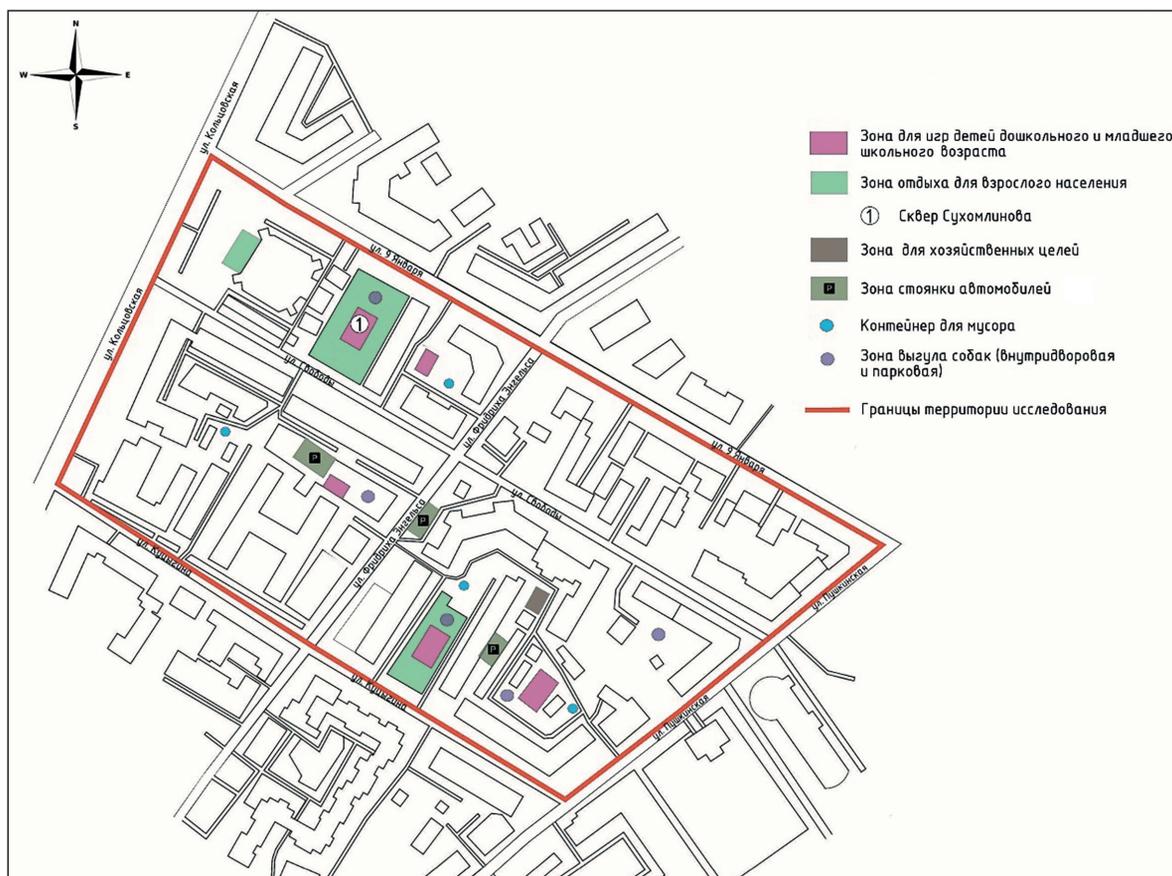


Рис. 11. Схема функционального зонирования квартала для озеленения и создания новых зеленых площадей
 Fig. 11. Scheme of identification of priority areas for landscaping and creation of new green areas

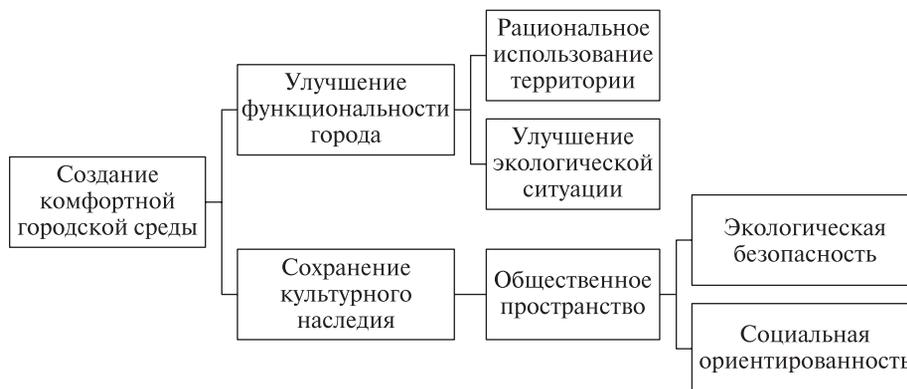


Рис. 12. Схема разработки стратегического плана озеленения внутриквартальной территории крупнейшего города (на примере Воронежа)

Fig. 12. Scheme for the development of a strategic plan for landscaping the inner-block territory of the largest city (on the example of Voronezh)

Показатели озеленения внутриквартальной территории крупнейшего города (см. рис. 12)

Indicators of greening the inner-block territory of the largest city (see Fig. 12)

Наименование показателей	Характеристика показателей
1. Создание комфортной городской среды	При проектировании следует учитывать экологию, социальные особенности, безопасность и доступность для всех групп населения
2. Улучшение функциональности городских объектов	Создание соответствующей инфраструктуры, комфортных общественных пространств, рациональной дорожной сети и обеспечение свободной транспортной доступности, учитывая возможности для развития бизнеса и привлечения инвестиций
3. Сохранение культурного наследия	Реставрация и сохранение архитектурных памятников, создание парков и зон отдыха, поддержка традиционной культуры и народных промыслов
4. Рациональное использование территории	Создание новых районов и кварталов, реконструкция имеющихся зон, оптимизация пространства под различные функции
5. Улучшение экологической ситуации	Создание зон экологической безопасности, озеленение городских пространств, формирование велосипедных и пешеходных зон, использование возобновляемых источников энергии и устранение источников загрязнения окружающей среды

Ландшафтно-градостроительное озеленение жилого квартала развивается на основе систематизации озелененных территорий, т. е. в зависимости от размещения той или иной территории внутри квартала, ее площади и функционального назначения. Современное состояние зеленых насаждений в историческом квартале центральной части Воронежа вследствие воздействия на них антропогенных факторов требует систематизации для разработки стратегического плана озеленения города в целом.

Зеленые насаждения в пределах внутриквартальной территории служат биоиндикатором и показателем состояния комфортности городской среды. В ландшафтном проектировании жилого квартала предусматривается определенный подбор ассортимента типов посадок (рис. 9, 10).

Принципы ландшафтного проектирования:

1) принцип разнообразия заключается в необходимости предусматривать зеленые зоны для разных групп населения — маленьких детей, мо-

лодежи и старшего поколения, например: детские игровые площадки, зоны спортивных тренажеров, зоны отдыха (рис. 11);

2) принцип безопасности — придомовая территория предназначена для жителей домов, а не для автотранспорта, поэтому следует создавать удобные и безопасные пешеходные пути с покрытием — для дорожек, детских и спортивных площадок, а также размещать оборудование и уличную мебель;

3) принцип безбарьерной среды — в обществе остро стоит вопрос о формировании удобств для маломобильных групп населения; задача заключается в создании удобного пространства для пожилых людей, инвалидов и родителей с детскими колясками, т. е. исключении всех преград по пути этих групп населения, а также в размещении пандусов;

4) принцип экологичности — предполагается использование преимущественно экологичных

материалов, сохранение уже имеющихся зеленых насаждений и дополнение их новыми, соблюдение всех требований СНиП по расстояниям от автомобильных стоянок и дорог (см. рис. 11).

Формирование ландшафтно-градостроительных комплексов предполагает создание гармоничного и удобного городского пространства, обеспечивающего комфортную жизнедеятельность населения и развитие города в целом (рис. 12, таблица).

Выводы

1. Комплексная стратегия озеленения внутриквартальной территории в градостроительстве (на примере исторического квартала Воронежа) опирается на современные методы исследования, применяемые в социологии, психологии, истории, ландшафтной архитектуре, дендрологии, почвоведении, градостроительстве.

2. Ассортимент древесных пород и кустарников, используемых в озеленении города Воронежа необходимо увеличить с учетом зональных особенностей паркостроения и адаптивных систем озеленения.

3. Концептуальная модель комплексной стратегии озеленения внутриквартальной территории исторического квартала города Воронежа включает: натурные исследования, инвентаризацию насаждений, создание общественных пространств.

4. Основными принципами комплексной стратегии озеленения внутриквартальной территории исторического квартала города Воронежа являются принципы:

- идейной целостности;
- сценария;
- визуальной структуры;
- модуля;
- контраста распространения;
- зрительного веса;
- эстетичности.

5. Схема разработки стратегического плана озеленения внутриквартальной территории исторического квартала Воронежа включает:

- создание комфортной городской среды;
- улучшение функциональности города;
- сохранение культурного наследия;
- рациональное использование территории;
- улучшение экологической ситуации.

Список литературы

- [1] Биоразнообразие города Воронежа / Под ред. О.П. Негрובה. Воронеж: Изд-во Воронежского государственного университета, 2004. 98 с.
- [2] Кругляк В.В., Гурьева Е.И. Древоводство. Воронеж: Изд-во ВГЛТА, 2011. 144 с.
- [3] Земскова О.В., Семенов В.С. Инновационный материал для дизайна парковой зоны города // Перспективы науки, 2020. № 2 (125). С. 42–46.
- [4] Гурьева Е.И., Прокофьева Н.В., Коростелев А.Г. Учение о природных ландшафтах // Архитектура и архитектурная среда: вопросы исторического и современного развития: матер. Международной научно-практической конференции, в 2-х т., Тюмень, 22–23 апреля 2022 г. / Под ред. А.Б. Храмцова. Тюмень: Тюменский индустриальный университет, 2022. С. 200–203.
- [5] Методика системных исследований лесоаграрных ландшафтов. М.: Изд-во ВАСХНИЛ, 1985. 112 с.
- [6] Карташова Н.П., Гурьева Е.И. Состояние и устойчивость насаждений г. Воронежа (на примере бульвара Кольцовский) // Известия высших учебных заведений. Северо-Кавказский регион. Технические науки, 2008. № 3 (145). С. 124–126.
- [7] Сидоренко М.М., Марченко М.Н. Ландшафтное дизайн-проектирование внутривороневских территорий и парковых пространств // Дизайн и архитектура: синтез теории и практики: сб. научных трудов / Под ред. М.Н. Марченко. Краснодар: Кубанский государственный университет, 2023. С. 296–302.
- [8] Теодоронский В.С. О методах визуально-ландшафтной оценки территорий при создании объектов ландшафтной архитектуры // Лесной вестник / Forestry Bulletin, 2021. Т. 25. № 2. С. 57–63. DOI: 10.18698/2542-1468-2021-2-57-63
- [9] Шарафиева Л.Р. Апробация методики исследования взаимодействия человека с архитектурно-ландшафтной средой образовательных общественных пространств (на примере НОЦ Ботанический сад ТВГУ) // Зеленый журнал – Бюллетень ботанического сада Тверского государственного университета, 2019. № 6. С. 38–71.
- [10] Фролов А.К. Окружающая среда крупного города и жизнь растений в нем. СПб.: Наука, 1996. 328 с.
- [11] Методическое руководство и технические условия по реконструкции городских зеленых насаждений. М.: МГУЛ, 2001. 58 с.
- [12] Саймондс Дж. Ландшафт и архитектура. М.: Стройиздат, 1965. 193 с.
- [13] Гейл Я. Города для людей. М.: Альпина Паблишер, 2012. 276 с.
- [14] Баженов А.В. Планировочные предпосылки рационального природопользования города (на примере средних городов ЦЧР): дис. ... канд. архитектуры: 18.00.04. Москва, 1984. 170 с.
- [15] Бенуж А.А. Этапы развития экологического архитектурно-строительного проектирования в России // Development stages of ecological architectural and construction design in Russia. Недвижимость: экономика, управление, 2021. № 1. С. 49–52.
- [16] Большаков А.Г. Градостроительная организация ландшафта как фактор устойчивого развития территории: дис. ... д-ра архитектуры: 18.00.01. Иркутск, 2003. 424 с.
- [17] Залеская Л.С. Ландшафтная архитектура. М.: Стройиздат, 1979. 237 с.
- [18] Макаров В.З. Теория и практика ландшафтно-экологических исследований крупных городов с применением ГИС-технологий: автореф. дис. ... д-ра геогр. наук: 25.00.23. Санкт-Петербург, 2001. 44 с.
- [19] Урбах А.И., Лин. М.Т. Архитектура городских пешеходных пространств. М.: Стройиздат, 1990. 200 с.
- [20] Чурсина Л.В. Формирование городских социальных пространств с использованием информационных технологий // Architecture and Modern Information Technologies, 2021. № 1 (54). С. 236–247.
- [21] Нефедов В.А. Ландшафтный дизайн и устойчивость среды. СПб.: Полиграфист, 2002. 295 с.

- [22] Крашенинников А.В. Градостроительное развитие жилой застройки: исследование опыта западных стран. М.: Архитектура–С, 2005. 112 с.
- [23] Крашенинников А.В. Когнитивная урбанистика: архетипы и прототипы городской среды. М.: Курс, 2020. 209 с.
- [24] Попов П.А. Воронеж: История города в названиях улиц. Воронеж: Кварта, 2003. 448 с.
- [25] Шунелько Е.В. Многокомпонентная биоиндикация городских транспортно-селитебных ландшафтов: автореф. дис. ... канд. биол. наук: 03.00.16. Воронеж, 2000. 22 с.
- [26] Прокопенко В.В., Ганжа О.А. К вопросу о методах оценки показателя комфортности ландшафтно-рекреационных территорий крупнейших городов (на примере города Волгограда) // Вестник Волгоградского государственного архитектурно-строительного университета. Серия: Строительство и архитектура, 2015. Вып. 40 (59). С. 73–88.
- [27] Иванова Н.В., Дубов И.А., Назаров К.Р., Мурадов И.С. Проектирование неаллергенного озеленения урбанизированных территорий // Вестник Волгоградского государственного архитектурно-строительного университета. Серия: Строительство и архитектура, 2021. № 4 (85). С. 230–242.
- [28] Бураков Р.А., Овчинников И.Г. Разработка и анализ вариантов проекта транспортно-пешеходного пересячения городских улиц в крупном городе // Вестник евразийской науки, 2021. Т. 13. № 2. С. 5.
- [29] ГОСТ 28329–89 Озеленение городов. Термины и определения. М.: Издательство стандартов, 1990. 13 с.
- [30] Машкин С.И. Дендрология Центрального Черноземья. Систематика, кариология, география, генезис, экология и использование местных и интродуцированных деревьев и кустарников. Воронеж: Изд-во Воронежского государственного университета, 1971. 344 с.
- [31] Кравченко Э.В., Будагов И.В., Кравченко Е.С. Об учете экологических факторов при планировании использования городских земель // Наука. Техника. Технологии (политехнический вестник), 2013. № 3. С. 116–117.
- [32] Федоров В.В., Ханьгин Д.А., Овчарова А.Ж., Коротаева З.В. Традиции и инновации в архитектурном образовании: среда как механизм культурной памяти // Роль инновационной деятельности в обеспечении качества образования / Под ред. В.Б. Петропавловской, 2015. С. 86–93.
- [33] Горшкова А.А. Исследование исторических центров городов Золотого кольца, формирование архитектурно-ландшафтной среды // Перспективы устойчивого развития лесопромышленного комплекса РФ, 2018. С. 133–136.

Сведения об авторах

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

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

Акашева Виолетта Григорьевна — бакалавр градостроительства факультета архитектуры и градостроительства, ФГБОУ ВО «Воронежский государственный технический университет», avitukha@mail.ru

Поступила в редакцию 12.12.2023.

Одобрено после рецензирования 22.02.2024.

Принята к публикации 15.05.2024.

INNER-BLOCK TERRITORY LANDSCAPING INTEGRATED STRATEGY IN URBAN PLANNING (ON EXAMPLE OF HISTORICAL BLOCK IN VORONEZH)

V.V. Kruglyak¹✉, E.I. Gureva², V.G. Akasheva²

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

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

kruglyak_vl@mail.ru

A conceptual model of a comprehensive strategy for landscaping inner-block territory in urban planning is presented. The scheme of the building heights in the block is considered, taking into account the boundaries of the study area in the historical area. City social facilities are indicated (educational institutions, government agencies, places for recreation). A historical retrospective of Koltsovskaya Street development from 1880 to 2023 is analyzed. A map of the urban planning zoning of the urban district of Voronezh city is provided (zone — 1023; 1018; 1016; 1013). A photo analysis of objects in the landscape and urban environment of the study area has been established, taking into account the pedestrian facilities and roadways. It is recommended that the road network of the design site has public transport stops. The profile of Friedrich Engels Street was determined, taking into account the local area and a sidewalk. Recommendations for optimizing green spaces, their structure, and species composition in the courtyards of the historical quarter are outlined.

Keywords: landscaping of settlements, urban planning, quarter, green spaces

Suggested citation: Kruglyak V.V., Gur'eva E.I., Akasheva V.G. *Kompleksnaya strategiya ozeleneniya vnutrikvartal'noy territorii v gradostroitel'stve (na primere istoricheskogo kvartala g. Voronezha)* [Inner-block territory landscaping integrated strategy in urban planning (on example of historical block in Voronezh)]. *Lesnoy vestnik / Forestry Bulletin*, 2024, vol. 28, no. 4, pp. 78–90. DOI: 10.18698/2542-1468-2024-4-78-90

References

- [1] *Bioraznobraziye goroda Voronezha* [Biodiversity of the city of Voronezh]. Ed. O.P. Negrobov. Voronezh: Voronezh State University, 2004, 98 p.
- [2] Kruglyak V.V., Gur'eva E.I. *Drevovodstvo* [Arboriculture]. Voronezh: VGLTA, 2011, 144 p.
- [3] Zemskova O.V., Semenov V.S. *Innovatsionnyy material dlya dizayna parkovoy zony goroda* [Innovative material for the design of the city park zone]. *Perspektivy nauki* [Prospects of Science], 2020, no. 2 (125), pp. 42–46.
- [4] Gur'eva E.I., Prokof'eva N.V., Korostelev A.G. *Uchenie o prirodnykh landshaftakh* [The doctrine of natural landscapes]. *Arkhitektura i arkhitekturnaya sreda: voprosy istoricheskogo i sovremennogo razvitiya: mater. Mezhdunarodnoy nauchno-prakticheskoy konferentsii* [Architecture and architectural environment: issues of historical and modern development. Materials of the International Scientific and Practical Conference]. In 2 vol. Ed. A.B. Khramtsov. Tyumen': Tyumenskiy industrial'nyy universitet, 2022, pp. 200–203.
- [5] *Metodika sistemnykh issledovaniy lesoagrarnykh landshaftov* [Methodology for systemic studies of forest agricultural landscapes]. Moscow: VASKHNIL, 1985, 112 p.
- [6] Kartashova N.P., Gur'eva E.I. *Sostoyaniye i ustoychivost' nasazhdeniy g. Voronezha (na primere bul'vara Kol'tsovskiy)* [The state and stability of plantings in Voronezh (on the example of Koltsovsky Boulevard)]. *Izvestiya vysshikh uchebnykh zavedeniy. Severo-Kavkazskiy region. Tekhnicheskije nauki* [News of higher educational institutions. The North Caucasus region. Technical sciences], 2008, no. 3 (145), pp. 124–126.
- [7] Sidorenko M.M., Marchenko M.N. *Landshaftnoe dizayn-proektirovaniye vnutridvorovykh territoriy i parkovykh prostranstv* [Landscape design of courtyard territories and park spaces]. *Dizayn i arkhitektura: sintez teorii i praktiki: sb. nauchnykh trudov* [Design and architecture: synthesis of theory and practice: collection of scientific papers]. Ed. M.N. Marchenko. Krasnodar: Kuban State University, 2023, pp. 296–302.
- [8] Teodoronsky V.S. *O metodakh vizual'no-landshaftnoy otsenki territoriy pri sozdanii ob'etov landshaftnoy arkhitektury* [Visual landscape areas assessment techniques when creating objects of landscape architecture]. *Lesnoy vestnik / Forestry Bulletin*, 2021, vol. 25, no. 2, pp. 57–63. DOI: 10.18698/2542-1468-2021-2-57-63
- [9] Sharafieva L.R. *Aprobatsiya metodiki issledovaniya vzaimodeystviya cheloveka s arkhitekturno-landshaftnoy sredoy obrazovatel'nykh obshchestvennykh prostranstv (na primere NOTs Botanicheskij sad TVGU)* [Testing the methodology for studying human interaction with the architectural and landscape environment of educational public spaces (on the example of the REC Botanical Garden of Tver State University)]. *Zelenyy zhurnal – Byulleten' botanicheskogo sada Tverskogo gosudarstvennogo universiteta* [Green J. – Bulletin of the Botanical Garden of Tver State University], 2019, no. 6, pp. 38–71.
- [10] Frolov A.K. *Okruzhayushchaya sreda krupnogo goroda i zhizn' rasteniy v nem* [The environment of a large city and the life of plants in it]. St. Petersburg: Nauka, 1996, 328 p.
- [11] *Metodicheskoe rukovodstvo i tekhnicheskije usloviya po rekonstruktsii gorodskikh zelenykh nasazhdeniy* [Methodological guidelines and technical conditions for the reconstruction of urban green spaces]. Moscow: MGUL, 2001, 58 p.
- [12] Symonds J. *Landshaft i arkhitektura* [Landscape and architecture]. Moscow: Stroyizdat, 1965, 193 p.
- [13] Gail Ya. *Goroda dlya lyudey* [Cities for people]. Moscow: Alpina, 2012, 276 p.
- [14] Bazhenov A.V. *Planirovochnye predposylki ratsional'nogo prirodospol'zovaniya goroda (na primere srednikh gorodov TsChR)* [Planning prerequisites for rational natural use of the city (on the example of medium-sized cities of the Central Asian Region)]. *Dis. Cand. Sci. (Architecture)* 18.00.04. Moscow, 1984, 170 p.
- [15] Benuzh A.A. *Etapy razvitiya ekologicheskogo arkhitekturno-stroitel'nogo projektirovaniya v Rossii* [Stages of development of ecological architectural and construction design in Russia]. *Development stages of ecological architectural and construction*

- design in Russia. Nedvizhimost': ekonomika, upravlenie [Development stages of ecological architectural and construction design in Russia. Real estate: economics, management], 2021, no. 1, pp. 49–52.
- [16] Bol'shakov A.G. *Gradostroitel'naya organizatsiya landshafta kak faktor ustoychivogo razvitiya territorii* [Urban planning organization of the landscape as a factor of sustainable development of the territory]. Dis. Dr. Sci. (Architecture) 18.00.01. Irkutsk, 2003, 424 p.
- [17] Zalesskaya L.S. *Landshaftnaya arkhitektura* [Landscape architecture]. Moscow: Stroyizdat, 1979, 237 p.
- [18] Makarov V.Z. *Teoriya i praktika landshaftno-ekologicheskikh issledovaniy krupnykh gorodov s primeneniem GIS-tekhnologiy* [Theory and practice of landscape and ecological studies of large cities using GIS technologies]. Dis. Dr. Sci. (Geographical) 25.00.23. St. Petersburg, 2001, 44 p.
- [19] Urbakh A.I., Lin. M.T. *Arkhitektura gorodskikh peshekhodnykh prostranstv* [Architecture of urban pedestrian spaces]. Moscow: Stroyizdat, 1990, 200 p.
- [20] Chursina L.V. *Formirovanie gorodskikh sotsial'nykh prostranstv s ispol'zovaniem informatsionnykh tekhnologiy* [Formation of urban social spaces using information technologies]. Architecture and Modern Information Technologies [Architecture and Modern Information Technologies], 2021, no. 1 (54), pp. 236–247.
- [21] Nefedov V.A. *Landshaftnyy dizayn i ustoychivost' sredy* [Landscape design and environmental sustainability]. St. Petersburg: Polygraphist, 2002, 295 p.
- [22] Krasheninnikov A.V. *Gradostroitel'noe razvitie zhiloy zastroyki: issledovanie opyta zapadnykh stran* [Urban development of residential development: a study of the experience of Western countries]. Moscow: Architecture–S, 2005, 112 p.
- [23] Krasheninnikov A.V. *Kognitivnaya urbanistika: arkhetyipy i prototipy gorodskoy sredy* [Cognitive urbanism: archetypes and prototypes of the urban environment]. Moscow: Course, 2020, 209 p.
- [24] Popov P.A. *Voronezh: Istoriya goroda v nazvaniyakh ulits* [Voronezh: The history of the city in street names]. Voronezh: Kvart, 2003, 448 p.
- [25] Shunel'ko E.V. *Mnogokomponentnaya bioindikatsiya gorodskikh transportno-selitebnykh landshaftov* [Multicomponent bioindication of urban transport and residential landscapes]. Dis. Cand. Sci. (Biological) 03.00.16. Voronezh, 2000, 22 p.
- [26] Prokopenko V.V., Ganzha O.A. *K voprosu o metodakh otsenki pokazatelya komfortnosti landshaftno-rekreatsionnykh territoriy krupneyshikh gorodov (na primere goroda Volgograda)* [On the question of methods for assessing the comfort index of landscape and recreational territories of the largest cities (on the example of the city of Volgograd)]. Vestnik Volgogradskogo gosudarstvennogo arkhitekturno-stroitel'nogo universiteta. Seriya: Stroitel'stvo i arkhitektura [Bulletin of the Volgograd State University of Architecture and Civil Engineering. Series: Construction and Architecture], 2015, iss. 40 (59), pp. 73–88.
- [27] Ivanova N.V., Dubov I.A., Nazarov K.R., Muradov I.S. *Proektirovanie neallergennogo ozeleneniya urbanizirovannykh territoriy* [Designing non-allergenic landscaping of urbanized territories]. Vestnik Volgogradskogo gosudarstvennogo arkhitekturno-stroitel'nogo universiteta. Seriya: Stroitel'stvo i arkhitektura [Bulletin of the Volgograd State University of Architecture and Civil Engineering. Series: Construction and Architecture], 2021, no. 4 (85), pp. 230–242.
- [28] Burakov R.A., Ovchinnikov I.G. *Razrabotka i analiz variantov proekta transportno-peshekhodnogo peresecheniya gorodskikh ulits v krupnom gorode* [Development and analysis of variants of the project of transport and pedestrian crossing of city streets in a large city]. Vestnik evraziyskoy nauki [Bulletin of Eurasian Science], 2021, vol. 13, no. 2, p. 5.
- [29] GOST 28329–89 *Ozelenenie gorodov. Terminy i opredeleniya* [Greening of cities. Terms and Definitions]. Moscow: Ed. Standards, 1990, 13 p.
- [30] Mashkin S.I. *Dendrologiya Tsentral'nogo Chernozem'ya. Sistematika, kariologiya, geografiya, genesis, ekologiya i ispol'zovanie mestnykh i introdutsirovannykh derev'ev i kustarnikov* [Dendrology of the Central Black Earth Region. Taxonomy, karyology, geography, genesis, ecology and the use of native and introduced trees and shrubs]. Voronezh: Voronezh State University, 1971, 344 p.
- [31] Kravchenko E.V., Budagov I.V., Kravchenko E.S. *Ob uchete ekologicheskikh faktorov pri planirovanii ispol'zovaniya gorodskikh zemel'* [On taking into account environmental factors when planning the use of urban lands]. Nauka. Tekhnika. Tekhnologii (politekhicheskiy vestnik) [Science. Technology. Technologies (Polytechnic Bulletin)], 2013, no. 3, pp. 116–117.
- [32] Fedorov V.V., Khanygin D.A., Ovcharova A.Zh., Korotaeva Z.V. *Traditsii i innovatsii v arkhitekturnom obrazovanii: sreda kak mekhanizm kul'turnoy pamyati* [Traditions and innovations in architectural education: environment as a mechanism of cultural memory]. Rol' innovatsionnoy deyatelnosti v obespechenii kachestva obrazovaniya [The role of innovation activities in ensuring the quality of education]. Ed. V.B. Petropavlovskaya, 2015, pp. 86–93.
- [33] Gorshkova A.A. *Issledovanie istoricheskikh tsentrov gorodov Zolotogo kol'tsa, formirovanie arkhitekturno-landshaftnoy sredy* [Study of historical centers of the cities of the Golden Ring, formation of the architectural and landscape environment]. Perspektivy ustoychivogo razvitiya lesopromyshlennogo kompleksa RF [Prospects for sustainable development of the forestry complex of the Russian Federation], 2018, pp. 133–136.

Authors' information

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

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

Akashcheva Violetta Grigor'evna — Bachelor of Architecture and Urban Planning Faculty of Voronezh State Technical University, avitukha@mail.ru

Received 12.12.2023.

Approved after review 22.02.2024.

Accepted for publication 15.05.2024.

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

АССОРТИМЕНТ И УСТОЙЧИВОСТЬ ДРЕВЕСНЫХ РАСТЕНИЙ В СИСТЕМЕ ОЗЕЛЕНЕНИЯ ДВОРЯНСКИХ УСАДЕБ БИОСФЕРНОГО РЕЗЕРВАТА «КОЛОГРИВСКИЙ ЛЕС»

А.В. Лебедев^{1,2}

¹ФГБОУ ВО «Российский государственный аграрный университет — МСХА имени К.А. Тимирязева» (РГАУ – МСХА имени К.А. Тимирязева), Россия, 127550, Москва, ул. Тимирязевская, д. 49

²ФГБУ «Государственный заповедник «Кологривский лес», Россия, 157440, Костромская область, г. Кологрив, ул. Центральная, д. 15

alebedev@rgau-msha.ru

Выявление ассортимента древесных растений на территориях бывших усадеб, способов использования в отдельные периоды времени крайне важны как для понимания истории региона, так и для сохранения и восстановления объектов озеленения. Многие усадьбы северо-восточной части Костромской области продолжают оставаться в забвении. В настоящее время информация об ассортименте древесных растений в таких усадьбах носит фрагментарный и разносторонний характер и поэтому требует проведения научной систематизации. Цель работы — оценка ассортимента и устойчивости древесно-кустарниковых видов в системе озеленения дворянских усадеб, расположенных на территории зоны сотрудничества биосферного резервата «Кологривский лес» (Костромская область). Выявление ассортимента древесно-кустарниковых видов проводилось для 14 усадеб, расположенных в Кологривском округе (Екимцево, Жураново, Ивановское, Корабли, Лучкино, Пашнево, Шаево, Шоргутово), Мантуровском районе (Отрада, Шевяки) и Чухломском районе (Введенское, Клусеево, Колотилово, Острожниково). Методика исследования включала проведение историко-архивной экспертизы, сбор и анализ литературных сведений с упоминанием о древесных растениях, встречавшихся на территории усадеб, выполнение натурных обследований с применением методов ландшафтного анализа. Проведен анализ исторического ассортимента древесных растений в дворянских усадьбах биосферного резервата «Кологривский лес», позволивший выявить 42 вида и гибрида, из которых наибольшей встречаемостью характеризуются такие виды деревьев, как липа сердцевидная (*Tilia cordata*) — 86 %, береза повислая (*Betula pendula*) — 79 %, ель европейская (*Picea abies*) — 57 %, сосна обыкновенная (*Pinus sylvestris*) — 57 % и лиственница сибирская (*Larix sibirica*) — 50 %. Выявлено, что из кустарников наиболее часто в озеленении усадеб использовались сирень обыкновенная (*Syringa vulgaris*), спирея дубравколистная (*Spiraea chamaedryfolia*) и карагана древовидная (*Caragana arborescens*). Выявленный в работе ассортимент древесно-кустарниковых растений не является окончательным, так как с момента национализации дворянских усадеб прошло более 100 лет, поэтому, сведения о многих видах, особенно кустарниках, являются утраченными.

Ключевые слова: дворянская усадьба, древесные растения, ассортимент растений, биосферный резерват «Кологривский лес»

Ссылка для цитирования: Лебедев А.В. Ассортимент и устойчивость древесных растений в системе озеленения дворянских усадеб биосферного резервата «Кологривский лес» // Лесной вестник / Forestry Bulletin, 2024. Т. 28. № 4. С. 91–102. DOI: 10.18698/2542-1468-2024-4-91-102

В настоящее время созданные в прошлом дворянские усадьбы являются объектами, которые имеют ценность с эстетической, исторической и этнографической точек зрения. Усадебные постройки, система озеленения в сочетании с окружающим пространством концентрировали в себе образ жизни людей, переживаемые ими чувства, господствующие мысли, а также философию и религию [1]. Дворянские усадьбы в европейской части России имеют низкую степень сохранности [2–5], либо практически утрачены, сохранив лишь единичные элементы бывшей системы озеленения.

Древесные растения, как правило, характеризуются значительными размерами надземной

части, что с учетом долголетия относит их к важнейшим композиционным элементам ландшафтной архитектуры. В связи с этим выявление ассортимента древесных растений на территориях бывших усадеб, определение способов их использования в разные периоды времени крайне важны как для понимания истории региона, так и для сохранения и восстановления объектов озеленения [6].

С момента национализации дворянских усадеб прошло более 100 лет, и за это время растительный покров изменился. Наличие сохранившихся старовозрастных деревьев XVIII–XIX в. в озеленительных посадках усадеб позволяет выявлять наиболее устойчивые и адаптированные к местным условиям виды [7].

© Автор(ы), 2024

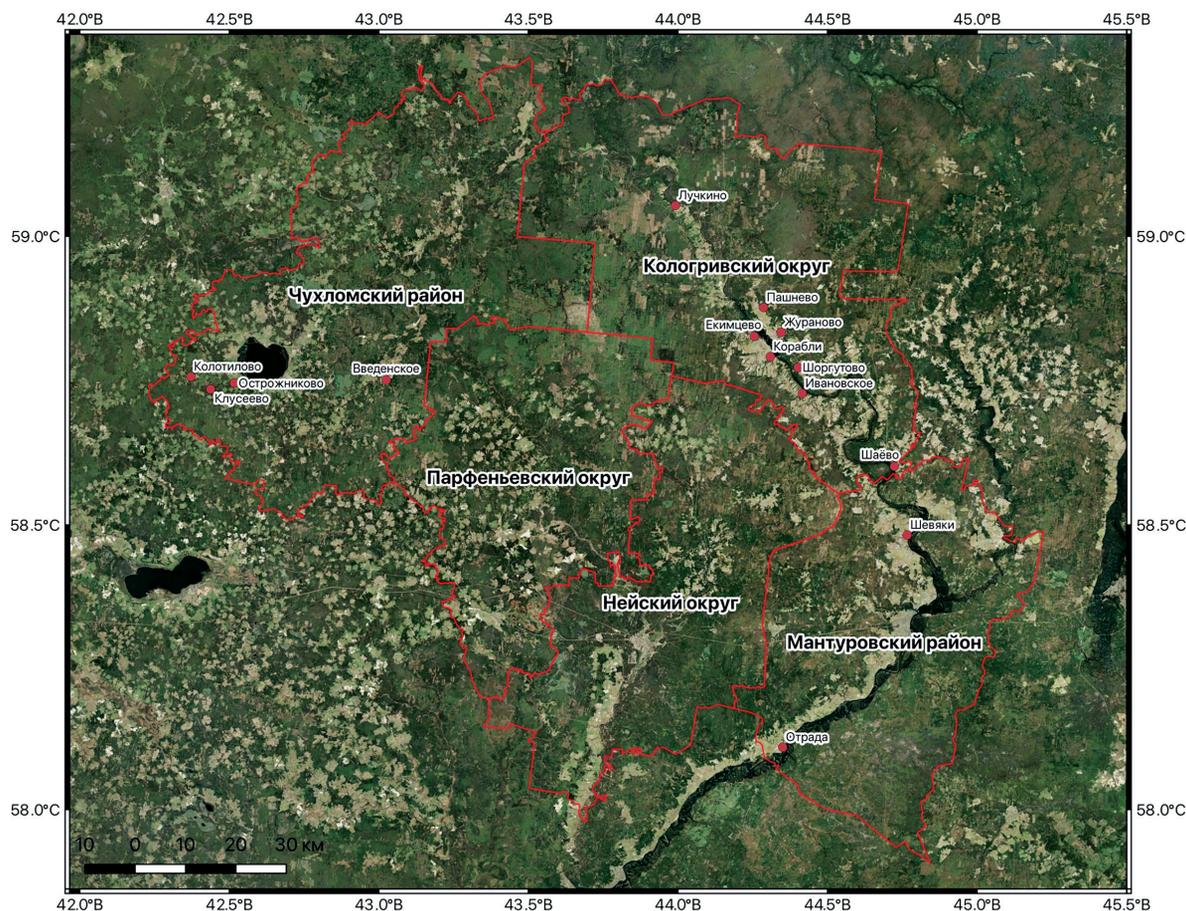


Рис. 1. Расположение исследуемых усадеб (красные точки) в зоне сотрудничества биосферного резервата «Кологривский лес» (красная линия — граница муниципальных образований Костромской области)

Fig. 1. Location of the studied noble estates (red dots) in the cooperation zone of the Kologrivsky Forest Biosphere Reserve (red line - the border of municipalities of the Kostroma region)

В 2000–2020 гг. на территории Костромской области проведены исследования по восстановлению историко-культурных опорных планов дворянских усадеб [8–11]. Одной из самых значимых является работа «Костромская усадьба» [8], в которой рассмотрены сохранившиеся крупные усадебные комплексы региона, приведены исторические сведения, фиксационные планы с нанесенными рельефом, строениями, старовозрастными деревьями. При этом многие усадьбы северо-восточной части региона все еще остаются в забвении. Информация об ассортименте древесных растений в этих усадьбах носит фрагментарный и разрозненный характер, что обуславливает выполнение научной систематизации [12].

В 2020 г. такие муниципальные образования Костромской области, как Кологривский, Нейский, Парфеньевский округа, Чухломский и Мантуровский районы вошли в зону сотрудничества биосферного резервата «Кологривский лес», созданного в рамках программы ЮНЕСКО «Человек и биосфера» [13]. Биосферный резер-

ват наделен следующими функциями: вклад в сохранение ландшафтов, экосистем, видов и генетических разновидностей; содействие экономическому и социальному развитию, устойчивому в социально-культурном и экологическом отношении. К природно-антропогенным ландшафтам биосферного резервата «Кологривский лес», имеющим культурную и историческую ценность, относятся также и бывшие дворянские усадьбы, в которых в дореволюционные годы сформировался уникальный феномен сельской усадебной культуры [14].

Костромские усадьбы в основном были мелкопоместными [8]. Так, по данным списка населенных мест 1907 г., в Кологривском уезде, большая часть которого входит в зону сотрудничества биосферного резервата, в 80 % усадеб насчитывалось не более трех дворов. В уезде насчитывалось более 100 усадеб, из которых до наших дней сохранились элементы планировки только некоторых из них, а большинство полностью утрачено.

Цель работы

Цель работы — оценка ассортимента древесно-кустарниковых видов и их устойчивости в системе озеленения дворянских усадеб, расположенных на территории зоны сотрудничества биосферного резервата «Кологривский лес» (Костромская область).

Материалы и методы

Выявление ассортимента древесно-кустарниковых видов проведено для 14 усадеб (рис. 1), расположенных в Кологривском округе (Екимцево, Жураново, Ивановское, Корабли, Лучкино, Пашнево, Шаево, Шоргутово), Мантуровском районе (Отрада, Шеяки) и Чухломском районе (Введенское, Клусеево, Колотилово, Острожниково). Историко-культурную ценность этих усадеб подтверждает жизнедеятельность проживающих в них людей, которые внесли значительный вклад в оборону, экономику, науку и искусство Российской империи, в частности, усадьба Введенское связана с деятельностью губернатора Санкт-Петербурга С.В. Перфильева (1734–1793), усадьба Жураново — деятельностью морского офицера Г.И. Невельского (1773–1841), усадьбы Клусеево, Колотилово, Шаево — поэта, драматурга, литературного критика, театрального деятеля П.А. Катенина (1792–1853), усадьба Отрада — жены декабриста М.А. Фонвизина, затем декабриста И.И. Пущина, прототипа нескольких литературных образов XIX в., Н.Д. Фонвизиной (1803–1869), усадьбы Екимцево, Шоргутово — русского историка, специалиста по истории раннего Средневековья С.В. Ешевского (1829–1865), усадьба Лучкино — генерал-лейтенанта, сенатора Н.М. Баранова (1837–1901), усадьба Пашнево — художника, академика Императорской академии художеств Г.А. Ладыженского (1852–1916), усадьба Шеяки — с деятельностью председателя Кологривской уездной земской управы, крупного лесопромышленника Н.И. Лебединского (1870–1935) и др.

Методика исследования включала в себя, во-первых, проведение историко-архивной экспертизы (государственный архив Костромской области, отдел по делам архивов администрации Кологривского муниципального округа, Кологривский краеведческий музей имени Г.А. Ладыженского, Чухломский краеведческий музей имени А.Ф. Писемского, Костромской государственный историко-архитектурный и художественный музей-заповедник). Во-вторых, осуществлялся сбор и анализ литературных сведений с упоминанием о древесных растениях, встречающихся на территории рассматриваемых усадеб [8, 15–18]. В-третьих, выполнялись натурные обследования с применением методов ландшафт-

ного анализа — инвентаризации старовозрастных зеленых насаждений, изучения рельефа и пространственного положения объектов, составления флористических списков, фотофиксации [19–22]. Натурные обследования проводились в течение вегетационного периода 2022–2023 гг. в усадьбах Екимцево, Жураново, Ивановское, Корабли, Лучкино, Пашнево, Шаево, Шеяки, Шоргутово. Для остальных усадеб сведения об ассортименте представлены по данным литературных источников [8, 15–17, 23].

Результаты и обсуждение

Выявленный ассортимент древесно-кустарниковых растений в усадьбах зоны сотрудничества биосферного резервата «Кологривский лес» включает в себя 42 вида и гибрида (таблица). Из них по функциональному назначению можно выделить две основные группы: 1) деревья и кустарники, применяемые для озеленения; 2) плодово-ягодные древесные растения. Наибольшей встречаемостью в системе озеленения характеризуются такие виды деревьев, как липа сердцевидная (*Tilia cordata*) — 86 %, береза повислая (*Betula pendula*) — 79 %, ель европейская (*Picea abies*) — 57 %, сосна обыкновенная (*Pinus sylvestris*) — 57 % и лиственница сибирская (*Larix sibirica*) — 50 % (рис. 2).

В сохранившихся парковых структурах конца XVIII — начала XIX вв. практически повсеместно преобладает липа сердцевидная (*Tilia cordata*), которая активно использовалась в озеленении и в последующие периоды. Активное внедрение индродуцентов и декоративных древесных пород в систему озеленения усадеб характерно для последней четверти XIX — начала XX вв.: лиственница сибирская (*Larix sibirica*), сосна кедровая сибирская (*Pinus sibirica*), тополь белый (*Populus alba*), ясень обыкновенный (*Fraxinus excelsior*) и др. В исследовании В.А. Леоновой [24], посвященном анализу ассортимента древесных растений в исторических центрах малых городов Костромской области (Чухлома, Солигалич и Галич), было выявлено, что в системе озеленения преобладают также липа сердцевидная (*Tilia cordata*) и береза повислая (*Betula pendula*).

Из кустарников особенно часто в озеленении усадеб использовались сирень обыкновенная (*Syringa vulgaris*), спирея дубравколистная (*Spiraea chamaedryfolia*) и карагана древовидная (*Caragana arborescens*). Особого внимания заслуживает парк бывшего Кологривского зоотехнического техникума имени В.Ф. Чижова (закрытого в 1987 г.), сформированный в конце XIX в. на основе парковых структур усадьбы Екимцево. Здесь из кустарников высаживались чубушник обыкновенный (*Philadelphus coronarius*),

Исторический ассортимент древесно-кустарниковых видов в усадьбах
Historical tree and shrub species variety in the noble estates

Вид	Введенское	Екимцево	Жураново	Ивановское	Клусеево	Кологиллово	Корабли	Лучкино	Острожниково	Отрада	Пашнево	Шаево	Шевяки	Шоргутово
1. Отдел голосеменные (<i>Gymnospermae</i>)														
1.1. Семейство сосновые (<i>Pinaceae</i>)														
Ель европейская (<i>Picea abies</i>)	+	+	-	-	+	+	+	-	-	+	-	+	+	-
Лиственница сибирская (<i>Larix sibirica</i>)	-	+	+	+	-	-	+	н	-	+	н	-	-	-
Пихта сибирская (<i>Abies sibirica</i>)	-	+	-	-	-	-	-	-	+	+	-	-	-	-
Сосна кедровая сибирская (<i>Pinus sibirica</i>)	-	+	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	+	-
Сосна обыкновенная (<i>Pinus sylvestris</i>)	+	+	+	-	-	+	+	-	-	+	-	-	+	-
2. Отдел покрытосеменные (<i>Magnoliophyta</i>)														
2.1. Семейство барбарисовые (<i>Berberidaceae</i>)														
Барбарис обыкновенный (<i>Berberis vulgaris</i>)	-	н	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
2.2. Семейство березовые (<i>Betulaceae</i>)														
Береза повислая (<i>Betula pendula</i>)	+	+	+	+	+	+	+	н	+	+	+	-	-	-
Лещина обыкновенная (<i>Corylus avellana</i>)	-	-	-	н	-	+	-	-	-	-	-	+	-	-
Ольха серая (<i>Alnus incana</i>)	-	+	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
2.3. Семейство бобовые (<i>Fabaceae</i>)														
Карагана древовидная (<i>Caragana arborescens</i>)	+	-	-	-	-	+	-	н	+	+	-	-	-	+
Карагана кустарниковая (<i>Caragana frutex</i>)	-	+	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
2.4. Семейство буковые (<i>Fagaceae</i>)														
Дуб черешчатый (<i>Quercus robur</i>)	+	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
2.5. Семейство вязовые (<i>Ulmaceae</i>)														
Вяз гладкий (<i>Ulmus laevis</i>)	-	+	-	-	-	-	+	+	-	-	-	-	-	+
2.6. Семейство гортензиевые (<i>Hydrangeaceae</i>)														
Чубушник обыкновенный (<i>Philadelphus coronarius</i>)	-	+	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
2.7. Семейство жимолостные (<i>Caprifoliaceae</i>)														
Жимолость татарская (<i>Lonicera tatarica</i>)	-	+	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
2.8. Семейство ивовые (<i>Salicaceae</i>)														
Ива ломкая (<i>Salix × fragilis</i>)	-	-	-	-	-	-	+	-	-	-	-	-	-	-
Тополь бальзамический (<i>Populus balsamifera</i>)	-	н	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Тополь белый (<i>Populus alba</i>)	-	-	+	-	-	-	+	-	-	-	-	-	-	-
Тополь Максимовича (<i>Populus maximo-wiczii</i>)	-	+	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Тополь сибирский (<i>Populus × sibirica</i>)	-	+	+	+	-	-	+	-	-	-	+	-	-	+
2.9. Семейство кизиловые (<i>Cornaceae</i>)														
Дерен белый (<i>Cornus alba</i>)	-	+	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Кизильник блестящий (<i>Cotoneaster lucidus</i>)	-	+	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
2.10. Семейство мальвовые (<i>Malvaceae</i>)														
Липа сердцевидная (<i>Tilia cordata</i>)	+	+	+	+	+	+	+	н	+	+	-	-	-	+
2.11. Семейство маслиновые (<i>Oleaceae</i>)														
Сирень венгерская (<i>Syringa josikaea</i>)	-	+	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Сирень обыкновенная (<i>Syringa vulgaris</i>)	+	+	-	+	н	+	-	-	-	-	-	-	-	+
Ясень обыкновенный (<i>Fraxinus excelsior</i>)	-	н	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-

Окончание таблицы

Вид	Введенское	Екимцево	Жураново	Ивановское	Клусеево	Колотилово	Корабли	Лучкино	Острожниково	Отрада	Пашнево	Шаево	Шевяки	Шоргутово
2.12. Семейство розовые (<i>Rosaceae</i>)														
Боярышник кроваво-красный (<i>Crataegus sanguinea</i>)	-	+	+	-	-	-	+	-	-	-	-	-	-	-
Боярышник черный (<i>Crataegus nigra</i>)	-	+	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Вишня домашняя (<i>Prunus cerasus</i>)	-	-	-	-	-	-	-	н	-	-	-	н	-	-
Груша домашняя (<i>Pyrus communis</i>)	-	-	-	-	-	-	-	н	-	-	-	-	-	-
Ирга колосистая (<i>Amelanchier spicata</i>)	-	+	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Крыжовник обыкновенный (<i>Ribes uva-crispa</i>)	-	-	-	-	-	-	-	н	-	-	-	-	-	-
Малина обыкновенная (<i>Rubus idaeus</i>)	-	-	-	-	-	-	-	н	-	-	-	н	н	-
Слива домашняя (<i>Pyrus communis</i>)	-	-	-	-	-	-	-	н	-	-	-	-	-	-
Смородина альпийская (<i>Ribes alpinum</i>)	-	+	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Смородина красная (<i>Ribes rubrum</i>)	-	-	-	н	-	-	-	-	-	-	н	н	н	-
Смородина черная (<i>Ribes nigrum</i>)	-	-	-	н	-	-	-	-	-	-	н	н	н	-
Спирея дубравколистная (<i>Spiraea chamaedryfolia</i>)	-	+	-	+	-	-	-	-	-	-	-	-	-	+
Спирея иволистная (<i>Spiraea salicifolia</i>)	-	-	-	-	-	+	-	-	-	-	-	-	-	-
Спирея средняя (<i>Spiraea media</i>)	-	-	-	-	-	+	-	-	-	-	-	-	-	-
Яблоня домашняя (<i>Malus domestica</i>)	-	н	-	н	-	-	-	н	-	-	н	н	-	-
2.13. Семейство сапиндовые (<i>Sapindaceae</i>)														
Клен татарский (<i>Acer tataricum</i>)	-	+	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-

Примечание: + — сохранившийся до настоящего времени вид, н — несохранившийся, - — сведения о наличии отсутствуют.

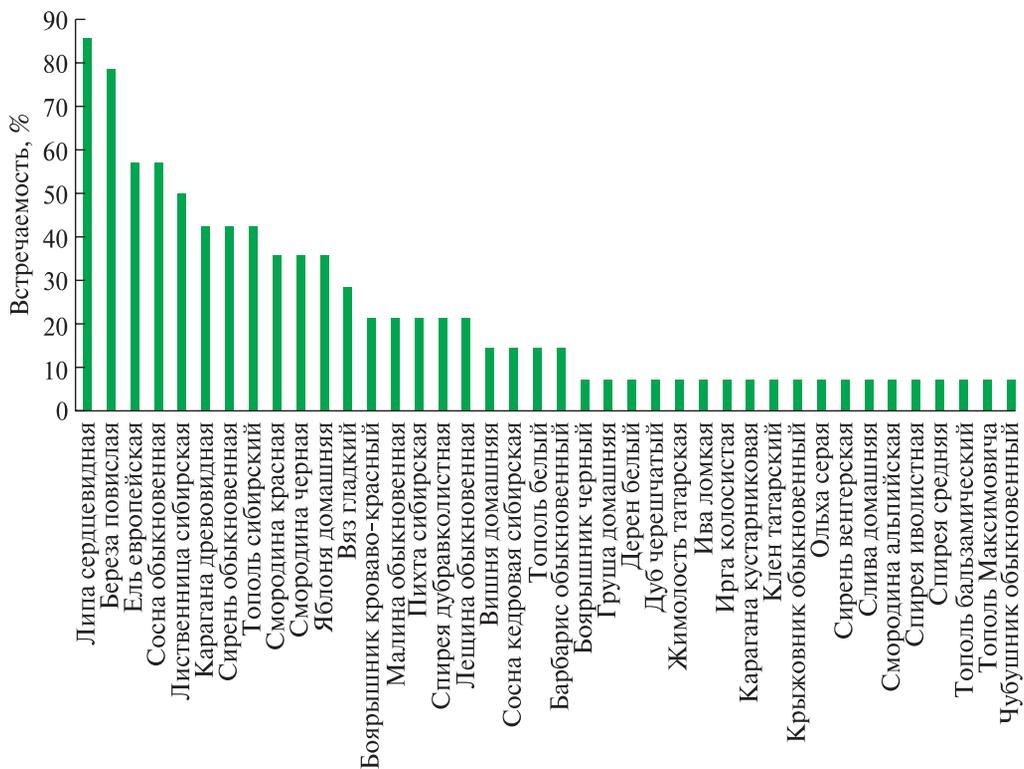


Рис. 2. Встречаемость видов в усадьбах биосферного резервата «Кологривский лес»
 Fig. 2. Species occurrence in the noble estates of the Kologrivsky Forest Biosphere Reserve

карагана кустарниковая (*Caragana frutex*), дерен белый (*Cornus alba*), сирень венгерская (*Syringa josikaea*), смородина альпийская (*Ribes alpinum*), жимолость татарская (*Lonicera tatarica*), кизильник блестящий (*Cotoneaster lucidus*), барбарис обыкновенный (*Berberis vulgaris*).

В некоторых усадьбах зоны сотрудничества биосферного резервата «Кологривский лес» существовала зона плодового сада. Из плодовых деревьев и ягодных кустарников типичными являлись вишня домашняя (*Prunus cerasus*), груша домашняя (*Pyrus communis*), крыжовник обыкновенный (*Ribes uva-crispa*), малина обыкновенная (*Rubus idaeus*), слива домашняя (*Pyrus communis*), смородина красная (*Ribes rubrum*), смородина черная (*Ribes nigrum*), яблоня домашняя (*Malus domestica*). До настоящего времени ни в одной из исследуемых усадеб зона плодового сада не сохранилась.

Среди деревьев, применявшихся в усадебном озеленении, хорошей способностью к формированию молодого поколения в условиях северо-востока Костромской области характеризуются липа сердцевидная (*Tilia cordata*) — практически повсеместно, лиственница сибирская (*Larix sibirica*) — в усадьбе Ивановское на участках, выбывших из сельскохозяйственного пользования, тополь белый (*Populus alba*) — в усадьбах Жураново и Корабли, вяз гладкий (*Ulmus laevis*) — в усадьбе Корабли, парковых структурах поселка Екимцево.

Анализ таксономической структуры исторического ассортимента древесно-кустарниковых растений показывает, что отдел голосеменные (*Gymnospermae*) представлен 5 видами (12 %), покрытосеменные (*Magnoliophyta*) — 36 видами (88 %). Семействами с наибольшим количеством видов являются розовые (*Rosacea*) — 15 видов (36 %), сосновые (*Pinaceae*) — 5 видов (12 %), ивовые (*Salicaceae*) — 5 видов и гибридов (12 %). По одному виду содержат такие семейства, как барбарисовые (*Berberidaceae*), буковые (*Fagaceae*), вязовые (*Ulmaceae*), гортензиевые (*Hydrangeaceae*), жимолостные (*Caprifoliaceae*), мальвовые (*Malvaceae*) и сапидовые (*Sapindaceae*).

На современном этапе территории бывших усадеб активно зарастают аборигенными древесно-кустарниковыми видами, характерными для лесов южно-таежной зоны. В качестве наиболее часто встречающихся деревьев следует отметить такие виды, как береза повислая (*Betula pendula*), ель обыкновенная (*Picea abies*), ель финская (*Picea × fennica*), ива козья (*Salix caprea*), клен остролистный (*Acer platanoides*), липа сердцевидная (*Tilia cordata*), пихта сибирская (*Abies sibirica*), рябина обыкновенная (*Sorbus aucuparia*), сосна обыкновенная (*Pinus sylvestris*), черемуха

обыкновенная (*Prunus padus*) и др. Из кустарников — бузина обыкновенная (*Sambucus racemosa*), волчегонник обыкновенный (*Daphne mezereum*), жимолость настоящая (*Lonicera xylosteum*), ива мирзинолистная (*Salix myrsinifolia*), малина обыкновенная (*Rubus idaeus*), можжевельник обыкновенный (*Juniperus communis*), смородина колосистая (*Ribes spicatum*), смородина черная (*R. nigrum*), шиповник иглистый (*Rosa acicularis*), шиповник майский (*R. majalis*) и др.

Современное состояние озеленительных посадок в некоторых усадьбах биосферного резервата «Кологривский лес» показано на рис. 3. В парковой части в усадьбах Екимцево, Ивановское, Корабли протекает процесс распада исторических зеленых насаждений, территория активно зарастает аборигенными древесными породами и сорной растительностью, а существовавшая некогда дорожно-тропиночная сеть утрачена. Аллейные посадки сохранились в усадьбах Жураново, Шевьяки, но в них также, как и в усадебных парках протекает процесс отпада старовозрастных деревьев. Тем не менее сохранившиеся старовозрастные деревья позволяют получить представление о планировочной структуре территории усадеб. На месте усадьбы Шоргутово остались только единичные деревья, которые лишь указывают на место расположения усадьбы в прошлом.

Распределение сохранившихся старовозрастных деревьев по категориям санитарного состояния в усадьбах Ивановское и Жураново показано на рис. 4. Примерно половина деревьев относится к категории здоровых (в усадьбе Ивановское — 49 %, в Жураново — 57 %), пятая часть (около 20 %) — к категории ослабленных. Суммарно на сильно ослабленные, усыхающие и сухостойные деревья приходится в усадьбе Ивановское 30 %, в Жураново — 25 %, что указывает на протекание процессов естественного разрушения озеленительных посадок. Значительное количество старовозрастных деревьев лиственницы в этих усадьбах утрачено вследствие незаконной рубки. Наличие природоохранного статуса у зеленых насаждений некоторых усадеб не позволяет обеспечить их сохранение, что характерно и для других регионов России [25].

Наличие статуса объектов культурного наследия федерального значения — Клусеево, регионального значения — Колотилово, Отрада, Ивановское, Екимцево не способствует сохранению памятников архитектуры и объектов усадебного озеленения. В последние годы только в единичных усадьбах проводились мероприятия по сохранению и благоустройству ландшафтов. Например, в Екимцево местные жители провели субботник на липовой аллее, в рамках Всероссийской акции «Сохраним лес» коллективом Мантуровского



а



б



в



г



д



е

Рис. 3. Фотофиксация современного состояния озеленительных посадок в усадьбах: а — Корабли; б — Шоргутово; в — Екимцево; г — Жураново; д — Ивановское; е — Шевяки

Fig. 3. Photofixation of the current state of planting in the following manors: а — Korabli; б — Shorgutovo; в — Ekimtsevo; г — Zhuranovo; д — Ivanovskoye; е — Shevyaki

лесничества в парке усадьбы Отрада проведен уход за старовозрастными деревьями, убраны ветровальные, буреломные и усыхающие деревья, посажены молодые липы, лиственницы и сосны, силами школьников в сосново-кедровой роще усадьбы Шевяки проведена уборка мусора и устранена захламленность.

Территории большинства изучаемых усадеб являются точками притяжения для неорганизованных туристов, интересующихся историей и куль-

турой (например, Клушеево, Колотилово, Отрада, Екимцево, Шевяки), но при этом специальная инфраструктура отсутствует. В рамках реализации «Стратегии развития туризма в Костромской области на период до 2035 года» (утверждена распоряжением администрации Костромской области от 13 июля 2020 года № 161-ра) бывшие дворянские усадьбы могут стать объектами внутреннего и выездного туризма: 1) после проведения мероприятий по благоустройству (уборка захламленности,

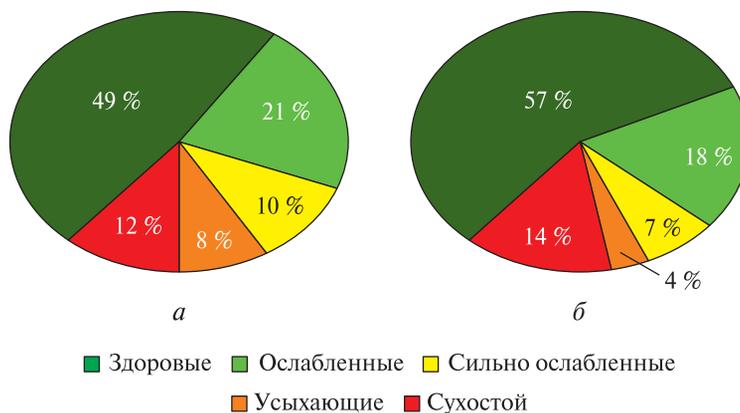


Рис. 4. Распределение старовозрастных деревьев по категориям санитарного состояния: а — парк усадьбы Ивановское; б — урочище Жураново

Fig. 4. Distribution of old-growth trees by categories of sanitary condition: а — park of Ivanovskoye estate; б — Zhuranovo tract

уход за старовозрастными и посадка молодых деревьев, установка информационных аншлагов); 2) при разработке и реализации организованных туристических маршрутов.

Усадебные парки считаются источником сохранения биоразнообразия в культурных ландшафтах [26, 27]. Исторический ассортимент может использоваться при реконструкции существующих и воссоздании утраченных зеленых насаждений для сохранения усадебных комплексов и ландшафтов [28–33], а также в случае с сохранившимися интродуцентами для получения акклиматизированного посадочного материала ценных пород деревьев и кустарников [27]. Выявленный ассортимент древесно-кустарниковых растений не является окончательным. С момента национализации дворянских усадеб прошло более 100 лет, таким образом, сведения о многих видах, особенно кустарниках, являются утраченными.

Представленные в настоящей работе виды и гибриды проверены временем, показали высокую устойчивость и могут использоваться при озеленении населенных пунктов северо-востока Костромской области, например, в рамках Федерального проекта «Формирование комфортной городской среды», а также объектов ландшафтной архитектуры в стиле русской провинциальной усадьбы северо-востока Костромской губернии.

Выводы

Проведенный анализ исторического ассортимента древесных растений в дворянских усадьбах биосферного резервата «Кологривский лес» выявил 42 вида и гибрида, из которых наибольшей встречаемостью характеризуются такие виды деревьев, как липа сердцевидная (*Tilia cordata*) — 86 %, береза повислая (*Betula pendula*) — 79 %, ель европейская (*Picea abies*) — 57 %, сосна обыкновенная (*Pinus sylvestris*) — 57 % и лиственница сибирская (*Larix sibirica*) — 50 %. Из кустарников наиболее часто в озеленении усадеб использовались сирень обыкновенная (*Syringa vulgaris*), спирея дубравколистная (*Spiraea chamaedryfolia*) и карагана древовидная (*Caragana arborescens*).

Отсутствие мероприятий по сохранению исторических древесно-кустарниковых насаждений, их возраст, приближающийся к естественной спелости, проведение незаконных рубок являются основными факторами снижения устойчивости и потери эстетических функций. Выявленный в работе исторический ассортимент древесно-кустарниковых растений не является окончательным, так как с момента национализации дворянских усадеб прошло более 100 лет, поэтому, сведения о многих видах, особенно кустарниках, являются утраченными.

Список литературы

- [1] Дужинская А.А., Дормидонтова В.В. Способы достижения выразительности городского пространства на примере стрелки Васильевского острова // Лесной вестник / Forestry Bulletin, 2020. Т. 24. № 1. С. 20–24. DOI: 10.18698/2542-1468-2020-1-20-24
- [2] Аксенова И.В., Клавир Е.В. Проблемы охраны и современного использования загородных дворянских усадеб // Вестник МГСУ, 2014. № 11. С. 14–25.
- [3] Зайцева Л.А. Дворянские усадьбы как потенциал культурно-познавательного туризма Нижегородской области // Научный результат. Технологии бизнеса и сервиса, 2022. Т. 8. № 4. С. 3–14. DOI: 10.18413/2408-9346-2022-8-4-0-1
- [4] Топорина В.А., Голубева Е.И. Усадебно-парковый комплекс как категория природно-культурного наследия // Проблемы региональной экологии, 2011. № 3. С. 195–203.
- [5] Личак Д.А., Личак Н.А. Усадебная культура Ярославской области: к вопросу о реновации памятников // Умные композиты в строительстве, 2023. Т. 4. № 2. С. 77–86.
- [6] Pejchal M., Štefl L. An Assortment of Woody Plants Produced in the Manor of Nové Dvory at the Turn of the 18th and 19th Centuries: European, Asian and North African

- Taxa // Acta Universitatis Agriculturae et Silviculturae Mendelianae Brunensis, 2019, no. 67(5), pp. 1195–1212. DOI: 10.11118/actaun201967051195
- [7] Melnichuk I., Trubacheva T., Tsybal G., Dvatsatova T. Species composition dynamics of woody plants by the example of gardens and squares of the historical center of St. Petersburg // IOP Conf. Series: Earth and Environmental Science, 2020, no. 574, p. 012051. DOI: 10.1088/1755-1315/574/1/012051
- [8] Йенсен Т.В., Кондратьева И.Ю., Ойнас Д.Б., Сорокин А.И. Костромская усадьба. Кострома: Линия График, 2005. 597 с.
- [9] Леонова В.А., Новиков В.Е., Разумеева Е.А., Ромашко Т.В. Восстановление историко-архитектурных планов усадеб в Костромской и Московской областях // Вестник «Зодчий. 21 век», 2015. № 2–2(55). С. 124–127.
- [10] Леонова В.А., Куликова А.И., Тарасова Л.А. Состояние природных ландшафтов крестьянской усадьбы в деревне Асташово Костромской области и перспективы их развития // Лесной вестник / Forestry Bulletin, 2021. Т. 25. № 5. С. 74–84. DOI: 10.18698/2542-1468-2021-5-74-84
- [11] Белянкина Н.А. Загородные усадьбы Костромской губернии конца XVIII – начала XX вв.: функционально-планировочный аспект: дис. ... канд. архитектуры, 18.00.01. Нижний Новгород, 2008. 192 с.
- [12] Максименко М.Ф. Изучение динамики ассортимента декоративных травянистых растений и ее значение при реставрации исторических парков России: автореф. дис. ... канд. с.-х. наук, 06.03.03. Москва, 2012. 24 с.
- [13] Сиротина М.В., Мурадова Л.В., Чернявин П.В., Чистяков С.А., Панова Н.В., Ситникова О.Н., Лебедев А.В. О новом биосферном резервате «Кологривский лес» // Вклад особо охраняемых природных территорий в экологическую устойчивость регионов: Современное состояние и перспективы: Материалы II Всерос. (с междунар. участием) конф., приуроченной к 15-летию создания заповедника «Кологривский лес», Кологрив, 28–29 октября 2021 года. Кологрив: Изд-во Государственного природного заповедника «Кологривский лес», 2021. С. 8–13.
- [14] Кругляк В.В. Адаптивные системы озеленения и методы их мобилизации в населенных пунктах Центрального Черноземья // Глинковские чтения: Материалы Междунар. науч.-практ. конф., посвященной 100-летию факультета агрономии, агрохимии и экологии Воронежского ГАУ. Воронеж: Изд-во Воронежского ГАУ, 2013. С. 101–105.
- [15] Рудченко В.М., Смирнов Г.К., Шармин П.Н., Щеболева Е.Г. Памятники архитектуры Костромской области. Каталог. Выпуск V. Кологривский район. Межевской район. Нейский район. Мантуровский район. Кострома, 2003. 280 с.
- [16] Рудченко В.М., Смирнов Г.К., Шармин П.Н., Щеболева Е.Г. Памятники архитектуры Костромской области. Каталог. Выпуск VI. Чухлома. Чухломской район. Кострома, 2004. 251 с.
- [17] Русская усадьба. Сборник Общества изучения русской усадьбы. Вып. 2 (18) / под ред. Л.В. Ивановой. М.: АИРО – XX, 1996. 341 с.
- [18] Хробостов А.В. Лебединая песня моего сердца / под ред. П.В. Романца. Кострома: Авантитул, 2015. 439 с.
- [19] Костерева А.А., Казакова А.Е., Маркин А.А., Куприянова А.Г. Выявление утраченной планировочной и объемно-пространственной структуры на объектах культурного наследия ландшафтной архитектуры с помощью определения возраста деревьев // XIV чтения памяти Т.Б. Дубяго: Сб. трудов Междунар. конф. Санкт-Петербург, 2023. С. 31–45.
- [20] Кузьмина К.А., Изотова Т.В. Старинные усадьбы и их использование в настоящее время // Ландшафтная архитектура, строительство и обработка древесины: Материалы науч.-техн. конф. СПбГЛТУ по итогам НИР 2022 года, ИЛАСиОД. Санкт-Петербург, 2023. С. 144–150.
- [21] Лебедев А.В., Кочнев Я.В. Усадьба Виц-Григорьевых (Костромская область): история создания и современное состояние // Лесной вестник / Forestry Bulletin, 2023. Т. 27. № 4. С. 104–116. DOI: 10.18698/2542-1468-2023-4-104-116
- [22] Лебедев А.В. Усадьба Жураново (Кологривский округ Костромской области): история и современное состояние // Научные труды государственного природного заповедника «Кологривский лес». Вып. 2. Кологрив: Изд-во Государственного заповедника «Кологривский лес», 2023. С. 201–218.
- [23] Киреева Ю.А. Подмосковные усадьбы как объект культурно-познавательного туризма // Тенденции и проблемы развития индустрии туризма и гостеприимства: Материалы 7-й Межрегион. науч.-практ. конф., Рязань, 22 октября 2020 года. Рязань: Изд-во РГУ имени С.А. Есенина, 2020. С. 12–15.
- [24] Леонова В.А. Древесные растения в озеленении исторических центров малых городов Костромской области (ассортимент, структура, типы насаждений) // Бюллетень Главного ботанического сада, 2019. № 3(205). С. 30–35. DOI: 10.25791/BBGRAN.03.2019.884
- [25] Топорина В.А. Сохранение и использование сельских усадеб Центральной России // От «царского огорода» к музею-заповеднику: Материалы науч.-практ. конф., Санкт-Петербург, 24–25 апреля 2017 года. Санкт-Петербург: Изд-во Государственного музея-заповедника «Петергоф», 2018. С. 412–420.
- [26] Борисова Е.А. Флора Гриндинского усадебного парка Ивановской области // Самарский научный вестник, 2015. № 2(11). С. 21–24.
- [27] Истомина Н.Б., Лихачева О.В. Роль усадебных парков Псковской области в сохранении биоразнообразия // VII Семеновские чтения: наследие П.П. Семенова-Тян-Шанского и современная наука: Материалы Междунар. науч. конф., к 195-летию со дня рождения П.П. Семенова-Тян-Шанского, Липецк, 20–21 мая 2022 года. Липецк: Изд-во Липецкого государственного педагогического университета имени П.П. Семенова-Тян-Шанского, 2022. С. 143–146.
- [28] Мануковская А.В., Тихонова Е.Н. Сохранение ландшафтов в системе усадебных комплексов Воронежской области // Проблемы трансформации естественных ландшафтов в результате антропогенной деятельности и пути их решения: Материалы Междунар. науч. экол. конф., посвященной Году науки и технологий, Краснодар, 29–31 марта 2021 года. Краснодар: Изд-во Кубанского государственного аграрного университета имени И.Т. Трубилина, 2021. С. 553–555.
- [29] Володькин А.А., Ларионов М.В. Сохранение и перспективы использования усадебно-парковых комплексов как объектов изучения элементов культурного ландшафта // Эпистемологические основания современного образования: актуальные вопросы продвижения фундаментального знания в учебный процесс: Материалы Междунар. науч.-практ. конф.–2020 Борисоглебского филиала ФГБОУ ВО «ВГУ», Борисоглебск, 15–16 октября 2020 года. Москва: Перо, 2020. С. 332–338.
- [30] Сокольская О.Б., Кузин А.Н. Анализ состояния парка князей Волконских в селе Владыкино Саратовской области и рекомендации по его использованию // Вест-

- ник Алтайского государственного аграрного университета, 2011. № 2(76). С. 51–57.
- [31] Белянкина Н.А. Загородные усадьбы Костромской губернии конца XVIII – начала XX веков: автореф. дис. ... канд. архитектуры. Нижний Новгород: Изд-во Нижегородского государственного архитектурно-строительного университета, 2008. 24 с.
- [32] Касаткина С.В. Дворянская усадьба как центр хозяйственной и культурной жизни провинции в 1861–1917 годах (на примере усадеб Костромской губернии): автореф. дис. ... канд. ист. наук. Иваново: Изд-во Ивановского государственного университета (Шуйский филиал), 2016. 20 с.
- [33] Сиротина М.В., Мурадова Л.В., Чернявин П.В., Чистяков С.А. О новом биосферном резервате «Кологривский лес» // Вклад особо охраняемых природных территорий в экологическую устойчивость регионов: Современное состояние и перспективы: Материалы II Всерос. конф., приуроченной к 15-летию создания заповедника «Кологривский лес», Кологрив, 28–29 октября 2021 г. Кологрив: Изд-во Государственного заповедника «Кологривский лес», 2021. С. 8–13.

Сведения об авторе

Лебедев Александр Вячеславович — д-р с.-х. наук, доцент кафедры землеустройства и лесоводства, ФГБОУ ВО «Российский государственный аграрный университет — МСХА имени К.А. Тимирязева» (РГАУ – МСХА имени К.А. Тимирязева), Российский государственный аграрный университет — МСХА имени К.А. Тимирязева; науч. сотрудник, ФГБУ «Государственный заповедник «Кологривский лес», alebedev@rgau-msha.ru

Поступила в редакцию 18.01.2024.

Одобрено после рецензирования 04.03.2024.

Принята к публикации 15.05.2024.

WOODY PLANTS VARIETY AND SUSTAINABILITY IN NOBLE ESTATES LANDSCAPES IN KOLOGRIVSKY FOREST BIOSPHERE RESERVE

A.V. Lebedev^{1,2}

¹Russian State Agrarian University — Moscow Timiryazev Agricultural Academy, 49, Timiryazevskaya st., 127550, Moscow, Russia

²Kologrivsky Forest Nature Reserve, named after M.G. Sinitsyn, 15, Tsentralnaya st., 157440, Kostroma reg., Kologriv, Russia
alebedev@rgau-msha.ru

Identifying the woody plants variety in the territories of former noble estates and the methods of use in certain periods of time are extremely important both for understanding the history of the region and for the preservation and restoration of landscape objects. Many noble estates in the northeastern part of the Kostroma region continue to remain in oblivion. Currently, information about the woody plants variety in such estates is fragmentary and diverse and therefore requires scientific systematization. The purpose of the study is to assess the variety and sustainability of tree and shrub species in the landscaping system of noble estates located in the cooperation zone of the Kologrivsky Forest Biosphere Reserve (Kostroma region). Identification of tree and shrub species varieties was carried out for 14 noble estates located in the Kologrivsky district (Ekimtsevo, Zhuranovo, Ivanovskoye, Korabli, Luchkino, Pashnevo, Shaevo, Shorgutovo), Manturovo district (Otrada, Shevyaki) and Chukhloma district (Vvedenskoye, Kluseevo, Kolotilovo, Ostrozhnikovo). The research methodology included conducting a historical and archival examination, collecting and analyzing literary information mentioning woody plants found in the noble estates, and conducting field surveys using landscape analysis methods. The historical variety of woody plants in the noble estates of the Kologrivsky Forest Biosphere Reserve includes 42 species and hybrids, of which the most common tree species are small-leaved linden (*Tilia cordata*) — 86 %, silver birch (*Betula pendula*) — 79 %, Norway spruce (*Picea abies*) — 57 %, Scots pine (*Pinus sylvestris*) — 57 % and Siberian larch (*Larix sibirica*) — 50 %. Among the shrubs, common lilac (*Syringa vulgaris*), oak-leaved spirea (*Spiraea chamaedryfolia*) and Siberian pea shrub (*Caragana arborescens*) were most often used in landscaping of noble estates. The range of tree and shrub plants identified in the work is not final, since more than 100 years have passed since the nationalization of noble estates, therefore, information about many species, especially shrubs, has been lost.

Keywords: noble estate, woody plants, plants variety, Kologrivsky forest biosphere reserve

Suggested citation: Lebedev A.V. *Assortiment i ustoychivost' drevesnykh rasteniy v sisteme ozeleneniya dvoryanskikh usadeb biosfernogo rezervata «Kologrivskiy les»* [Woody plants variety and sustainability in noble estates landscapes in Kologrivsky forest biosphere reserve]. *Lesnoy vestnik / Forestry Bulletin*, 2024, vol. 28, no. 4, pp. 91–102. DOI: 10.18698/2542-1468-2024-4-91-102

References

- [1] Duzhinskaya A.A., Dormidontova V.V. *Sposoby dostizheniya vyrazitel'nosti prostranstva na primere strelki Vasil'evskogo ostrova* [Methods for achieving space expressivity by example of strelka ensemble on Vasilievsky Island]. *Lesnoy vestnik / Forestry Bulletin*, 2020, vol. 24, no. 1, pp. 20–24. DOI: 10.18698/2542-1468-2020-1-20-24
- [2] Aksenova I.V., Klavir E.V. *Problemy okhrany i sovremennogo ispol'zovaniya zagorodnykh dvoryanskikh usadeb* [Problems of conservation and modern use of country manorial estates]. *Vestnik MGSU [Bulletin of MGSU]*, 2014, no. 11, pp. 14–25.
- [3] Zaytseva L.A. *Dvoryanskie usad'by kak potentsial kul'turno-poznavatel'nogo turizma Nizhegorodskoy oblasti* [Noble estates as a potential for cultural and educational tourism of the Nizhny Novgorod region]. *Nauchnyy rezul'tat. Tekhnologii biznesa i servisa [Research result. Business and service technologies]*, 2022, v. 8, no. 4, pp. 3–14. DOI: 10.18413/2408-9346-2022-8-4-0-1
- [4] Toporina V.A., Golubeva E.I. *Usadebno-parkovyy kompleks kak kategoriya prirodno-kul'turnogo naslediya* [Country estates as a category natural and cultural heritage]. *Problemy regional'noy ekologii [Problems of regional ecology]*, 2011, no. 3, pp. 195–203.
- [5] Lichak D.A., Lichak N.A. *Usadebnaya kul'tura Yaroslavskoy oblasti: k voprosu o renovatsii pamyatnikov* [Manor culture of the Yaroslavl region: on the renovation of monuments]. *Umnye kompozity v stroitel'stve [Smart composite in construction]*, 2023, v. 4, no. 2, pp. 77–86.
- [6] Pejchal M., Štefl L. An Assortment of Woody Plants Produced in the Manor of Nové Dvory at the Turn of the 18th and 19th Centuries: European, Asian and North African Taxa. *Acta Universitatis Agriculturae et Silviculturae Mendelianae Brunensis*, 2019, no. 67(5), pp. 1195–1212. DOI: 10.11118/actaun201967051195
- [7] Melnichuk I., Trubacheva T., Tsymbal G., Dvatsatova T. Species composition dynamics of woody plants by the example of gardens and squares of the historical center of St. Petersburg. *IOP Conf. Series: Earth and Environmental Science*, 2020, no. 574, p. 012051. DOI: 10.1088/1755-1315/574/1/012051
- [8] Yensen T.V., Kondrat'eva I.Yu., Oynas D.B., Sorokin A.I. *Kostromskaya usad'ba* [Kostroma noble estate]. Kostroma: Izdatel'skiy dom Liniya grafik, 2005, 597 p.
- [9] Leonova V.A., Novikov V.E., Razumeeva E.A., Romashko T.V. *Vosstanovlenie istoriko-arkhitekturnykh planov usadeb v Kostromskoy i Moskovskoy oblastiakh* [Restoration of historical and architectural plans of estates in the Kostroma and Moscow regions]. *Vestnik. Zodchiy. 21 vek [Herald. Architect. 21 century]*, 2015, no. 2–2(55), pp. 124–127.
- [10] Leonova V.A., Kulikova A.I., Tarasova L.A. *Sostoyanie prirodnikh landshaftov krest'yanskoy usad'by v derevne Astashovo Kostromskoy oblasti i perspektivy ikh razvitiya* [Natural landscapes state of peasant manor in Astashovo village (Kostroma region) and prospects of their development]. *Lesnoy vestnik / Forestry Bulletin*, 2021, vol. 25, no. 5, pp. 74–84. DOI: 10.18698/2542-1468-2021-5-74-84
- [11] Belyankina N.A. *Zagorodnye usad'by Kostromskoy gubernii kontsa XVIII – nachala XX vv.: funktsional'no-planirovochnyy aspekt* [Country noble estates of the Kostroma province of the late 18th – early 20th centuries: functional and planning aspect]. *Nizhny Novgorod*, 2008, 192 p.
- [12] Maksimenko M.F. *Izuchenie dinamiki assortimenta dekorativnykh travyanistykh rasteniy i ee znachenie pri restavratsii istoricheskikh parkov Rossii* [Studying the dynamics of the assortment of ornamental herbaceous plants and its importance in the restoration of historical parks in Russia]. Moscow, 2012, 24 p.
- [13] Sirotnina M.V., Muradova L.V., Chernyavin P.V., Chistyakov S.A., Panova N.V., Sitnikova O.N., Lebedev A.V. *O novom biosfernom rezervate «Kologrivskiy les»* [About new Kologrivsky Forest Biosphere Reserve]. *Vklad osobo okhranyaemykh prirodnikh territoriy v ekologicheskuyu ustoychivost' regionov: Sovremennoe sostoyanie i perspektivy: materialy II Vserossiyskoy (s mezhdunarodnym uchastiem) konferentsii, priurochennoy k 15-letiyu sozdaniya zapovednika «Kologrivskiy les»* [The contribution of specially protected natural areas to the ecological sustainability of the regions: Current state and prospects: materials of the II All-Russian (with international participation) conference dedicated to the 15th anniversary of the creation of the Kologrivsky Forest Nature Reserve]. *Kologriv: Gosudarstvennyy prirodnyy zapovednik «Kologrivskiy les»*, 2021, pp. 8–13.
- [14] Kruglyak V.V. *Adaptivnye sistemy ozeleneniya i metody ikh mobilizatsii v naseleennykh punktakh Tsentral'nogo Chernozem'ya* [Adaptive landscaping systems and methods of their mobilization in populated areas of the Central Black Earth Region]. *Glinkovskie chteniya: mater. Mezhdunarodnoy nauchno-prakticheskoy konferentsii, posvyashchennoy 100-letiyu fakul'teta agronomii, agrokhimii i ekologii Voronezhskogo GAU* [Glinka readings: material. International scientific and practical conference dedicated to the 100th anniversary of the Faculty of Agronomy, Agrochemistry and Ecology of Voronezh State Agrarian University], 2013, pp. 101–105.
- [15] Rudchenko V.M., Smirnov G.K., Sharmin P.N., Shcheboleva E.G. *Pamyatniki arkhitektury Kostromskoy oblasti. Katalog. Vypusk V. Kologrivskiy rayon. Mezhevskoy rayon. Neyskiy rayon. Manturovskiy rayon* [Architectural monuments of the Kostroma region. Catalog. Issue V. Kologrivsky district. Mezhevsky district. Neysky district. Manturovo district]. Kostroma, 2003, 280 p.
- [16] Rudchenko V.M., Smirnov G.K., Sharmin P.N., Shcheboleva E.G. *Pamyatniki arkhitektury Kostromskoy oblasti. Katalog. Vypusk VI. Chukhloma. Chukhlomskoy rayon* [Architectural monuments of the Kostroma region. Catalog. Issue VI. Chukhloma. Chukhloma district]. Kostroma, 2004, 251 p.
- [17] *Russkaya usad'ba. Sbornik Obshchestva izucheniya russkoy usad'by. Vyp. 2 (18)* [Russian estate. Collection of the Society for the Study of Russian Estates. Vol. 2 (18)]. Ed. L. V. Ivanova. Moscow: AIRO – XX, 1996, 341 p.
- [18] Khrobotov A.V. *Lebedinaya pesnya moego serdtsa* [Swan song of my heart]. Ed. P.V. Romants. Kostroma: Avanti, 2015, 439 p.
- [19] Kostereva A.A., Kazakova A.E., Markin A.A., Kupriyanova A.G. *Iyyavlenie utrachennoy planirovochnoy i ob'emno-prostranstvennoy struktury na ob'ektakh kul'turnogo naslediya landshaftnoy arkhitektury s pomoshch'yu opredeleniya vozrasta derev'ev* [Identification of the lost planning and volumetric-spatial structure on objects of cultural heritage of landscape architecture by determining the age of trees]. *XIV chteniya pamyati T.B. Dubyago: sb. trudov mezhdunarodnoy konferentsii [XIV readings in memory of T.B. Dubyago: proc. of the international conference]*. St. Petersburg, 2023, pp. 31–45.
- [20] Kuz'mina K.A., Azotova T.V. *Starinnye usad'by i ikh ispol'zovanie v nastoyashchee vremya* [Ancient estates and their current use]. *Landschaftnaya arkhitektura, stroitel'stvo i obrabotka drevesiny: mater. nauchno-tekhnicheskoy konferentsii SPbGLTU po itogam NIR 2022 goda ILASIOD* [Landscape architecture, construction and wood processing: material. scientific and technical conference of St. Petersburg State Forestry University based on the results of research work in 2022, ILASIOD]. St. Petersburg, 2023, pp. 144–150.
- [21] Lebedev A.V., Kochnev Ya.V. *Usad'ba Vits-Grigor'evykh (Kostromskaya oblast'): istoriya sozdaniya i sovremennoe sostoyanie* [Noble estate of Vits-Grigoryevs (Kostroma region): history of creation and current state]. *Lesnoy vestnik / Forestry Bulletin*, 2023, vol. 27, no. 4, pp. 104–116. DOI: 10.18698/2542-1468-2023-4-104-116

- [22] Lebedev A.V. *Usad'ba Zhuranovo (Kologrivskiy okrug Kostromskoy oblasti): istoriya i sovremennoe sostoyanie* [Zhuranovo noble estate (Kologrivsky district, Kostroma region): history and current status]. Nauchnye trudy gosudarstvennogo prirodnogo zapovednika «Kologrivskiy les». Vyp. 2 [Scientific Papers of the Kologrivsky Forest Nature Reserve. Issue 2]. Kologriv: Gosudarstvennyy zapovednik «Kologrivskiy les», 2023, pp. 201–218.
- [23] Kireeva Yu.A. *Podmoskovnye usad'by kak ob'ekt kul'turno-poznavatel'nogo turizma* [Moscow region estates as an object of cultural and educational tourism]. Tendentsii i problemy razvitiya industrii turizma i gostepriimstva: mater. 7-y Mezhdunarodnoy nauchno-prakticheskoy konferentsii [Trends and problems of development of the tourism and hospitality industry: material. 7th Interregional Scientific and Practical Conference], Ryazan, October 22, 2020. Ryazan: RSU named after S.A. Yesenina, 2020, pp. 12–15.
- [24] Leonova V.A. *Drevesnye rasteniya v ozelenenii istoricheskikh tsentrov malykh gorodov Kostromskoy oblasti (assortiment, struktura, tipy nasazhdeniy)* [Wood plants in the greening of historical centers of small cities of the Kostroma region (range, assembly, structure, types of plantations)]. Byulleten' Glavnogo botanicheskogo sada [Bulletin of the main botanical garden], 2019, no. 3(205), pp. 30–35. DOI: 10.25791/BBGRAN.03.2019.884
- [25] Toporina V.A. *Sokhraneniye i ispol'zovaniye sel'skikh usadeb Tsentral'noy Rossii* [Preservation and use of rural estates in Central Russia]. Ot «tsarskogo ogoroda» k muzeyu-zapovedniku: mater. nauchno-prakticheskoy konferentsii [From the «royal garden» to the museum-reserve: Collection of articles based on the materials of the scientific and practical conference]. St. Petersburg: State Museum-Reserve «Peterhof», 2018, pp. 412–420.
- [26] Borisova E.A. *Flora Gridinskogo usadebnogo parka Ivanovskoy oblasti* [Flora of the Ivanovo region farmstead park Gridino]. Samarskiy nauchnyy vestnik [Samara J. of Science], 2015, no. 2(11), pp. 21–24.
- [27] Istomina N.B., Likhacheva O.V. *Rol' usadebnykh parkov Pskovskoy oblasti v sokhraneni bioraznobraziya* [The role of manor parks in the Pskov region in the conservation of biodiversity]. VII Semenovskie chteniya: nasledie P.P. Semenova-Tyan-Shanskogo i sovremennaya nauka: mater. Mezhdunarodnoy nauchnoy konferentsii, k 195-letiyu so dnya rozhdeniya P.P. Semenova-Tyan-Shanskogo [VII Semenov readings: the legacy of P.P. Semenov-Tyan-Shansky and modern science: Materials of the International Scientific Conference. On the 195th anniversary of the birth of P.P. Semenov-Tyan-Shansky]. Lipetsk: Lipetsk State Pedagogical University named after P.P. Semenov-Tyan-Shansky, 2022, pp. 143–146.
- [28] Manukovskaya A.V., Tikhonova E.N. *Sokhraneniye landshaftov v sisteme usadebnykh kompleksov Voronezhskoy oblasti* [Conservation of landscapes in the system of estate complexes in the Voronezh region]. Problemy transformatsii estestvennykh landshaftov v rezul'tate antropogennoy deyatelnosti i puti ikh resheniya: mater. Mezhdunarodnoy nauchnoy ekologicheskoy konferentsii, posvyashchennoy Godu nauki i tekhnologii [Problems of transformation of natural landscapes as a result of anthropogenic activities and ways to solve them: a collection of scientific papers based on the materials of the International Scientific Ecological Conference dedicated to the Year of Science and Technology]. Krasnodar: Kuban State Agrarian University named after I.T. Trubilina, 2021, pp. 553–555.
- [29] Volod'kin A.A., Larionov M.V. *Sokhraneniye i perspektivy ispol'zovaniya usadebno-parkovykh kompleksov kak ob'ektov izucheniya elementov kul'turnogo landshafta* [Conservation and prospects for the use of estates and park complexes as objects for studying elements of the cultural landscape]. Epistemologicheskie osnovaniya sovremennogo obrazovaniya: aktual'nye voprosy prodvizheniya fundamental'nogo znaniya v uchebnyy protsess: mater. Mezhdunarodnoy nauchno-prakticheskoy konferentsii–2020 Borisoglebskogo filiala FGBOU VO «VGU» [Epistemological foundations of modern education: current issues of promoting fundamental knowledge in the educational process: materials of the International Scientific and Practical Conference]. Borisoglebsk, October 15–16, 2020. Moscow: Pero, 2020, pp. 332–338.
- [30] Sokol'skaya O.B., Kuzin A.N. *Analiz sostoyaniya parka knyazey Volkonskikh v sele Vladykino Saratovskoy oblasti i rekomendatsii po ego ispol'zovaniyu* [Analysis of the state of the Volkonsky Princes Park in the village of Vladykino, Saratov region and recommendations for its use]. Vestnik Altayskogo gosudarstvennogo agrarnogo universiteta [Bulletin of Altai State Agrarian University], 2011, no. 2(76), pp. 51–57.
- [31] Belyankina N.A. *Zagorodnye usad'by Kostromskoy gubernii kontsa XVIII – nachala XX vekov* [Country estates of the Kostroma province of the late 18th – early 20th centuries]. Dis. Cand. Sci. (Architecture). Nizhny Novgorod: Nizhny Novgorod State University of Architecture and Civil Engineering, 2008, 24 p.
- [32] Kasatkina S.V. *Dvoryanskaya usad'ba kak tsentr khozyaystvennoy i kul'turnoy zhizni provintsii v 1861–1917 godakh (na primere usadeb Kostromskoy gubernii)* [Noble estate as the center of economic and cultural life of the province in 1861–1917 (using the example of estates in the Kostroma province)]. Dis. Cand. Sci. (Ist.). Ivanovo: Ivanovo State University, Shuisky branch, 2016, 20 p.
- [33] Sirotnina M.V., Muradova L.V., Chernyavin P.V., Chistyakov S.A. *O novom biosfernom rezervate «Kologrivskiy les»* [About the new biosphere reserve «Kologrivsky Forest»]. Vklad osobo okhranyaemykh prirodnikh territoriy v ekologicheskuyu ustoychivost' regionov: Sovremennoe sostoyanie i perspektivy: mater. II Vserossiyskoy konf., priurochennoy k 15-letiyu sozdaniya zapovednika «Kologrivskiy les» [Contribution of specially protected natural areas to the ecological sustainability of regions: Current state and prospects: mater. II All-Russian conference dedicated to the 15th anniversary of the creation of the Kologrivsky Forest reserve], Kologriv, October 28–29, 2021. Kologriv: State Reserve «Kologrivsky Forest», 2021, pp. 8–13.

Author's information

Lebedev Aleksandr Viacheslavovich — Dr. Sci. (Agriculture), Associate Professor of the Department of Land Organization and Forestry, Russian State Agrarian University — Moscow Timiryazev Agricultural Academy; Researcher, Kologrivsky Forest Nature Reserve, alebedev@rgau-msha.ru

Received 18.01.2024.

Approved after review 04.03.2024.

Accepted for publication 15.05.2024.

РЕЗУЛЬТАТЫ ИНВЕНТАРИЗАЦИИ ДРЕВЕСНЫХ НАСАЖДЕНИЙ МОСКВЫ НА ПРИМЕРЕ РАЙОНОВ ТВЕРСКОЙ, КОПТЕВО И ХОВРИНО

В.В. Соколова[✉], С.А. Сенатор, В.В. Гревцова

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

soka22@mail.ru

Представлены результаты анализа сплошной инвентаризации зеленых насаждений на озелененных территориях общего и ограниченного пользования районов Москвы — Тверского, Коптево и Ховрино. Установлено, что видовой состав деревьев и кустарников довольно однообразен — 83,6 % древесных и 73,4 % кустарниковых насаждений приходится на 10 преобладающих видов, типичных для озеленения. Облик зеленых насаждений сформирован, в основном, за счет видов-интродуцентов (56,5 % деревьев и 87,3 % кустарников). Из видов, внесенных в Красную книгу Российской Федерации отмечены *Acer japonicum* Thunb., *Taxus baccata* L. и *Armeniaca mandshurica* (Maxim.) Skvortsov. Наибольшее видовое разнообразие характерно для жилых дворов, где число видов в два раза выше, чем на улицах и в парках. Возрастная структура насаждений характеризуется преобладанием молодых, в возрасте до 20 лет (58,7 %), и средневозрастных — от 21 до 50 лет (33,8 %) деревьев. Выявлено, что с увеличением возраста ухудшается состояние насаждений. Жизненное состояние во дворах (категория состояния варьирует от 1,17 до 2,80) сходно с состоянием насаждений на улицах (категория состояния от 1,18 до 2,50). В парках состояние деревьев несколько лучше — категория состояния варьирует от 1,08 до 2,07. Преобладающая часть деревьев относится к группе ослабленных и сильно ослабленных (55,4 % в Тверском районе, 72,8 % в Коптево, 66,7 % в Ховрино). Наиболее высокая доля деревьев без признаков ослабления отмечена в Тверском районе — 43,5 %, в Коптево и Ховрино в хорошем состоянии только 23,4 % и 30,0 % насаждений, соответственно. Среди патологий и повреждений деревьев чаще всего встречаются сухие ветви в кроне (20,0 %) и наклон ствола (14,7 %). Кустарники в основном характеризуются хорошим состоянием, а наиболее частыми повреждениями для них являются сухие ветви (8,3 %) и механические повреждения (1,7 %).

Ключевые слова: древесные растения, сплошная инвентаризация, состояние зеленых насаждений, озеленение, городская среда, Москва

Ссылка для цитирования: Соколова В.В., Сенатор С.А., Гревцова В.В. Результаты инвентаризации древесных насаждений Москвы на примере районов Тверской, Коптево и Ховрино // Лесной вестник / Forestry Bulletin, 2024. Т. 28. № 4. С. 103–117. DOI: 10.18698/2542-1468-2024-4-103-117

Значение зеленых насаждений в сложных экологических условиях городской среды общеизвестна [1–7]. По данным аналитического доклада [8] в начале XXI в. промышленность и автотранспорт Москвы и Московской области потребляли кислорода в 10 раз больше, чем его продуцировала вся растительность региона. Можно ожидать дальнейшее ухудшение экологической ситуации, поскольку по данным Департамента развития по экономическим и социальным вопросам ООН в РФ, доля городского населения по сравнению с сельским будет возрастать на вполне европейском уровне [9]. Образование антропогенных ландшафтов способствует ухудшению экологической ситуации и росту экологических проблем городов. Это связано с чрезмерной концентрацией на сравнительно небольших территориях населения, транспорта и промышленных предприятий, что приводит к образованию антропогенных ландшафтов, далеких от состояния равновесия и способствует ухудшению эко-

логической ситуации и росту экологических проблем городов.

Проблемы зеленых насаждений в Москве освещены в работах [10–14]. Важный вклад в озеленение города вносит Главный ботанический сад им. Н.В. Цицина РАН, в котором вопросами городских насаждений занимались с первых лет его создания [15, 16]. Системный анализ объектов городского озеленения Москвы осуществляло ЗАО «Прима-М», результаты своей работы освещавшее в ежегодных аналитических докладах по мониторингу зеленых насаждений в Москве, которые издавались, начиная с 1998 г [8, 17–19]. Однако в 2007 г. программа была закрыта [7], и с 2008 г. инвентаризацией зеленого фонда Москвы и анализом полученной информации занимается АИС «Реестр зеленых насаждений» [20].

Установлено, что в видовом составе древесных растений Москвы на различных типах озелененных территорий преобладает липа сердцевидная *Tilia cordata* Mill. [17, 18, 21–23]. В районе Щукино преимущественно распространен клен ясенелистный *Acer negundo* L. (18 % общего объема



Рис. 1. Схема расположения обследованных районов на карте Москвы и учтенные зеленые насаждения на примере района Коптево

Fig. 1. Scheme of location of the surveyed areas on the map of Moscow and considered green spaces on the example of the Koptevo district

учтенных деревьев), после него — вяз шершавый *Ulmus glabra* Huds. (13 %), береза повислая *Betula pendula* Roth (9 %). Такой видовой состав свидетельствует об уровне ведения зеленого хозяйства [19].

Согласно Ю.К. Виноградовой [24], *Acer negundo* — одно из самых распространенных древесных растений в Москве, с 1970-х гг. начавшее внедряться в естественные растительные сообщества [25, 26]. *Acer negundo* способен произрастать в крайне неблагоприятных условиях городской среды, поэтому резкое сокращение численности данного вида, в особенности на территориях, где он доминирует, может привести к ухудшению экологической ситуации. В связи с этим посадку *Acer negundo* рекомендуется прекращать и поступательно снижать его численность в городских насаждениях [24].

Разработка системного подхода к составлению плана мероприятий в части озеленения и благоустройства и принятие управленческих решений по оптимизации системы зеленых насаждений должны базироваться на результатах мониторинга существующих зеленых насаждений [27–32].

Цель работы

Цель работы — обобщение данных инвентаризации зеленых насаждений для выявления

состава и состояния древесной и кустарниковой растительности в различных типах озелененных территорий Москвы, в частности в районах Тверском, Коптево и Ховрино.

Материалы и методы

В рамках работ, проведенных ГБУ «Жилищник» г. Москвы в 2017–2019 гг., были проанализированы данные по инвентаризации зеленых насаждений районов Тверского, Коптево и Ховрино. Инвентаризацию насаждений методом детального (сплошного) учета элементов растительности выполнила группа дендрологов на озелененных территориях общего (магистральных, улицах, бульварах, парках, скверах и садах) и ограниченного (придомовые территории жилой застройки) пользования общей площадью 288,16 га (рис. 1).

В сплошной перечень вошли 158 598 деревьев, 95 663 кустарника и 2008 лиан. Обследованные растения представлены 223 таксонами (виды и формы), относятся к 37 семействам и 85 родам. Из них 43 вида принадлежат аборигенной флоре, 180 видов — это интродуценты и культурные формы. Среди учтенных растений 173 вида и 14 форм являются лиственными, 17 видов и 19 форм — хвойными (табл. 1). Территориально Тверской район расположен в пределах Центрального административного округа и относится

Т а б л и ц а 1

Характеристика изученных объектов по районам
Characteristics of the studied objects by regions

Характеристика	Тверской	Коптево	Ховрино
Площадь учтенной озелененной территории, га: общего пользования: магистральи, улицы и бульвары	6,51	27,17	13,81
парки, скверы и сады	12,42	3,67	14,93
ограниченного пользования: придомовые территории жилой застройки	36,25	77,76	95,64
Обследовано древесных растений, шт.:			
деревья:			
лиственные	30 094	62 248	60 094
хвойные	2571	1349	2242
кустарники:			
лиственные	43 279	23 802	25 197
хвойные	957	164	256
лианы	1565	161	282

к центральной зоне города, районы Коптево и Ховрино расположены в Северном административном округе и относятся к срединной и периферийной зонам города соответственно.

Оценка состояния древесных насаждений проведена [33] по шести категориям: хорошее состояние — без признаков ослабления (1); удовлетворительное — ослабленное (2) и сильно-ослабленное (3); неудовлетворительное — усыхающее (4), сухостой текущего года (5) и сухостой прошлых лет (6).

Определяли следующие параметры: вид растения, высоту, диаметр ствола на высоте 1,3 м от поверхности земли, возраст и патологические отклонения.

Средневзвешенное значение K_{cp} по категории рассчитано для каждой породы по формуле

$$K_{cp} = \frac{(P_1K_1 + P_2K_2 + P_3K_3 + P_4K_4 + (P_5 + P_6)K_5)}{100},$$

где P_i — доля каждой категории состояния, %;

K_i — индекс категории: K_1 — здоровая, K_2 — ослабленная, K_3 — сильно ослабленная, K_4 — усыхающая, K_5 — сухостойная порода текущего года и прошлых лет.

Плотность насаждений вычисляли исходя из общего числа деревьев с диаметром ствола более 5 см и числа кустарников (включая растения, рекомендованные к сохранению, пересадке и удалению, шт. на разных типах озелененных территорий по формуле

$$P_d = \frac{Q_o}{S_o} \text{ и } P_k = \frac{Q_k}{S_o},$$

где P_d — плотность деревьев;

P_k — плотность кустарников;

Q_o — количество деревьев;

Q_k — количество кустарников;

S_o — площадь озелененных территорий.

Номенклатура таксонов приведена в соответствии со сводкой С.К. Черепанова [34].

Результаты и обсуждение

Проведен комплексный анализ зеленых насаждений по видовому составу, плотности, составу преобладающих древесных видов, возрастной структуре и общему состоянию.

Видовой состав. По числу используемых в озеленении видов обследованные районы незначительно различаются между собой, однако богатство ассортимента во всех районах зависит от типа озелененной территории. Наибольшее видовое разнообразие отмечено в дворах жилых домов, где число видов почти в 2 раза выше, чем на остальных категориях озеленения (рис. 2). Расширение ассортимента во дворах жилых домов происходит в основном за счет стихийных посадок жителей.

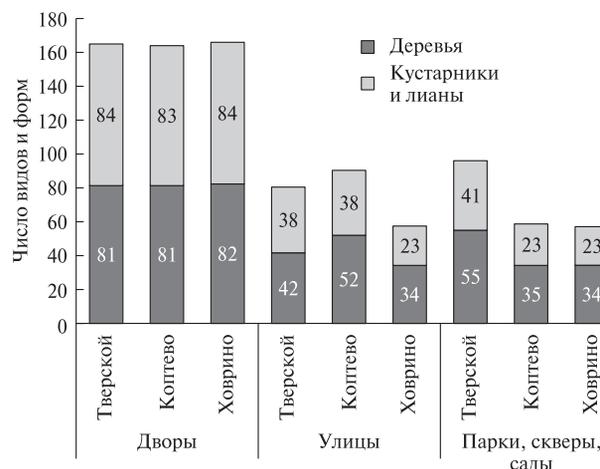
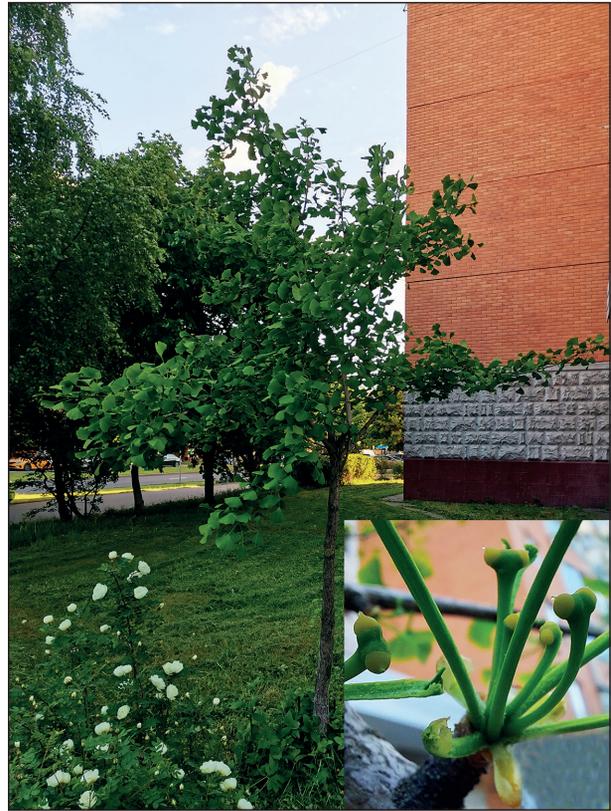


Рис. 2. Число видов и форм древесных растений по категориям озелененных территорий

Fig. 2. Number of species and forms of woody plants by categories of green areas



а



б



в



г

Рис. 3. Некоторые редкие для озеленения виды: а — *Catalpa ovata* G. Don; б — *Ginkgo biloba* L. и его мегастробилы; в — *Morus alba* L.; г — *Ilex aquifolium* L.

Fig. 3. Some species rare for landscaping: а — *Catalpa ovata* G. Don; б — *Ginkgo biloba* L. and its megastrobiles; в — *Morus alba* L.; г — *Ilex aquifolium* L.



а



б

Рис. 4. Виды, внесенные в Красную книгу Российской Федерации: а — *Acer japonicum* Thunb.; б — *Taxus baccata* L.

Fig. 4. Species listed in the Red Data Book of the Russian Federation: а — *Acer japonicum* Thunb.; б — *Taxus baccata* L.

Редкие для озеленения виды встречаются, как правило, единично или немногочисленными экземплярами. На территории Тверского района отмечены *Betula nana* L., *Laburnum anagyroides* Medik и *Magnolia sieboldii* K. Koch, в Коптево — *Ginkgo biloba* L., *Carpinus betulus* L., *Catalpa ovata* G. Don, *Magnolia kobus* DC., *Ilex aquifolium* L., *Robinia viscosa* Vent., *Aralia elata* (Miq.) Seem., в Ховрино — *Morus alba* L., *Paulownia tomentosa* (Thunb.) Steud., в Тверском и Ховрино — *Armeniaca vulgaris* Lam., *Syringa amurensis* Rupr., в Коптево и Ховрино — *Cotinus coggygria* Scop. и *Pinus sibirica* Du Tour, во всех трех районах встречаются *Phellodendron amurense* Rupr., *Acer pseudoplatanus* L., *Juglans regia* L., *Abies sibirica* Ledeb., *Buxus sempervirens* L. и *Rhus typhina* L. (рис. 3).

При проведении инвентаризации зарегистрировано лишь три вида, внесенных в Красную книгу Российской Федерации (рис. 4). К ним относятся пять экземпляров *Acer japonicum* Thunb. (категория 1 — находящиеся под угрозой исчезновения), 23 экземпляра *Taxus baccata* L. (категория 2 — сокращающиеся в численности), 4 экземпляра *Armeniaca mandshurica* (Maxim.) Skvortsov (категория 3 — редкие).

В составе зеленых насаждений преобладают интродуценты — к ним относится больше поло-

вины деревьев (56,5 %). Среди кустарников доля аборигенных растений крайне низкая — 17 % в Ховрино, 12 % в Тверском районе и 10 % в Коптево. Такая ситуация сложилась в результате планомерного обогащения видового состава зеленых насаждений ценными для озеленения древесными видами инорайонного происхождения. Все древесные лианы в изученных районах не относятся к природной флоре Московского региона и представлены весьма незначительно. Вертикальному озеленению больше внимания уделяется в Тверском районе, где преобладают дворы-колодцы и недостаточно места для посадки деревьев и кустарников (рис. 5). По числу экземпляров лианы в Тверском районе встречаются в 5 раз чаще, чем в Ховрино, и в 10 раз чаще, чем в Коптево.

Биоморфологическая структура насаждений в изученных районах различна. В Тверском районе в связи с большой плотностью застройки преобладают кустарники, а в районах Коптево и Ховрино деревьев почти в 2 раза больше, чем кустарников (рис. 6).

Плотность насаждений. Анализ плотности посадки показал, что размещение деревьев и кустарников в основном не отвечает нормативным требованиям (табл. 2). Нормы допустимого



Рис. 5. *Parthenocissus quinquefolia* (L.) Planch. в вертикальном озеленении Тверского района
 Fig. 5. *Parthenocissus quinquefolia* (L.) Planch. in vertical gardening of the Tverskoy district

количества деревьев даже без учета деревьев с диаметром ствола менее 5 см во всех районах превышены — в 3–4 раза в дворах жилых домов, в 1,5 раза — на улицах и в 2 раза — в парках, что приводит к общему ослаблению и снижению полезных функций насаждений. Плотность кустарников ниже нормы в Коптево и Ховрино — в 1,5 раза во дворах, в 4–10 раз в скверах и парках и в 6–7 раз на улицах. Приближается к норме плотность кустарников на улицах и в парках Тверского района, а во дворах в результате активной высадки саженцев плотность кустарников даже превышена в 2 раза.

Преобладающие виды древесных растений.

Ведущий ассортимент деревьев в изученных районах не отличается высоким разнообразием — на 10 преобладающих видов приходится 83,6 % всех изученных деревьев с диаметром ствола более 5 см. При этом наиболее распространенным видом во всех районах является *Acer negundo*. На дворовых территориях его доля доходит до 32,8 % в Тверском районе, 24,4 % в Коптево и 24,0 % в Ховрино (табл. 3). *Acer negundo* преобладает и в насаждениях улиц, скверов и парков районов Коптево и Ховрино. В Тверском районе *Tilia cordata* занимает лидирующее положение только на территориях проездов (33,0 %) и в насаждениях парков, скверов и садов (30,0 %), однако на данные типы приходится только 6,6 % всей обследованной озелененной территории.

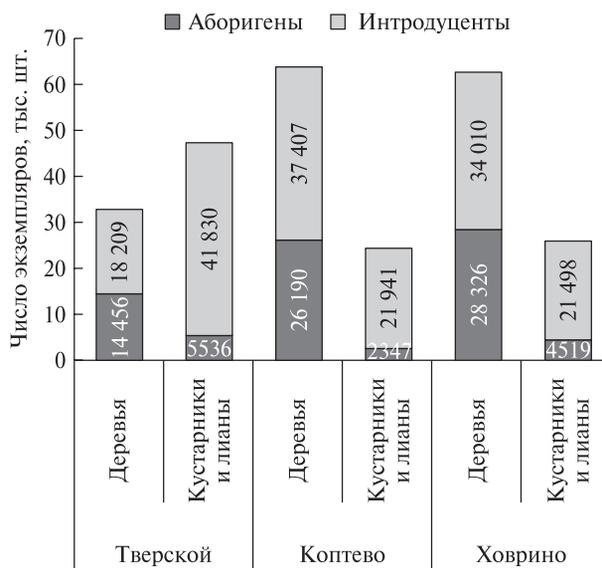


Рис. 6. Соотношение местных и интродуцированных древесных растений в насаждениях районов
 Fig. 6. The ratio of native and introduced woody plants in the plantations of the districts

Помимо основных видов в изученных районах часто встречаются *Malus domestica* (Suckow) Borkh. (доля участия среди деревьев с диаметром ствола более 5 см — 2,1 %), *Ulmus laevis* Pall. (1,8 %), *Aesculus hippocastanum* L. (1,5 %), *Tilia platyphyllos* Scop. (1,3 %), *Prunus domestica* L. (1,1 %), *Padus avium* Mill. (1,0 %), *Ulmus pumila* L.

Т а б л и ц а 2

**Плотность насаждений на озелененных территориях районов
(фактическая и рекомендуемая по данным МГСН 1.02-02 [35])**

Density of plantings in the green areas of the districts (actual and recommended according to MGSN 1.02-02 [35])

Насаждения	Тверской			Коптево			Ховрино			Рекомендуемая плотность насаждений по данным МГСН 1.02-02		
	Дворы	Улицы	Парки и скверы	Дворы	Улицы	Парки и скверы	Дворы	Улицы	Парки и скверы	Дворы	Улицы	Парки и скверы
Деревья	390	291	293	442	269	391	368	173	316	100–120	150–180	120–170
Кустарники	965	512	729	262	110	244	245	88	93	400–480	600–720	800–1000

Т а б л и ц а 3

**Доля участия (%) преобладающих видов деревьев (с диаметром ствола более 5 см)
на основных типах озелененных территорий**

Participation share (%) of the dominant tree species (with a trunk diameter of more than 5 cm) in the main types of green areas

Вид	Тверской			Коптево			Ховрино			Сумма
	Дворы	Улицы	Парки, скверы и сады	Дворы	Улицы	Парки и скверы	Дворы	Улицы	Парки и скверы	
<i>Acer negundo</i> L.	32,8	12,6	6,7	24,4	27,4	26,2	24,0	32,6	19,0	24,8
<i>Acer platanoides</i> L.	8,7	5,1	14,3	14,0	13,0	11,4	12,3	7,5	4,5	11,9
<i>Tilia cordata</i> Mill.	12,3	32,9	30,0	9,0	11,6	9,3	7,4	13,6	2,2	10,1
<i>Betula pendula</i> Roth	4,9	2,2	3,7	8,5	3,2	4,7	13,9	3,9	11,7	9,2
<i>Fraxinus pennsylvanica</i> Marshall	10,5	16,0	9,3	9,9	11,8	10,7	6,2	7,9	9,5	8,9
<i>Populus balsamifera</i> L.	6,7	7,0	8,6	7,9	9,0	3,3	5,1	7,8	2,4	6,6
<i>Salix fragilis</i> L.	0,7	2,5	0,6	2,6	1,2	0,1	6,1	3,8	17,7	4,0
<i>Cerasus vulgaris</i> Mill.	1,3	0	0,1	3,5	0,2	10,7	4,1	1,5	0,8	2,9
<i>Crataegus sanguinea</i> Pall.	3,8	0,3	0,3	2,9	3,5	2,2	2,9	0,9	0,1	2,7
<i>Sorbus aucuparia</i> L.	2,6	1,0	3,7	2,2	0,7	1,3	3,7	1,5	0,4	2,6
Остальные	15,7	20,4	22,6	15,1	18,5	20,0	14,3	18,9	31,6	16,4

(0,9 %), *Larix decidua* Mill. (0,6 %), *Fraxinus excelsior* L. (0,6 %), *Quercus robur* L. (0,6 %), *Pyrus communis* L. (0,5 %).

Суммарная доля участия хвойных растений незначительна — из всех изученных деревьев с диаметром ствола более 5 см доля хвойных деревьев составляет только 1,7 %. Среди них по числу экземпляров преобладает *Larix decidua* Mill. (668 экз.). Кроме того, высока доля *Thuja occidentalis* L. (324 экз.), *Pinus sylvestris* L. (283 экз.), *Picea abies* (L.) Н. Karst. (181 экз.) и *Picea pungens* Engelm. (169 экз.). Иногда встречаются крупные экземпляры в хорошем состоянии, которые приурочены в основном к открытым солнечным местам во дворах, парках и на улицах со слабым автомобильным движением (рис. 7). Основная часть хвойных деревьев — это молодые саженцы

с диаметром ствола менее 5 см, на них приходится 71 % общего числа учтенных хвойных. Чаше всего высаживают *Thuja occidentalis* (1709 экз.), *Picea abies* (1220 экз.) и *Pinus sylvestris* (494 экз.).

Наиболее крупные экземпляры хвойных деревьев отмечены в районе Ховрино в парке Грачевка, где *Larix decidua* достигает высоты 26 м и диаметра ствола 96 см. Доля хвойных среди кустарников также невелика — 1,4 %, в основном встречаются различные виды и сорта можжевельника (1346 экз.).

Состав используемых кустарников в обследованных районах в целом сходен и не отличается большим разнообразием — на 10 основных видов приходится 73,4 % всех кустарниковых насаждений. Основу посадок в Тверском районе составляет *Cotoneaster lucidus* Schldtl. (32,6 %), который там



а



б

Рис. 7. Хвойные растения в озеленении района Коптево: а — *Picea abies* (L.) Н. Karst.;

б — *Pinus sylvestris* L.

Fig. 7. Coniferous plants in the landscaping of the Koptevo district: а — *Picea abies* (L.) Н. Karst.;

б — *Pinus sylvestris* L.

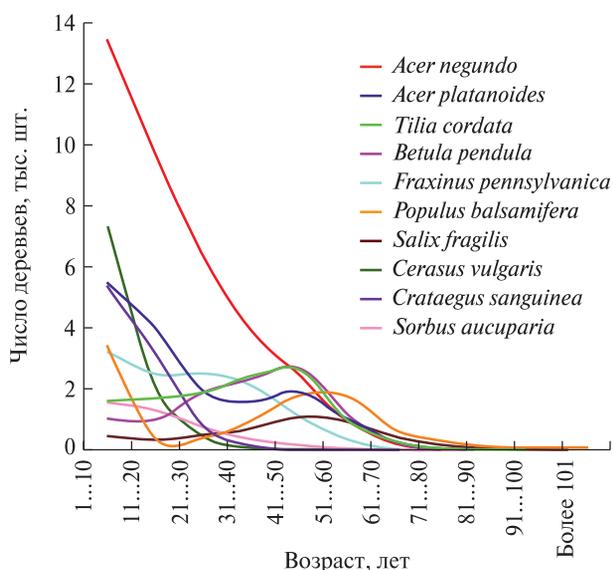


Рис. 8. Возрастная структура наиболее распространенных видов деревьев

Fig. 8. Age structure of the most common tree species

активно высаживается. *Syringa vulgaris* L. наиболее распространена в Коптево (27,2 %) и Ховрино (20,6 %). Чаще всего в озеленении встречаются устойчивые и проверенные в культуре виды кустарников, такие как *Philadelphus coronaries* L.,

Symphoricarpos albus (L.) S.F. Blake, *Spiraea japonica* L. f. и др. (табл. 4). Насаждения древесных лиан практически полностью представлены *Parthenocissus quinquefolia* (L.) Planch. — 93 % всех выявленных лиан. Изредка встречаются *Lonicera caprifolium* L., *Vitis amurensis* Rupr. и *Actinidia arguta* (Siebold & Zucc.) Planch. ex Miq.

Возрастная структура. Преобладающие возрастные группы в обследованных районах — молодые деревья в возрасте от 1 до 20 лет (58,7 %) и средневозрастные деревья в возрасте от 21 до 50 лет (33,8 %). На старовозрастные деревья (51...70 лет) приходится только 6,5 % насаждений, а доля деревьев старше 71 года еще ниже — 1,0 %, т. е. в условиях урбанизации отмирание деревьев начинается гораздо раньше, чем в естественных условиях (рис. 8). Самыми старыми среди обследованных являются деревья *Quercus robur* старше 100 лет — 55 экземпляров, а возраст 10 деревьев приближается к 200 годам. Следует отметить, что во дворах деревья живут на 5...40 лет дольше, чем в уличных посадках.

Основная часть деревьев *Acer negundo* и *A. platanoides* находится в молодом возрасте — к возрастной группе от 1 до 20 лет относятся 62,5 и 58,5 % их насаждений соответственно, что является следствием сохранения самосеменных

Доля участия (%) преобладающих видов кустарников
на основных типах озелененных территорий
Share (%) of dominant shrub species in the main types of green areas

Вид	Тверской			Коптево			Ховрино			Сумма
	Дворы	Проез- ды	Парки, скверы и сады	Дворы	Проез- ды	Парки и скве- ры	Дворы	Проез- ды	Парки и скве- ры	
<i>Cotoneaster lucidus</i> Schldtl.	34,1	37,2	25,0	5,5	17,2	21,1	7,6	36,9	4,2	20,0
<i>Syringa vulgaris</i> L.	11,1	6,6	9,0	28,5	19,7	24,3	22,2	4,0	8,8	17,3
<i>Philadelphus coronarius</i> L.	5,2	2,5	1,9	10,8	3,5	11,9	7,1	0,7	2,9	6,4
<i>Symphoricarpos albus</i> (L.) S.F. Blake	2,6	3,8	1,9	10,7	8,6	3,8	8,4	9,1	0,6	5,9
<i>Spiraea japonica</i> L. f.	3,0	9,3	11,7	6,6	5,5	5,1	5,6	4,7	13,2	5,7
<i>Rosa cinnamomea</i> L.	4,4	1,0	0,6	6,0	0,1	0	9,7	0	0	5,2
<i>Physocarpus opulifolius</i> (L.) Maxim.	3,4	7,8	2,4	2,8	7,0	11,1	5,6	4,5	2,7	4,1
<i>Syringa josikaea</i> J. Jacq. ex Reichenb.	4,3	0,3	0,6	4,4	6,4	0,3	2,5	0	0,4	3,4
<i>Swida alba</i> (L.) Opiz	4,3	1,7	5,0	0,9	0,5	0,8	2,1	4,1	5,6	2,9
<i>Caragana arborescens</i> Lam.	1,5	0,4	0	4,2	13,4	2,6	2,6	6,3	2,3	2,6
Остальные	26,0	29,3	41,8	19,7	17,9	19,0	26,7	29,8	59,3	26,6

растений как в 1990-х годах, так и в недавнем прошлом. *Acer platanoides* по сравнению с *A. negundo* в культуре более долговечен — 19,9 % его экземпляров имеют возраст 41...100 лет, тогда как в возрастную категорию 41...90 лет попадает только 9,8 % деревьев *A. negundo*.

Возрастная структура *Tilia cordata* практически совпадает с возрастной структурой *Betula pendula*. Наибольшая часть насаждений данных видов относится к возрастной группе 31...50 лет — 43,4 и 48,6 % соответственно. Доля деревьев старше 71 года невысока как у липы, так и у березы — 3,3 и 2,7 % соответственно. Самое старое дерево *Tilia cordata* в возрасте 120 лет отмечено на территории сада «Эрмитаж» в Тверском районе, а *Betula pendula* в возрасте 100 лет — в парке Грачевка в Ховрино.

Основная часть (87,0 %) насаждений *Fraxinus pennsylvanica* представлена преимущественно экземплярами в возрасте до 40 лет. Более старые деревья уничтожены в основном ясеневой златкой — в возрастной диапазон 51...100 лет попадает только 3,3 % его насаждений.

Преобладающий возраст *Populus balsamifera* и *Salix fragilis* — от 41 до 60 лет (35,6 и 42,7 % соответственно). Среди насаждений тополя велика доля растений в возрасте до 10 лет (34,1 %), что связано с его способностью образовывать многочисленную поросль. Наибольшее число деревьев-долгожителей в обследованных районах, помимо *Quercus robur*, относится к данным видам — старше 100 лет 89 экземпляров *Populus balsamifera* (0,9 % его насаждений) и 10 экземпляров *Salix fragilis* (0,2 % насаждений).

Cerasus vulgaris, *Crataegus sanguinea* и *Sorbus aucuparia* (94,3 %, 89,7 и 67,5 % соответственно) преимущественно представлены 1–20-летними экземплярами. Данные породы недолговечны в условиях города — возраста 41...60 лет достигло только 0,1 % насаждений *Cerasus vulgaris*, возраста 51...70 лет — 0,1 % *Crataegus sanguinea* и возраста 61...80 лет — 1,1 % насаждений *Sorbus aucuparia*.

Среди кустарников преобладают молодые растения в возрасте до 20 лет — на них приходится 99,4 % всех кустарниковых насаждений. В Тверском районе, благодаря активной посадке саженцев, 86,6 % кустарников не старше 5 лет, тогда как в Ховрино и Коптево к кустарникам моложе 5 лет относится только 46,4 и 42,5 % их насаждений соответственно.

Состояние. Анализ состояния деревьев с диаметром ствола более 5 см показал, что большая их часть относится к категориям ослабленных и сильно ослабленных (55,4 % в Тверском, 72,8 % в Коптево, 66,7 % в Ховрино). Доля деревьев без признаков ослабления наиболее высокая в Тверском районе — 43,5 %, в Ховрино и Коптево в хорошем состоянии 30,0 и 23,4 % насаждений, соответственно. Суммарная доля усыхающих и сухостойных деревьев не велика, в Коптево и Ховрино она составляет 3,8 и 3,3 % соответственно, тогда как в Тверском районе — только 1,0 %. Таким образом, древесные насаждения в Тверском районе относительно районов Коптево и Ховрино благодаря хорошему уходу имеют лучшее состояние. В целом по изученным районам

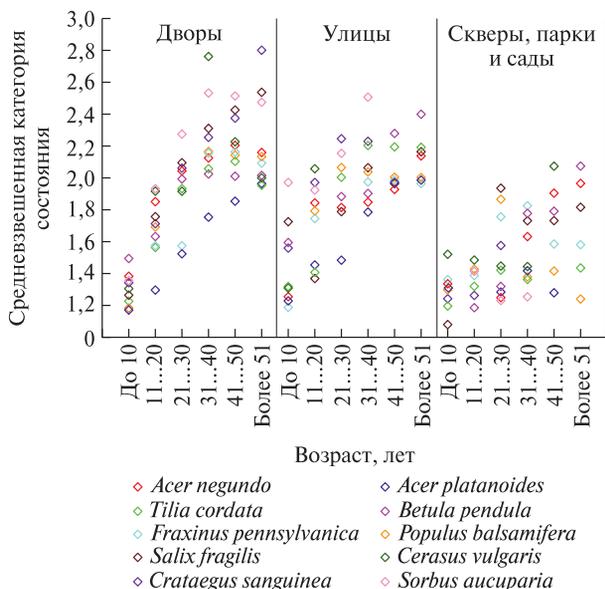


Рис. 9. Средневзвешенная категория состояния преобладающих видов деревьев по категориям озелененных территорий

Fig. 9. The weighted average category of the state of the prevailing tree species by categories of green areas

отмечено наибольшее число растений в хорошем состоянии среди преобладающих видов деревьев с диаметром ствола более 5 см у *Acer platanoides* — 55,3 %, наименьшее у *Salix fragilis* — 16,4 %.

Основная часть (87,4 %) молодых саженцев имеет хорошее состояние, удовлетворительное — 11,9 % саженцев, и неудовлетворительное — только 0,7 % молодых посадок. Значительная доля саженцев (78,1 %) в обследованных районах приходится на следующие виды: *Picea abies* (489 экз.), *Acer platanoides* (463 экз.), *Aesculus hippocastanum* (462 экз.), *Tilia cordata* (442 экз.), *Sorbus aucuparia* (384 экз.), *Betula pendula* (197 экз.), *Quercus robur* (175 экз.), *Pinus sylvestris* (163 экз.), *Fraxinus pennsylvanica* (138 экз.), *Malus domestica* (132 экз.), *Thuja occidentalis* (130 экз.) и *Quercus rubra* L. (108 экз.).

В городской среде отмечено ухудшение состояния основных пород деревьев по мере увеличения их возраста (рис. 9). Жизненное состояние насаждений во дворах (категория состояния варьирует от 1,17 до 2,80) сходно с состоянием насаждений в уличных посадках (категория состояния варьирует от 1,18 до 2,50). Во дворах основным фактором ослабления выступает чрезмерная загущенность насаждений, а на улицах — повышенные антропогенно-техногенные нагрузки. В парках, скверах и садах состояние деревьев несколько лучше (категория состояния варьирует от 1,08 до 2,07).

В насаждениях деревьев встречаемость патологических признаков и повреждений располагается в порядке убывания следующим образом:

сухие ветви в кроне (20,0 %) → наклон ствола (14,7 %) → наличие двух и более стволов (11 %) → спиленная вершина (5,9 %) → сухобочины (4,9 %) → механические повреждения (4,8 %) → развилка ствола (3,8 %) → искривление ствола (3,7 %) → суховершинность (1,1 %) → аварийный наклон ствола (0,8 %) → стволые дупла (0,7 %) → отслоения коры (0,6 %) → каповые наросты (0,4 %) → морозобойные трещины (0,4 %) → наличие плодовых тел древоразрушающих грибов (0,3 %) → стволые гнили (0,2 %) → комлевые дупла (0,1 %).

Среди деревьев ведущего ассортимента, сухие ветви в кроне чаще всего встречаются в насаждениях *Salix fragilis* (43,9 %), *Tilia cordata* (36,7 %) и *Betula pendula* (36,1 %) (табл. 5). Наклон ствола характерен в основном для *Acer negundo* (29,3 %) и *Salix fragilis* (23,1 %). Кроме того, данные виды более других склонны к образованию аварийного наклона ствола — этот дефект отмечен у 2,8 % экземпляров *Acer negundo* и 1,4 % экземпляров *Salix fragilis*. К нежелательному признаку мы отнесли многоствольность, так как в условиях города она снижает ветроустойчивость, затрудняет уход, способствует разлому дерева. Наличие двух и более стволов наиболее часто встречается у *Salix fragilis* (25,3 %), *Sorbus aucuparia* (18,4 %) и *Acer negundo* (15,9 %). Такая патология формы ствола, как развилка в большей степени свойственна *Tilia cordata* (6,8 %) и *Acer negundo* (6,3 %), а искривление ствола — *Acer negundo* (7,6 %) и *Betula pendula* (5,0 %). Наибольший процент суховершинных деревьев (5,9 %) и деревьев с отслоением коры (2,8 %) отмечен среди насаждений *Fraxinus pennsylvanica*, что обусловлено его поражением ясеневой златкой. Сухобочины наиболее характерны для *Betula pendula* (11,3 %), *Salix fragilis* (9,1 %), *Fraxinus pennsylvanica* (8,0 %) и *Tilia cordata* (7,0 %). Реже встречаются стволые дупла, комлевые дупла и стволые гнили, данные патологии в большей степени свойственны *Salix fragilis* (3,5 %, 0,7 % и 1,5 % соответственно) и *Populus balsamifera* (1,8 %, 0,4 % и 0,6 % соответственно), а морозобойные трещины зафиксированы в основном у *Acer platanoides* (1,0 %) и *Tilia cordata* (0,9 %). По наличию плодовых тел грибов *Salix fragilis* (6,2 %) значительно опережает другие виды, а по образованию каповых наростов во всех районах лидирует *Acer negundo* (1,5 %).

Наличие патологических признаков антропогенного характера (поранения ствола, спилы, сломанные ветви и вершины) зависит от случайных факторов, древесные виды подвергаются механическим повреждениям практически в равной степени. Более высокий процент их отмечен у *Salix fragilis* (12,1 %), *Sorbus aucuparia* (7,7 %), *Tilia cordata* (7,0 %) и у *Betula pendula* (6,9 %).

Таблица 5

**Встречаемость патологических признаков и повреждений
у преобладающих видов деревьев (%)**
The occurrence of pathological signs and damage in dominant tree species (%)

Показатель	<i>Acer negundo</i>	<i>Acer platanoides</i>	<i>Tilia cordata</i>	<i>Betula pendula</i>	<i>Fraxinus pennsylvanica</i>	<i>Populus balsamifera</i>	<i>Salix fragilis</i>	<i>Cerasus vulgaris</i>	<i>Crataegus sanguinea</i>	<i>Sorbus aucuparia</i>
Сухие ветви	16,0	13,8	36,7	36,1	18,3	22,0	43,9	12,0	14,8	13,7
Ствол наклонен	29,3	6,2	6,3	12,2	11,5	11,9	23,1	7,9	6,2	6,0
Более двух стволов	15,9	5,9	8,6	7,4	11,8	5,4	25,3	9,4	8,3	18,4
Вершина спилена	5,3	2,0	2,1	4,0	19,9	25,0	6,0	1,8	2,8	2,0
Сухобочины	3,6	5,8	7,0	11,3	8,0	6,6	9,1	1,6	1,4	5,2
Механические повреждения	3,0	4,4	7,0	6,9	5,0	5,9	12,1	2,8	3,1	7,7
Развилка ствола	3,4	6,3	6,8	2,5	3,0	4,3	5,3	0,8	0,9	5,5
Искривление ствола	7,6	2,8	3,5	5,0	3,0	2,8	1,7	1,6	1,2	1,1
Суховершинность	0,3	0,3	1,0	2,3	5,9	0,5	1,2	0,3	0,1	1,4
Аварийный наклон ствола	2,8	0,04	0,1	0,1	0,1	0,3	1,4	0,5	0,2	0,3
Дупла на стволе	0,5	0,4	1,6	0,7	0,5	1,8	3,5	0,2	0,4	0,5
Отслоение коры	0,2	0,1	0,5	0,2	2,8	0,4	1,7	0,1	0,1	1,4
Каповые наросты	1,5	0,04	0,2	0,02	0,03	0,1	0,02	0,01	0	0
Морозобойные трещины	0,2	1,0	0,9	0,1	0,3	0,4	0,7	0	0,1	0,2
Наличие плодовых тел грибов	0,1	0,02	0,1	0,2	0,04	0,1	6,2	0,1	0,02	0
Стволовая гниль	0,2	0,1	0,5	0,1	0,2	0,6	1,5	0,01	0,02	0,4
Комлевое дупло	0,1	0,1	0,1	0,1	0,04	0,4	0,7	0,01	0,1	0

По числу деревьев с удаленной вершиной лидируют *Populus balsamifera* (25,0 %) и *Fraxinus pennsylvanica* (19,9 %), причем *Populus balsamifera* наиболее часто подвергался кронированию в Коптево — 46,9 % деревьев кронировано, меньше в Тверском районе — 13,1 % и в Ховрино — 6,5 %.

Подавляющее большинство кустарников (76,3 % в Тверском районе, 67,8 % в Коптево и 68,0 % в Ховрино) имеют хорошее состояние. На сильно ослабленные и сухостойные растения приходится только 1,0 % всех обследованных кустарников. Преобладающими патологическими отклонениями среди кустарниковых насаждений являются в основном сухие ветви (8,3 %) и механические повреждения (1,7 %).

Выводы

Выявлена тенденция постепенной замены полезных видов на относительно малоценный вид — *Acer negundo*. Причем доля *Acer negundo*, по всей вероятности, увеличится, если в анализ включить промышленно-производственные зоны. Отсутствие документов, предписывающих удаление самосевных растений данного вида, способствует его дальнейшему неконтролируемому распространению.

Видовой состав деревьев и кустарников остается довольно однообразным — основная масса (83,6 %) насаждений деревьев приходится на 10 преобладающих видов, так же, как и большая часть кустарниковых насаждений (73,4 %) представлена 10 видами, типичными для городского озеленения, хотя климатические условия позволяют использовать довольно широкий рекомендуемый ассортимент декоративных видов. Слабо развито вертикальное озеленение, практически не встречаются редкие и охраняемые виды, внесенные в Красную книгу Российской Федерации.

Хвойные породы в составе насаждений представлены крайне бедно, однако они вполне успешно могут произрастать на открытых местах во дворах, парках, скверах, садах и на улицах со слабым автомобильным движением. На озелененных территориях необходимо провести испытание устойчивых высокодекоративных видов-интродуцентов, которые не склонны к образованию спонтанных популяций.

Для получения полной картины по составу и состоянию зеленых насаждений, составления прогноза их изменения и принятия управленческих решений по оптимизации насаждений требуется дальнейшее проведение анализа инвентаризации во всем городе.

Работа выполнена в рамках госзадания ГБС РАН «Биологическое разнообразие природной и культурной флоры: фундаментальные и прикладные вопросы изучения и сохранения» (№122042700002-6).

Список литературы

- [1] Евстратова Л.Г., Шрамченко Д.И. Применение методов геоинформационного моделирования при анализе рекреационного потенциала городской территории // Землеустройство, кадастр и мониторинг земель, 2023. № 7. С. 430–435.
- [2] Румянцев Д.Е., Кузнецов Б.А., Новоселов В.В., Мелихова М.А. Анализ изменчивости радиального прироста у деревьев — памятников природы в урбанизированной среде Москвы // Hortus Botanicus, 2021. Т. 16. С. 178–199.
- [3] Журавлева Е.В., Фурсов С.В. Задачи ботанических садов России: от сохранения растительных биоресурсов до экологического воспитания населения // Садоводство и виноградарство, 2019. № 3. С. 43–51. DOI: 10.31676/0235-2591-2019-3-43-51
- [4] Рыбакова М.В., Зверева М.М. Экологическая обстановка в Москве: оценка динамики общественного мнения по результатам опросов 2013–2022 гг. // Власть, 2022. Т. 30. № 5. С. 156–162.
- [5] Резник С.М., Резник Г.П. Оптимизация плотности и структуры зеленых насаждений в жилых районах Москвы // Плодоводство и ягодоводство России, 2003. Т. 10. С. 401–406.
- [6] Костина М.В., Ясинская О.И., Барабанщикова Н.С. Разработка научно-обоснованного подхода использования клена ясенелистного (*Acer negundo* L.) в озеленении Москвы // Социально-экологические технологии, 2017. № 3. С. 51–64.
- [7] Якубов Х.Г. К 20-летию мониторинга зеленых насаждений в Москве и конференции «Проблемы озеленения крупных городов» // Проблемы озеленения крупных городов: Материалы XX междунар. науч.-практ. форума. М.: Перо, 2018. С. 9–13.
- [8] Состояние зеленых насаждений в Москве (по данным мониторинга 2000 г.). Аналитический доклад / под ред. Х.Г. Якубова. М.: Прима-М, 2001. 290 с.
- [9] The Population Division of the Department of Economic and Social Affairs of the United Nations. URL: <https://population.un.org/wup/Country-Profiles/> (дата обращения 03.06.2023).
- [10] Грохольская В.С. О подборе ассортимента древесных растений для озеленения населенных мест // Проблемы советского градостроительства, 1963. № 14. С. 10–26.
- [11] Машинский Л.О. Озеленение городов. М.: Изд-во АН СССР, 1951. 254 с.
- [12] Новожилова В.А., Опекунова М.И. Итоги интродукции декоративных деревьев и кустарников. М.: Изд-во Министерства коммунального хозяйства РСФСР, 1955. 116 с.
- [13] Плотникова Л.С., Якушина Е.И. Совершенствование ассортимента зеленых насаждений города Москвы и их роли в оптимизации среды // Бюллетень Главного ботанического сада, 1995. Вып. 171. С. 72–77.
- [14] Якушина Э.И. Древесные растения в озеленении Москвы. М.: Наука, 1982. 156 с.
- [15] Лапин П.И. Вклад ботанических садов СССР в дело озеленения городов и населенных пунктов // Бюллетень Главного ботанического сада, 1963. Вып. 51. С. 3–11.
- [16] Цицин Н.В. О научной работе по озеленению и декоративному садоводству // Бюллетень Главного ботанического сада, 1954. Вып. 18. С. 3–12.
- [17] Состояние зеленых насаждений в Москве (по данным мониторинга 1997 г.). Аналитический доклад / под ред. Х.Г. Якубова. М.: Прима-Пресс, 1998. 239 с.
- [18] Состояние зеленых насаждений в Москве (по данным мониторинга 2004 г.). Аналитический доклад / под ред. Х.Г. Якубова. М.: Прима-М; Стагирит-Н, 2005. 200 с.
- [19] Состояние зеленых насаждений в Москве (по данным мониторинга 2001 г.). Аналитический доклад / под ред. Х.Г. Якубова. М.: Прима-М; Прима-Пресс-М, 2002. 336 с.
- [20] Постановление Правительства Москвы № 461-ПП «Об автоматизированной информационной системе «Рестр зеленых насаждений» от 12 августа 2014 г. URL: <https://www.mos.ru/authority/documents/doc/3161220/> (дата обращения 05.08.2023).
- [21] Букина Е.С., Ханбабаева О.Е. Оценка состояния древесных насаждений, произрастающих вдоль МКАД (г. Москва) // Тенденции развития науки и образования, 2023. № 93–6. С. 164–168.
- [22] Кочарян К.С. Эколого-экспериментальные основы зеленого строительства в крупных городах Центральной части России (на примере г. Москвы). М.: Наука, 2000. 184 с.
- [23] Якубов Х.Г. Мониторинг состояния зеленых насаждений в Москве в 1997–2006 гг. // Проблемы озеленения крупных городов / под ред. Х.Г. Якубова. М.: Прима-М, 2007. С. 14–18.
- [24] Виноградова Ю.К., Майоров С.Р., Костина М.В. Клен ясенелистный (*Acer negundo* L.): Морфология, биология и оценка инвазивности. М.: Товарищество научных изданий КМК, 2022. 218 с.
- [25] Румянцев Д.Е., Фролова В.А. Методологические подходы к изучению разнообразия экосистемных услуг зеленых насаждений в мегаполисе // Международный научно-исследовательский журнал, 2019. № 10–2 (88). С. 28–34.
- [26] Зиновьева О.А. Современные тенденции правового регулирования защиты зеленых насаждений в городах федерального значения Российской Федерации // Вестник Университета имени О.Е. Кутафина (МГЮА), 2019. № 1 (53). С. 129–136.
- [27] Горецкая А.Г., Топорина В.А. Элементы природно-экологического каркаса г. Москвы // Естественные и технические науки, 2019. № 8 (134). С. 125–128.
- [28] Кулакова С.А. Оценка состояния зеленых насаждений города // Географический вестник, 2012. № 4 (23). С. 59–66.
- [29] Сапелин А.Ю. Редкие виды древесных растений, встречающиеся в озеленении г. Москвы // Лесной вестник / Forestry Bulletin, 2021. Т. 25. № 2. С. 73–80. DOI: 10.18698/2542-1468-2021-2-73-80.
- [30] Перельгин Ю.А., Суворова Д.В., Яковлева Н.А. Опыт применения передовых методик инвентаризации зеленых насаждений в городе Белгороде // Научный Альманах ассоциации France-Kazakhstan, 2023. № 1. С. 158–165.
- [31] Самохвалов К.В., Рысин С.Л. Видовой состав деревьев в зеленых насаждениях города Чебоксары // Лесохозяйственная информация, 2017. № 4. С. 65–72. DOI: 10.24419/LNI.2304-3083.2017.4.07
- [32] Гиясов А., Баротов Ю.Г. Роль зеленых насаждений в оздоровлении микроклимата городской застройки южных районов // Экология урбанизированных территорий, 2018. № 3. С. 90–97.
- [33] Постановление Правительства Москвы №743-ПП «Правила создания, охраны и содержания зеленых насаждений г. Москвы» от 10 сентября 2002 г. URL: [https://www.mos.ru/upload/documents/oiv/10092002-_743_pp\(1\).pdf](https://www.mos.ru/upload/documents/oiv/10092002-_743_pp(1).pdf) (дата обращения 05.08.2023).

- [34] Черепанов С.К. Сосудистые растения России и сопредельных государств. СПб.: Мир и семья, 1995. 992 с.
- [35] Постановление Правительства Москвы №623–ПП «Об утверждении Норм и правил проектирования

комплексного благоустройства на территории города Москвы МГСН 1.02-02» от 06.08.2002. URL: <https://docs.cntd.ru/document/1200029835> (дата обращения 05.08.2023).

Сведения об авторах

Соколова Виктория Владимировна [✉] — канд. с.-х. наук, науч. сотр., ФГБУН «Главный ботанический сад им. Н.В. Цицина Российской академии наук» (ГБС РАН), soka22@mail.ru

Сенатор Степан Александрович — канд. биол. наук, вед. науч. сотр., ФГБУН «Главный ботанический сад им. Н.В. Цицина Российской академии наук» (ГБС РАН), senator@gbasad.ru

Гревцова Вера Вячеславовна — мл. науч. сотр., ФГБУН «Главный ботанический сад им. Н.В. Цицина Российской академии наук» (ГБС РАН), vera3128@mail.ru

Поступила в редакцию 15.09.2023.

Одобрено после рецензирования 22.02.2024.

Принята к публикации 15.05.2024.

TREE PLANTS INVENTORY IN MOSCOW IN TVERSKOY, KOPTevo AND KHOVRINO DISTRICTS

V.V. Sokolova [✉], S.A. Senator, V.V. Grevtsova

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

soka22@mail.ru

The analysis results of the continuous inventory of green spaces of public and limited use in the Tverskoy, Koptevo and Khovrino districts of Moscow city are presented. It has been established that the trees and shrubs species composition is quite monotonous. 83,6 % of tree and 73,4 % of shrubs stands are represented by 10 predominant species typical for landscaping. The appearance of green spaces is formed mainly due to the introduced species (56,5 % of trees and 87,3 % of shrubs). Of the species included in the Red Book of the Russian Federation, *Acer japonicum* Thunb., *Taxus baccata* L. and *Armeniaca mandshurica* (Maxim.) Skvortsov have been noted. The greatest species diversity was observed in residential courtyards, where the number of species is 2 times higher than in streets and parks. The age structure of the plantings is characterized by a predominance of young trees under 20 years old (58,7 %) and middle-aged trees from 21 to 50 years old (33,8 %). As age increases, the condition of plantings deteriorates. The condition of plants in courtyards (condition category varies from 1,17 to 2,80) is similar to the condition of plantings in the streets (condition category 1,18...2,50). In parks, the condition of trees is slightly better where the condition category varies from 1,08 to 2,07. The predominant part of the trees belongs to the group of weakened and severely weakened (55,4 % in Tverskoy district, 72,8 % in Koptevo, 66,7 % in Khovrino). The highest proportion of trees without signs of weakening was noted in the Tverskoy district (43,5 %). In Khovrino and Koptevo only 30,0 % and 23,4 % of plantings were in good condition, respectively. Among the pathologies and damage to trees, the most common are dry branches in the crown (20,0 %), trunk tilt (14,7 %) and the presence two or more trunks (11,0 %). Shrubs are generally characterized by good condition, the most common damage for them are dry branches (8,3 %) and mechanical damage (1,7 %).

Keywords: woody plants, detailed inventory, state of green spaces, landscaping, urban environment, Moscow

Suggested citation: Sokolova V.V., Senator S.A., Grevtsova V.V. *Rezultaty inventarnizatsii drevesnykh nasazhdeniy Moskvy na primere rayonov Tverskoy, Koptevo i Khovrino* [Tree plants inventory in Moscow in Tverskoy, Koptevo and Khovrino districts]. *Lesnoy vestnik / Forestry Bulletin*, 2024, vol. 28, no. 4, pp. 103–117. DOI: 10.18698/2542-1468-2024-4-103-117

References

- [1] Evstratova L.G., Shramchenko D.I. *Primenenie metodov geoinformatsionnogo modelirovaniya pri analize rekreatsionnogo potentsiala gorodskoy territorii* [Application of geoinformation modeling methods in the analysis of the recreational potential of urban areas]. *Zemleustroystvo, kadastr i monitoring zemel'* [Land management, cadastre and land monitoring], 2023, no. 7, pp. 430–435.
- [2] Rummyantsev D.E., Kuznetsov B.A., Novoselov V.V., Melikhova M.A. *Analiz izmenchivosti radial'nogo prirosta u derev'ev — pamyatnikov prirody v urbanizirovannoy srede Moskvy* [Analysis of the variability of radial growth in trees of natural monuments in the urbanized environment of Moscow]. *Hortus Botanicus*, 2021, t. 16, pp. 178–199.
- [3] Zhuravleva E.V., Fursov S.V. *Zadachi botanicheskikh sadov Rossii: ot sokhraneniya rastitel'nykh bioresursov do ekologicheskogo vospitaniya naseleniya* [Tasks of botanical gardens in Russia: from the conservation of plant bioresources to environmental education of the population]. *Sadovodstvo i vinogradarstvo* [Gardening and viticulture], 2019, no. 3, pp. 43–51. DOI: 10.31676/0235-2591-2019-3-43-51

- [4] Rybakova M.V., Zvereva M.M. *Ekologicheskaya obstanovka v Moskve: otsenka dinamiki obshchestvennogo mneniya po rezul'tatam oprosov 2013–2022 gg.* [Environmental situation in Moscow: assessment of the dynamics of public opinion based on the results of surveys 2013–2022]. *Vlast'* [Power], 2022, t. 30, no. 5, pp. 156–162.
- [5] Reznik S.M., Reznik G.P. *Optimizatsiya plotnosti i struktury zelenykh nasazhdeniy v zhilykh rayonakh Moskvy* [Optimization of the density and structure of green spaces in residential areas of Moscow]. *Plodovodstvo i yagodovodstvo Rossii* [Fruit growing and berry growing of Russia], 2003, t. 10, pp. 401–406.
- [6] Kostina M.V., Yasinskaya O.I., Barabanshchikova N.S. *Razrabotka nauchno-obosnovannogo podkhoda ispol'zovaniya klena yasenelistnogo (Acer negundo L.) v ozelenenii Moskvy* [Development of a scientifically based approach to the use of ash maple (*Acer negundo* L.) in landscaping Moscow]. *Sotsial'no-ekologicheskie tekhnologii* [Social and environmental technologies], 2017, no. 3, pp. 51–64.
- [7] Yakubov Kh.G. *K 20-letiyu monitoringa zelenykh nasazhdeniy v Moskve i konferentsii «Problemy ozeleneniya krupnykh gorodov»* [To the 20th anniversary of monitoring green spaces in Moscow and the conference «Problems of greening large cities»]. *Problemy ozeleneniya krupnykh gorodov: mater. XX Mezhdunar. nauch.-prakt. foruma* [Problems of greening large cities: material. XX International scientific-practical forum]. Moscow: Pero, 2018, pp. 9–13.
- [8] *Sostoyanie zelenykh nasazhdeniy v Moskve (po dannym monitoringa 2000 g.). Analiticheskiy doklad* [State of green spaces in Moscow (according to monitoring data in 2000). Analytical report]. Ed. H.G. Yakubov. Moscow: JSC Prima-M, 2001, 290 p.
- [9] The Population Division of the Department of Economic and Social Affairs of the United Nations. Available at: <https://population.un.org/wup/Country-Profiles/> (accessed 03.06.2023).
- [10] Grokhol'skaya V.S. *O podbore assortimenta drevesnykh rasteniy dlya ozeleneniya naseleennykh mest* [On the selection of an assortment of woody plants for landscaping populated areas]. *Problemy sovetskogo gradostroitel'stva* [Problems of Soviet urban planning], 1963, no. 14, pp. 10–26.
- [11] Mashinskiy L.O. *Ozelenenie gorodov* [Greening cities]. Moscow: Publishing House of the USSR Academy of Sciences, 1951, 254 p.
- [12] Novozhilova V.A., Opekunova M.I. *Itogi introduksii dekorativnykh derev'ev i kustarnikov* [Results of the introduction of ornamental trees and shrubs]. Moscow: Publishing house of the Ministry of Communities households of the RSFSR, 1955, 116 p.
- [13] Plotnikova L.S., Yakushina E.I. *Sovershenstvovanie assortimenta zelenykh nasazhdeniy goroda Moskvy i ikh roli v optimizatsii sredy* [Improving the range of green spaces in the city of Moscow and their role in optimizing the environment]. *Byulleten' Glavnogo botanicheskogo sada* [Bulletin of the Main Botanical Garden], 1995, v. 171, pp. 72–77.
- [14] Yakushina E.I. *Drevesnye rasteniya v ozelenenii Moskvy* [Woody plants in Moscow landscaping]. Moscow: Nauka, 1982, 156 p.
- [15] Lapin P.I. *Vklad botanicheskikh sadov SSSR v delo ozeleneniya gorodov i naseleennykh punktov* [The contribution of botanical gardens of the USSR to the landscaping of cities and towns]. *Byulleten' Glavnogo botanicheskogo sada* [Bulletin of the Main Botanical Garden], 1963, v. 51, pp. 3–11.
- [16] Tsitsin N.V. *O nauchnoy rabote po ozeleneniyu i dekorativnomu sadovodstvu* [On scientific work on landscaping and ornamental gardening]. *Byulleten' Glavnogo botanicheskogo sada* [Bulletin of the Main Botanical Garden], 1954, v. 18, pp. 3–12.
- [17] *Sostoyanie zelenykh nasazhdeniy v Moskve (po dannym monitoringa 1997 g.). Analiticheskiy doklad* [The condition of green spaces in Moscow (according to monitoring data in 1997). Analytical report]. Ed. H.G. Yakubov. Moscow: Prima-Press, 1998, 239 p.
- [18] *Sostoyanie zelenykh nasazhdeniy v Moskve (po dannym monitoringa 2004 g.). Analiticheskiy doklad* [The condition of green spaces in Moscow (according to monitoring data in 2004). Analytical report]. Ed. H.G. Yakubov. Moscow: Prima-M; Stagirit-N, 2005, 200 p.
- [19] *Sostoyanie zelenykh nasazhdeniy v Moskve (po dannym monitoringa 2001 g.). Analiticheskiy doklad* [The condition of green spaces in Moscow (according to monitoring data in 2001). Analytical report]. Ed. H.G. Yakubov. Moscow: Prima-M; Prima-Press-M, 2002, 336 p.
- [20] *Postanovlenie Pravitel'stva Moskvy № 461-PP «Ob avtomatizirovannoy informatsionnoy sisteme «Reestr zelenykh nasazhdeniy» ot 12 avgusta 2014 g.* [Decree of the Moscow Government no. 461-PP «On the automated information system. Register of Green Spaces» dated August 12, 2014. Available at: <https://www.mos.ru/authority/documents/doc/3161220/> (accessed 05.08.2023).
- [21] Bukina E.S., Khanbabaeva O.E. *Otsenka sostoyaniya drevesnykh nasazhdeniy, proizrastayushchikh vdol' MKAD (g. Moskva)* [Assessment of the condition of tree plantations growing along the Moscow Ring Road (Moscow)]. *Tendentsii razvitiya nauki i obrazovaniya* [Trends in the development of science and education], 2023, no. 93–6, pp. 164–168.
- [22] Kocharyan K.S. *Ekologo-eksperimental'nye osnovy zelenogo stroitel'stva v krupnykh gorodakh Tsentral'noy chasti Rossii (na primere g. Moskvy)* [Ecological and experimental foundations of green construction in large cities of Central Russia (using the example of Moscow)]. Moscow: Nauka, 2000, 184 p.
- [23] Yakubov Kh.G. *Monitoring sostoyaniya zelenykh nasazhdeniy v Moskve v 1997–2006 gg.* [Monitoring the condition of green spaces in Moscow in 1997–2006]. *Problemy ozeleneniya krupnykh gorodov* [Problems of landscaping in large cities]. Ed. H.G. Yakubov. Moscow: Prima-M, 2007, pp. 14–18.
- [24] Vinogradova Yu.K., Mayorov S.R., Kostina M.V. *Klen yasenelistnyy (Acer negundo L.): Morfologiya, biologiya i otsenka invazivnosti* [*Acer negundo* L.: Morphology, biology and assessment of invasiveness]. Moscow: Partnership of scientific publications KMK, 2022, 218 p.
- [25] Rumyantsev D.E., Frolova V.A. *Metodologicheskie podkhody k izucheniyu raznoobraziya ekosistemnykh uslug zelenykh nasazhdeniy v megapolise* [Methodological approaches to studying the diversity of ecosystem services of green spaces in a metropolis]. *Mezhdunarodnyy nauchno-issledovatel'skiy zhurnal* [International Scientific Research J.], 2019, no. 10–2 (88), pp. 28–34.
- [26] Zinov'eva O.A. *Sovremennye tendentsii pravovogo regulirovaniya zashchity zelenykh nasazhdeniy v gorodakh federal'nogo znacheniya Rossiyskoy Federatsii* [Modern trends in legal regulation of the protection of green spaces in federal cities of the Russian Federation]. *Vestnik Universiteta imeni O.E. Kutafina (MGYuA)* [Bulletin of the University named after O.E. Kutafina (MSAL)], 2019, no. 1 (53), pp. 129–136.

- [27] Goretskaya A.G., Toporina V.A. *Elementy prirodno-ekologicheskogo karkasa g. Moskvy* [Elements of the natural-ecological framework of Moscow]. *Estestvennyye i tekhnicheskie nauki* [Natural and technical sciences], 2019, no. 8 (134), pp. 125–128.
- [28] Kulakova S.A. *Otsenka sostoyaniya zelenykh nasazhdeniy goroda* [Assessment of the state of green spaces in the city]. *Geograficheskiy vestnik* [Geographical Bulletin], 2012, no. 4 (23), pp. 59–66.
- [29] Sapelin A.Yu. *Redkie vidy drevesnykh rasteniy, vstrechayushchiesya v ozelenenii g. Moskvy* [Rare species of woody plants in Moscow landscaping]. *Lesnoy vestnik / Forestry Bulletin*, 2021, vol. 25, no. 2, pp. 73–80. DOI: 10.18698/2542-1468-2021-2-73-80
- [30] Perelygin Yu.A., Suvorova D.V., Yakovleva N.A. *Opyt primeneniya peredovykh metodik inventarizatsii zelenykh nasazhdeniy v gorode Belgorode* [Experience in applying advanced methods for inventorying green spaces in the city of Belgorod]. *Nauchnyy Al'manakh assotsiatsii France-Kazakhstan* [Scientific Almanac of the France-Kazakhstan Association], 2023, no. 1, pp. 158–165.
- [31] Samokhvalov K.V., Rysin S.L. *Vidovoy sostav derev'ev v zelenykh nasazhdeniyakh goroda Cheboksary* [Species composition of trees in green spaces of the city of Cheboksary]. *Lesokhozyaystvennaya informatsiya* [Forestry information], 2017, no. 4, pp. 65–72. DOI: 10.24419/LHI.2304-3083.2017.4.07
- [32] Giyasov A., Barotov Yu.G. *Rol' zelenykh nasazhdeniy v ozdorovlenii mikroklimata gorodskoy zastroyki yuzhnykh rayonov* [The role of green spaces in improving the microclimate of urban development in the southern regions]. *Ekologiya urbanizirovannykh territoriy* [Ecology of urbanized territories], 2018, no. 3, pp. 90–97.
- [33] *Postanovlenie Pravitel'stva Moskvy №743-PP «Pravila sozdaniya, okhrany i sodержaniya zelenykh nasazhdeniy g. Moskvy» ot 10 sentyabrya 2002 g.* [Decree of the Moscow Government no. 743-PP «Rules for the creation, protection and maintenance of green spaces in Moscow» dated September 10, 2002]. Available at: [https://www.mos.ru/upload/documents/oiv/10092002-_-743_pp\(1\).pdf](https://www.mos.ru/upload/documents/oiv/10092002-_-743_pp(1).pdf) (accessed 05.08.2023).
- [34] Cherepanov S.K. *Sosudistye rasteniya Rossii i sopredel'nykh gosudarstv* [Vascular plants of Russia and neighboring countries]. St. Petersburg: Mir i sem'y [Mir and family], 1995, 992 p.
- [35] *Postanovlenie Pravitel'stva Moskvy №623-PP «Ob utverzhdenii Norm i pravil proektirovaniya kompleksnogo blagoustroystva na territorii goroda Moskvy MGSN 1.02-02» ot 06.08.2002* [Decree of the Moscow Government No. 623-PP «On approval of the Norms and Rules for the design of comprehensive landscaping on the territory of the city of Moscow MGSN 1.02-02» dated 06.08.2002]. Available at: <https://docs.cntd.ru/document/1200029835> (accessed 05.08.2023).

The work was carried out within the framework of the state task of GBS RAS «Biological diversity of natural and cultural flora: fundamental and applied issues of study and conservation» (№ 122042700002-6).

Authors' information

Sokolova Viktoriya Vladimirovna✉ — Cand. Sci. (Agriculture), Researcher, Tsitsin Main Botanical Garden of Russian Academy of Sciences, soka22@mail.ru

Senator Stepan Aleksandrovich — Cand. Sci. (Biology), Leading Researcher, Tsitsin Main Botanical Garden of Russian Academy of Sciences, senator@gbsad.ru

Grevcova Vera Vyacheslavovna — Junior researcher, Tsitsin Main Botanical Garden of Russian Academy of Sciences, vera3128@mail.ru

Received 15.09.2023.

Approved after review 22.02.2024.

Accepted for publication 15.05.2024.

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

МИКОЛИЗ ДРЕВЕСИНЫ, ЕГО ПРОДУКТЫ И ИХ ИСПОЛЬЗОВАНИЕ VI. «БЕЛАЯ ГНИЛЬ» ДРЕВЕСИНЫ КАК ВОЛОКНИСТЫЙ ПОЛУФАБРИКАТ И ХИМИЧЕСКОЕ СЫРЬЕ

Г.Н. Кононов[✉], В.А. Липаткин, В.А. Петухов, М.В. Федорова

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

kononov@mgul.ac.ru

Рассмотрены возможные пути использования древесины с «белой гнилью» как природного продукта, обогащенного углеводной составляющей. Приведены результаты исследования процесса предварительной делигнификации и обессмоливания древесины с использованием лигниноразрушающих грибов или их ферментных систем в целях ее дальнейшего использования для получения технических целлюлоз и их облагораживания. Изучены области использования микологически разрушенной древесины в качестве волокнистого полуфабриката и поделочного материала и возможность получения из древесины с «белой гнилью» продуктов путем ее гомогенного ацетилирования, карбоксиметилирования и кислотного гидролиза. Данная статья является шестой в цикле «Микелиз древесины, его продукты и их использование», предыдущие опубликованы в журнале «Лесной вестник / Forestry Bulletin»: 2020, т. 24, № 2, № 6; 2021, т. 25, № 1, № 5; 2022, т. 26, № 4.

Ключевые слова: биоделигнификация, обессмоливание, отбелка, мраморный рисунок, ацетилирование, гидролиз

Ссылка для цитирования: Кононов Г.Н., Липаткин В.А., Петухов В.А., Федорова М.В. Микелиз древесины, его продукты и их использование. VI. «Белая гниль» древесины как волокнистый полуфабрикат и химическое сырье // Лесной вестник / Forestry Bulletin, 2024. Т. 28. № 4. С. 118–129.

DOI: 10.18698/2542-1468-2024-4-118-129

В результате микелиза древесины под действием лигнолитических ферментов дереворазрушающих грибов в природных условиях образуется так называемая «белая гниль» [1, 2]. В результате этого процесса происходит биоделигнификация древесины с образованием продукта, обогащенного углеводной составляющей [3]. Образовавшийся продукт обладает сильно разрыхленной гидрофильной волокнистой структурой, что позволяет предположить возможность его использования в качестве волокнистого полуфабриката [4], а большое содержание целлюлозы — в качестве химического сырья для модифицирования с получением полимерных производных и низкомолекулярных продуктов путем гидролиза [5, 6].

Цель работы

Цель работы — анализ процесса биоделигнификации древесины в качестве предварительной стадии получения из нее технических целлюлоз, и изучение возможности использования древесины с «белой гнилью» для получения из нее продуктов путем полимераналогичных превращений и кислотного гидролиза.

Материалы и методы

Биотехнологические методы находят все большее применение в процессах получения и переработки технических целлюлоз. Возможность селективного воздействия на компоненты древесины и технические целлюлозы, проведение реакций без повышения температуры и давления делают различные ферментативные методы перспективными в технологических операциях. Применение ферментов выгодно с точки зрения экологии, так как они расходуются в очень небольшом количестве, снижают загрязненность сточных вод путем токсичных реагентов, не дают вредных побочных продуктов и являются биоразлагаемыми веществами. В производстве целлюлозы для химической переработки возможно использование различных ферментных систем, продуцированных микроорганизмами, в частности, для обработки щепы перед варкой, лигнолитических ферментов для делигнификации, гемицеллюлаз для удаления остаточных гемицеллюлоз, целлюлазы для модифицирования свойств целлюлозы. Возможна предварительная обработка древесины перед химической делигнификацией, так называемая биоварка. В целях снижения расхода реагентов и повышения качества волокнистых полуфабрикатов биоварку можно

проводить с использованием микомицетов или выделенных из них ферментов.

Высокий окислительный потенциал ферментов, содержащихся в лигноразрушающих грибах, открывает различные биохимические способы совершенствования, подготовки и переработки древесного сырья. Положительный эффект действия лигнолитических ферментов основан на их способности разрушать α - β простые эфирные связи в структурах лигнина и деструктировать липофильные, экстрактивные вещества.

Наличие примесей гемицеллюлоз отрицательно сказывается на процессах химической переработки целлюлозы. Гемицеллюлозы вызывают помутнение растворов эфиров целлюлозы и ухудшают их фильтруемость, сильно набухают при мерсеризации и затрудняют удаление щелочи в процессе отжима. Пентозаны и гексоназы интенсивно участвуют в реакциях этерификации, что приводит к снижению степени замещения целлюлозы, увеличению расхода этерифицирующих реагентов, неравномерному распределению заместителей. Кроме того, эфиры гемицеллюлоз могут образовывать слой на поверхности волокон, препятствующий дальнейшему проникновению реагентов, а также формировать гелевые частицы, снижающие фильтруемость растворов. Продукты этерификации гемицеллюлоз окрашены и иногда нерастворимы, они снижают качество растворов целлюлозы и конечных продуктов химической переработки. Эти примеси вызывают снижение прочности вискозных и ацетатных волокон и пленок, ломкость и пожелтение лаков и покрытий, снижение оптической однородности фото- и кинопленок, уменьшение термостойкости нитратов. Содержание гемицеллюлоз особенно строго регламентируется в сырье для получения ацетатов, нитратов, высокопрочных вискозных волокон [3].

Было показано, что препарат ксилоавоморин с основной ксиланазной активностью удалял около 15 % гемицеллюлоз из холоцеллюлозы сосны и 3...8 % гемицеллюлоз из технических целлюлоз. Путем ферментативной обработки удалось извлечь от 8 до 54 % гемицеллюлоз, в зависимости от состава ферментного препарата, характеристик и стадий переработки волокнистой массы и начального содержания гемицеллюлоз в ней [4].

Применение целлюлаз из *Trichoderma koningii* и *Fusarium solani* для снижения вязкости вискозной целлюлозы является весьма перспективным. Эти грибы, разлагающие целлюлозу, синтезируют разнообразные виды ферментов целлюлазного типа, отличающиеся специфичностью действия. Их целлюлазные комплексы способны расщиплять β -1,4-гликозидные связи в кристаллических формах целлюлозы. Основными ферментами комплекса, отвечающими за



а



б



в

Рис. 1. «Белая гниль» древесины березы и гриб, вызывающий ее образование: а — плодовое тело трутовика настоящего (*Fomes fomentarius*); б — торцевой срез древесины; в — тангенциальный срез древесины.

Fig. 1. «White rot» of birch wood and the fungus that causes its formation: а — the fruiting body of the present tinder fungus (*Fomes fomentarius*); б — end cut; в — tangential cut

деструкцию макромолекул целлюлозы, являются эндоглюканаза и целлобиогидролаза. Эндоглюканаза расщепляет связи произвольно по длине макромолекулы, действуя преимущественно на аморфные участки, целлобиогидролаза осуществляет гидролиз высокоупорядоченных участков фибрилл до целлобиозы [5].

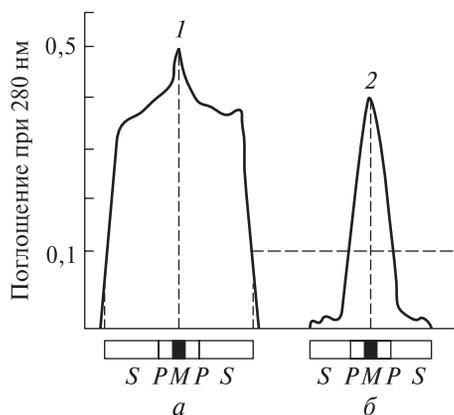


Рис. 2. УФ-микроскопия клеточных стенок смежных клеток волокон либриформа: 1 — здоровой древесины; 2 — пораженной «белой гнилью» древесины березы

Fig. 2. UV-microscopy of cell walls of adjacent cells of libriform fibers: 1 — healthy; 2 — affected by «white rot» of birch wood

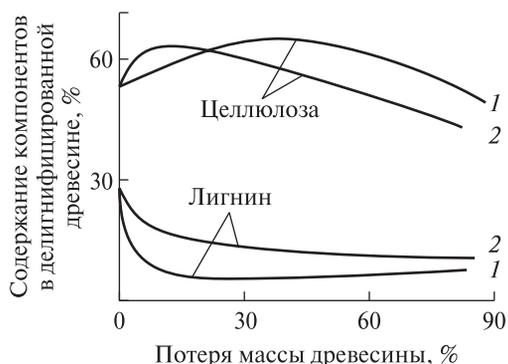


Рис. 3. Изменение компонентного состава лигноуглеводного комплекса древесины при их биоделигнификации: а — ели; б — березы

Fig. 3. Changes in the composition of the ligno-carbohydrate complex of wood: а — spruce; б — birch during their biodelignification

Биообработка технологической щепы ферментными препаратами микомицетов вполне применима как предварительная стадия подготовки древесины к процессу варки целлюлозы. Ее преимущества заключаются в ускорении процесса делигнификации, уменьшении смоляных затруднений, повышении качества целлюлозы, увеличении объемов производства, большой экологической безопасности процессов и уменьшении вмешательства во внешнюю среду при производстве волокнистых полуфабрикатов. Одно из главных препятствий в реализации процесса биоделигнификации — низкая диффузионная способность проникновения достаточно больших макромолекул ферментов в объеме технологической щепы. Делигнификацию древесины целесообразно проводить не ферментными препаратами, а вырабатываемыми их микомицетами и проникающими в массу древесины с помощью грибных гиф на любую глубину. Наблюдаемая на практике

более высокая эффективность биообработки грибами по сравнению с обработкой выделенными препаратами ферментов, вероятно, связана с тем, что в данном случае с компонентами древесины взаимодействует целый набор ферментов, фактически мультиэнзимный комплекс, в котором имеет место синергетический эффект и различные виды ферментов дополняют действия друг друга.

В качестве объекта исследования использовалась «белая гниль» древесины березы конечной стадии развития (рис. 1).

Процессы гомогенного ацетилирования, кислотного гидролиза «белой гнили» и анализ полученных продуктов осуществлялись по методикам, описанным в работе [7].

Экспериментальная часть и обсуждение результатов

Процесс воздействия лигнолитических ферментов на клеточную структуру древесинного вещества протекает с разной скоростью в зависимости от вида ксилотофа и глубины проникания его ферментов в толщу клеточной стенки. Данные УФ-микроскопии свидетельствуют о том, что слой вторичной стенки (S) делигнифицируется достаточно быстро, а процессы в сложной срединной пластинке (P-M-P) до определенной степени запаздывают, и даже на глубоких стадиях биоделигнификации она дает интенсивное поглощение, связанное с наличием ароматических ядер, в то время как вторичная стенка почти их не содержит, уже при потере массы древесины в 10 % [8] (рис. 2).

Степень биоделигнификации зависит от вида древесины. В случае хвойной древесины процесс тормозится вследствие наличия в ней определенного количества терпеноидов, выполняющих функцию фунгицидов. Поэтому хотя она и обогащается целлюлозной составляющей на ранней стадии микколиза при потере массы в 10 %, но все же содержит значительно большее количество остаточного лигнина по сравнению с лиственной древесиной. Максимальное содержание целлюлозы достигается лишь на более глубоких стадиях, при потере массы хвойной древесины более 30 % [9] (рис. 3).

Делигнификационная активность у грибов белой гнили может регулироваться содержанием в питательной среде азота и углерода [10]. Изучалось влияние содержания аммонийного азота, вератрового спирта и глюкозы на проявление культурой гриба как лигнолитической, так и целлюлолитической способности на древесине березы. Установлено, что при содержании азота до 1,8 ммоль/л способность гриба к деструкции лигнина увеличивается. Введение вератрового спирта в питательную среду стимулирует лигнолитическую способность, причем ее увеличение

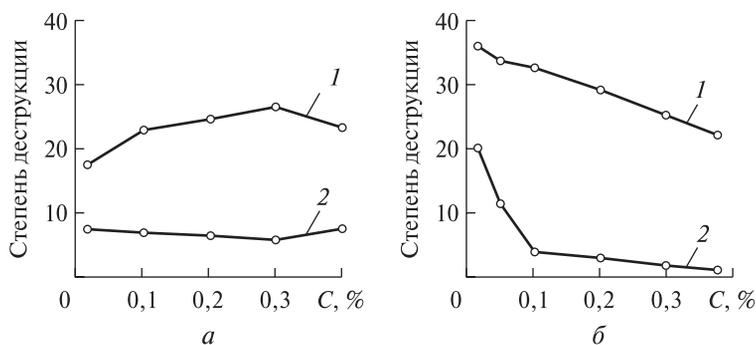


Рис. 4. Влияние добавок вератрического спирта (а), глюкозы (б) на степень деструкции грибом *Ph. Sanguine*: 1 — лигнина; 2 — целлюлозы
 Fig. 4. Influence of additives of veratric alcohol (a), glucose (b) on the degree destruction by *Ph. Sanguine*: 1 — lignin; 2 — cellulose

Т а б л и ц а 1

Влияние микологической обработки лиственной древесины на свойства целлюлозы, получаемой из нее при органосольвентной варке

Influence of mycological treatment of hardwood on the properties of pulp obtained from it during organo-solvent pulping

Вид гриба	Время биообработки, сут.	Потеря массы, %	Выход целлюлозы, %	Жесткость, ед. числа Каппа	Ср. СП
<i>Trametes villosus</i>	0	0	52,7	19,7	7780
	15	4,8	52,8	15,1	7770
	30	5,2	52,1	14,8	7780
	60	13,2	50,0	10,4	7770
<i>Phanerochaete sanguinea</i>	0	0	52,3	19,3	7760
	15	1,7	52,4	14,9	6670
	30	6,4	49,7	10,5	5530
	60	10,9	46,8	10,5	4480
<i>Phanerochaete chrysosporium</i>	0	0	52,5	19,8	7770
	15	8,5	50,7	12,9	4480
	30	16,4	47,4	15,6	4440
	60	27,3	44,5	15,9	4400

достигает максимума при концентрации вератрического спирта 0,3 % (рис. 4, а), а оптимальная концентрация глюкозы, тормозящая деструкцию целлюлозы, составляет 0,1 % (рис. 4, б). Поэтому введением этих соединений можно регулировать разрушение как лигнина, так и целлюлозы в процессе миколиза [11].

Для промышленного получения микодревесины предлагалось заготовку лиственных пород размером 0,2...0,3×2 м инфицировать лигниноразрушающими грибами, помещать в инкубационные ямы, где обеспечиваются оптимальные для роста грибов влажность, температура и подача воздуха. В зависимости от условий уже через 2–3 месяца пронизанная гифами грибов древесина без разрушения структуры сильно изменяла свойства — становилась в 3 раза легче, имела очень высокую пористость, легко измельчалась и свободно пропитывалась даже вязкими жидкостями [12].

Предварительная обработка древесины грибами белой гнили позволяет уменьшить жесткость получаемой целлюлозы на 8–9 ед. числа Каппа при сохранении выхода на уровне контрольного

опыта (табл. 1). Наиболее приемлемыми оказались относительно короткие сроки биообработки. Лучшие результаты показало использование гриба *T. villosus*, поскольку целлюлоза получилась менее деструктированной [13]

В производстве целлюлозы для химической переработки изучалась предварительная обработка щепы грибами «белой гнили» (*Ceriporiopsis subvermispora*). При биообработке щепы в течение 5 сут. и последующей сульфитной варке отмечалось снижение содержания лигнина на 5 %, повышение белизны на 11 % без потерь выхода полуфабриката и сохранение высоких качественных показателей целлюлозы. Однако биообработка той же щепы в течение 10 сут. при дальнейшем снижении содержания лигнина приводила к существенным потерям выхода целлюлозы по сравнению с контрольным образцом. [14].

При использовании микроорганизмов в процессе производства целлюлозных полуфабрикатов, необходимо их культивирование на обрабатываемом сырье, что представляет собой достаточно сложную задачу.

В случае использования для биообработки древесины выделенных ферментов задача упрощается, поскольку выполняется аналогично применению катализаторов химического типа. Делигнификация ферментами оксидазного типа — лакказами, пероксидазами — протекает значительно эффективнее, чем грибами, поэтому ферментативная обработка считается более простой, но медленной вследствие низкой скорости диффузии ферментов в глубь древесины в связи с их высокомолекулярной природой [15].

Исходя из этого изучалась возможность биоделигнификации древесины перед ее варкой комплексом ферментов гриба *Trametes Villosus* вместо прямого его культивирования на ней. В ходе исследования было выявлено, что выход целлюлозы и степень ее делигнификации зависят от активности использованного культурального фильтрата и продолжительности обработки. Определяющим фактором при ферментативной обработке щепы является время, необходимое для диффузии фермента в глубь образца [16]. При длительности обработки 6 сут. была подобрана оптимальная активность культурального фильтрата (соотношение лигниназа : лакказа : ксиланаза составило 20:10,5:3,5 единиц активности на 1 г древесины). В этих условиях была получена целлюлоза с выходом 50 % и жесткостью 12 ед. числа Каппа. Предварительная ферментативная обработка позволила сократить продолжительность водно-этанольной варки в 1,5 раза (до 120 мин) для получения полуфабрикатов требуемой степени делигнификации. [17]

Для хвойной древесины интересна микологическая обработка в целях снижения в ней содержания физиологической смолы, вызывающей так называемые смоляные затруднения при ее варке. Культивирование гриба *Ophistoma Piliferum* на свежей древесине является одним из методов биотехнологического контроля смолы в ней. Такая обработка эффективна для обессмоливания щепы свежесрубленной хвойной древесины, при этом происходят быстрый рост грибной культуры, колонизация эпителиальных клеток смоляных ходов и деградация содержащейся в них смолы. Указанный метод борьбы со смолой можно считать разновидностью метода выдерживания древесины, отличающийся его проведением в контролируемых условиях и усилением действием извне внесенных ферментов гриба. После инкубации в течение 2–3 недель содержание экстрактивных веществ в такой древесине снижается на 40...50 % [18].

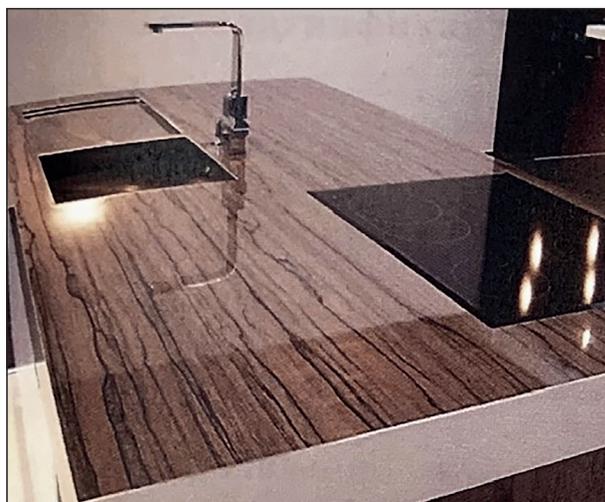
Древесина, микологически разрушенная в природных условиях под действием грибов «белой гнили», вызывает широкий интерес. Так, на ранних стадиях микоза, сохраняя свою прочность, она приобретает так называемый мраморный

рисунок и при условии защиты от кислорода воздуха, препятствующего продолжению процесса микоза, с помощью природных или синтетических пленкообразователей может с успехом использоваться для изготовления стильной мебели и декоративных изделий [19, 20] (рис. 5).

На глубоких стадиях микоза древесина с «белой гнилью» может быть готовым волокнистым полуфабрикатом и хорошим сырьем для химической переработки. Этому способствует крайне низкая прочность и твердость и, как следствие, низкие энергозатраты на ее измельчение. Повышенная гидрофильность за счет разрушения гидрофобного компонента, каковым является лигнин, способствует хорошей пропитываемости водными растворами и повышенной способности к фибриллированию при размоле. И, наконец, повышенное содержание целлюлозы и крайне низкое содержание лигнина, причем частично деструктурированного, дает возможность предположить использование микодревесины в качестве перспективного сырья для химического модифицирования и переработки [21].

Большое количество березовых древостоев в природных условиях подвержено естественному инфицированию спорами дереворазрушающих грибов, в основном вызывающих образование «белой гнили». При сплошных рубках древесина, подверженная такому воздействию, переходит в разряд некондиционной и становится практически непригодной для механической переработки, например при производстве фанеры. Однако биохимические процессы, происходящие при микологическом разрушении, превращают ее в материал, перспективный для использования в качестве волокнистого полуфабриката или даже химического сырья. Использование такой древесины березы является перспективным по следующим причинам:

- береза более продуктивна по сравнению с другими лесообразующими породами и отличается высокой скоростью накопления древесинного вещества;
- подвержена воздействию многих видов грибов «белой гнили» при почти полном отсутствии специфических видов;
- биоделигнификация древесины проходит более полно вследствие отсутствия токсинов, каковыми являются терпеноиды хвойных;
- биоделигнифицированная древесина имеет более высокую белизну по сравнению с аналогичной древесиной хвойных, загрязненной окрашенными продуктами микоза лигнина вследствие замедления процесса делигнификации токсичными терпеноидами [22] (рис. 6);
- древесина березы, пораженная «белой гнилью» на поздних стадиях имеет очень низкую



а



б

Рис. 5. Мебель и декоративные изделия из древесины березы с мраморным рисунком
Fig. 5. Furniture and decorative items made of birch wood with marble pattern



а



б

Рис. 6. «Белая гниль» древесины: а — береза; б — ель
Fig. 6. «White rot» of wood: а — birch; б — spruce

прочность, что является положительным фактором при ее измельчении;

– биоделигнификация древесины березы приводит к резкому увеличению ее гидрофильности, способности пропитываться водными растворами при модифицировании, а также легкости фибриллирования при размоле [23] (рис. 7).

Анализ проведенных исследований позволяет сделать предположение о возможности использования биоделигнифицированной древесины березы в природных условиях в качестве активного наполнителя при получении волокнистых композиционных пластиков как с использованием синтетических связующих разной химической природы, так и биопластиков с использованием химически активных компонентов древесины, разрушенной другими биодеструкторами, например грибами «бурой» или «пестрой гнили». Кроме того, такую древесину можно использовать для производства таких листовых материалов,

как определенные виды ДВП, картона и бумаги при замене ею части небеленой целлюлозы или древесной массы в композициях [24].

При использовании пресс-композиции, состоящей из древесины березы с «белой гнилью» и древесины ели с «пестрой гнилью» были получены биопластики с хорошими физико-механическими показателями (табл. 2) [25].

Наблюдается возрастание прочности лигно-глеводных пластиков в 2,5...3,0 раза, снижение водопоглощения и разбухания почти в 2 раза при увеличении содержания «белой гнили» в композиции до 100 %. Это подтверждает возможность реализации химических процессов в частично микологически разрушенной древесине. Резкое снижение водопоглощения и разбухания в случае древесины березы, пораженной «белой гнилью», свидетельствует о большой интенсивности блокирования гидрофильных групп углеводов древесины, которыми она



Рис. 7. Древесина березы, пораженная грибами белой гнили: *a* — в сухом состоянии; *б* — во влажном состоянии

Fig. 7. Birch wood affected by white rot fungi: *a* — dry; *b* — wet

Т а б л и ц а 2

Физико-механические показатели лигноуглеродных пластиков из древесины с «белой» и «пестрой» гнилью ($P = 2,5$ МПа; $t = 170...180$ °С)

Physical and mechanical parameters of lignocarbon plastics from wood with «white» and «motley» rot ($P = 2,5$ MPa; $t = 170...180$ °C)

Древесина	Содержание гнили, %	Плотность, кг/м ³	Влажность, %	Предел прочности при статическом изгибе, МПа	Водопоглощение за 24 ч, %	Разбухание за 24 ч, %
Ель («пестрая гниль»)	0	1170	8,7	15,1	9,8	6,6
	25	1190	9,5	20,1	8,8	7,4
	50	1190	9,6	24,6	8,5	7,6
	75	1200	9,7	29,9	8,4	7,6
	100	1230	9,8	44,0	8,4	7,8
Береза («белая гниль»)	0	1090	4,9	15,0	21,4	17,7
	25	1100	5,1	17,8	20,8	13,8
	50	1130	5,6	22,1	20,2	13,7
	75	1150	6,0	30,5	15,6	13,1
	100	1170	7,1	38,2	11,8	8,7

обогащена при пьезотермической обработке. Эти показатели для пестрой гнили ели скромнее, по-видимому, вследствие большего содержания лигнина, которым обогащена эта древесина, и наличия в ней гидрофобных веществ физиологической смолы.

Высокая степень делигнификации древесины березы с «белой гнилью», содержащей частично деструктурированную целлюлозу со сниженной молекулярной массой (медное число 0,6), позволили использовать этот материал для получения функциональных производных и в качестве сырья для кислотного гидролиза.

Методом гомогенного ацелирования из «белой гнили» древесины березы был получен аце-

тат со степенью замещения $\gamma = 13_4$ и свободной кислотностью 0,32 %, хорошо растворимый в этилацетате (рис. 8).

Кроме того, обработкой монохлорацетатом натрия в щелочной среде из микодревесины была получена Na-карбоксиметилцеллюлоза с выходом 92,5 % и степенью замещения $\gamma = 4_5$, на 46,3 % растворимая в холодной воде.

Методом кислотного гидролиза «белой гнили» древесины березы 1%-м раствором серной кислоты была получена гидроцеллюлоза с выходом 76 %, а при ее обработке 72%-й серной кислотой — глюкоза с выходом 38,7 %, что в 1,5 раза превышает ее выход при гидролизе здоровой древесины.

Ранее предложенные методы использования древесины с «белой гнилью» подразумевали либо искусственное культивирование грибов «белой гнили» на массивной древесине с использованием климатических камер, либо использование ферментативных систем грибов «белой гнили» и обработку ими измельченной древесины. И первый, и второй способы недостаточно эффективны вследствие того, что проницаемость даже сильно измельченной древесины для ферментных препаратов грибов «белой гнили» ограничивается только поверхностными слоями древесины в связи с затруднительным проникновением крупных макромолекул ферментов в ее глубинные слои. Применение автоклавных технологий культивирования грибов «белой гнили» на массивной древесине — трудозатратный и достаточно медленный процесс.

Наиболее эффективно проникновение ферментов грибов «белой гнили» с помощью гифов, их продуцирующих и доставляющих в глубинные слои древесины. Однако базидиомицеты «белой гнили» невозможно культивировать на измельченной древесине с разрушенной анатомией, необходимой для развития грибов. Поэтому использование микологически делигнифицированной древесины березы в естественных условиях имеет ряд преимуществ благодаря возможности регулирования глубины миколиза.

В природных условиях древесина березы подвергается комплексному действию многих видов грибов, одни из которых подготавливают условия для заселения других видов. Этого трудно добиться в искусственных условиях вследствие изменения химического состава срубленной древесины, отсутствующие компоненты в которой служили питанием для микроскопических грибов, подготавливающих древесину к заселению базидиомицетами «белой гнили» в природе.

Интенсивность заражения грибами «белой гнили» можно увеличить искусственно, распыляя суспензию их спор над перестойными массивами березняков.

Регулировать глубину делигнификации, а при необходимости полностью приостанавливать этот процесс можно биологическими методами — путем обработки древесостоя спорами грибов, продуцирующих токсины, препятствующие дальнейшей деятельности грибов «белой гнили».

Введением низкомолекулярных продуктов миколиза лигнина, например, вератрового спирта, можно снижать уровень воздействия ферментов грибов «белой гнили» на целлюлозу, а регулировать глубину ее декристаллизации и деполимеризации — обработкой инфицированного участка древесостоя растворами глюкозы разной концентрации.



Рис. 8. Ацетат, полученный из «белой гнили» древесины березы

Fig. 8. Acetate obtained from the «white rot» of birch wood

Таким образом, природная делигнификация древесины березы является наиболее интенсивной, экологически чистой и комплексной «биотехнологией» подготовки данного древесного сырья к использованию.

Выводы

1. Биоделигнификацию древесины искусственным инфицированием грибами «белой гнили» или ее обработкой ферментными препаратами можно применять в качестве предварительной обработки, предшествующей ее химической делигнификации.

2. Природную древесину с «белой гнилью» на ранних стадиях миколиза можно использовать в качестве оригинального декоративного материала, а на поздних — в качестве волокнистого полуфабриката и химического сырья.

3. Природная биоделигнификация древесины является основой перспективной, экологически чистой биотехнологии использования некондиционного древесного сырья.

Список литературы

- [1] Кононов Г.Н., Вережкин А.Н., Сердюкова Ю.В., Зайцев В.Д. Миколиз древесины, его продукты и их использование. I. Экологические аспекты микологического разрушения древесины // Лесной вестник / Forestry Bulletin, 2020. Т. 24. № 2. С. 81–87. DOI: 10.18698/2542-1468-2020-2-81-87
- [2] Семенкова И.Г. Фитопатология. Дереворазрушающие грибы, гнили и патологические окраски древесины. М.: МГУЛ, 2008. 72 с.
- [3] Дудкин М.С., Громов В.С., Ведерников Н.А., Каткевич Р.Г., Чернов Н.К. Гемиллюлозы. Рига: Зинатне, 1991. 488 с.

- [4] Родионова Н.А., Тиуонова Н.А., Фениксова Р.В. Целлюлолитические ферменты *Geotrichum Candium* // Докл. АН СССР. Серия: Биохимия, 1974. Т. 214. № 5. С. 1206–1209.
- [5] Синицин А.П., Гусаков А.В., Черноглазов В.М. Биоконверсия лигноцеллюлозных материалов. М.: Изд-во МГУ, 1995. 219 с.
- [6] Leonowicz A., Matuszewska A., Luterek J. Biodegradation of lignin by white rot fungi // *Fungal Genet. Biol.*, 1999, v. 27, pp. 175–185.
- [7] Кононов Г.Н. Химия древесины и ее основных компонентов. М.: МГУЛ, 2005. С. 138.
- [8] Озолиня Н.Р., Сергеева В.Н., Абрамович И.Л. Аналитические и химические изменения древесины березы, пораженной грибами белой гнили // *Изв. АН ЛатССР*, 1987. № 12. С. 45–52.
- [9] Кононов Г.Н. Химия древесины и ее основных компонентов. М.: МГУЛ, 1999. 247 с.
- [10] Piontek K., Smith A.T., Blodig W. Lignin peroxidase structure and function // *Biochem. Soc. Trans.*, 2001, v. 29, pp. 111–116.
- [11] Александрова О.Н. Совершенствование биологической отбелки сульфитной целлюлозы // *Химия древесины*, 1993. №4. С. 14–17.
- [12] Александрова Г.П., Медведева С.А., Бабкин В.А., Соловьев В.А. Малышева О.Н. Исследование некоторых факторов, влияющих на ферментативную активность гриба *Phanerachaete Saguinea* // *Химия древесины*, 1993. № 4. С. 55–60.
- [13] Голова Л.К. Новое целлюлозное волокно лиоцелл // *Российский химический журнал*, 2002. Т. XLVI. № 1. С. 49–57.
- [14] Ахменова З.Д. Лигнолитические, ксиланолитические, целлюлолитические ферменты некоторых базидальных грибов их взаимосвязь в разложении лигноцеллюлозы. Ташкент: Изд-во АН Республики Узбекистан, Институт микробиологии, 1999. 42 с.
- [15] Екабсоне Я., Крейцберг З.Н., Сергеева В.Н., Киришбаум И.З. Исследование энзиматически разрушенной древесины // *Химия древесины*, 1978. № 2. С. 61–64.
- [16] Harvey P.J., Floris R., Lundell T. Catalytic mechanisms and regulation of lignin peroxidase // *Biochem. Soc. Trans.*, 1992, v. 20, pp. 345–349.
- [17] Соловьев В.А. Кинетика микогенного разложения основных компонентов древесины // *Труды 4-й Междунар. конф. «Фундаментальные исследования в области комплексного использования древесины»*. Рига: Зинатне, 1982. С. 53–55.
- [18] Озолиня Н.Р. Анатомические и химические изменения древесины березы, пораженной грибами белой гнили // *Изв. АН ЛатССР*, 1987. № 12. С. 45–52.
- [19] Соловьев В.А., Малышева О.Н., Малева И.Л., Саплин В.И. Изменение химического состава древесины под действием лигнина разрушающих грибов // *Химия древесины*, 1985. № 6. С. 94–100.
- [20] Рабинович М.Л., Болобова А.В., Кондращенко В.И. Теоретические основы биотехнологии древесных композитов. Кн. 1. Древесина и разрушающие ее грибы. М.: Наука, 2001. 264 с.
- [21] Blanchette R.A. Manganese accumulation in wood decayed by white rot fungi // *Phytopathology*, 1984, v. 74, pp. 153–160.
- [22] Болобова А.В., Аскадский А.А., Кондращенко В.И., Рабинович М.Л. Теоретические основы биотехнологии древесных композитов. Книга 2. Ферменты, модели, процессы. М.: Наука, 2002. С. 344.
- [23] D'Souza T.M., Merritt C.S., Reddy C.A. Lignin-modifying enzymes from the white-rot basidiomycete *Ganoderma lucidum* // *Abstracts of the 96th General Meeting of the American Society for Microbiology*. American Society for Microbiology, Washington, D.C., 1996, p. 432.
- [24] Клягина Ю.П., Смирнов И.В. Стручкова А.Н., Трофимов А.Н. Биодеструкция лигнина из древесно-стружечных плит микроскопическими грибами // *Химия растительного сырья*, 2005. № 4. С. 41–44.
- [25] Тютиков С.С., Петри В.Н. Использование гнилостных процессов для облагораживания древесного сырья при производстве древесных пластиков // *Превращение древесины при энзиматическом и микробиологическом воздействиях*. Рига: Зинатне, 1985. С. 209–213.
- [26] Озолиня Н.Р., Сергеева В.Н., Хохолко С.В., Абрамович И.Л. Изменение лигнина древесины березы при поражении ее грибом *Coriolus Hirsutus* // *Химия древесины*, 1988. № 4. С. 74–79.
- [27] Казарцев И.А., Рошин В.И., Соловьев В.А. Разложение углеводов древесины *Populus Tremula* и *Picea Abies* под действием лигнина разрушающих грибов // *Микология и фитопатология*, 2014. Т. 48. № 2. С. 112–117.
- [28] Aguiar A., Gavioli D., Ferraz A. Extracellular activities and wood component losses during *Pinus taeda* biodegradation by the brown-rot fungus *Gloeophyllum trabeum* // *International Biodeterioration and Biodegradation*, 2013, v. 82, no. 8, pp. 187–191.
- [29] Nakazawa T., Izuno A., Horii M. Effects of *pex1* disruption on wood lignin biodegradation, fruiting development and the utilization of carbon sources in the white-rot Agaricomycete *Pleurotus ostreatus* and non-wood decaying Coprinopsis cinerea // *Fungal Genetics and Biology*, 2017, v. 82, no. 12, pp. 7–15.
- [30] Wen Xu J., Dong Ding Y., Li Li S., Mao R. Amount and biodegradation of dissolved organic matters leached from tree branches and roots in subtropical plantations of China // *Forest Ecology and Management*, 2021, v. 484, no. 3, pp. 11–28.
- [31] Билай В.И. Трансформация целлюлозы грибами. Киев: Наукова думка, 1982. 295 с.
- [32] Luginina A.A., Kuznetsov S.V., Alexandrov A.A., Gainutdinov R.V., Petukhov D.I., Voronov V.V., Chernova E.V., Fedorov P.P. High lignin content cellulose nanofibrils obtained from thermomechanical pulp // *Nanosystems: Physics, Chemistry, Mathematics*, 2022, t. 13, no. 6, pp. 698–708.
- [33] Bouslimi B., Koubaa A., Bergeron Y. Effects of biodegradation by brown-rot decay on selected wood properties in eastern white cedar (*Thuja occidentalis* L.) // *International Biodeterioration & Biodegradation*, 2014, v. 87, pp. 87–98.
- [34] Ovejero-Pérez A., Rigual V., Domínguez J.C., Alonso M.V., Oliet M., Rodríguez F. Acidic depolymerization vs ionic liquid solubilization in lignin extraction from eucalyptus wood using the protic ionic liquid 1-methylimidazolium chloride // *International J. of Biological Macromolecules*, 2020, v. 157, pp. 461–469.
- [35] Eller F.J., Kirker G.T., Mankowski M.E., Hay W.T., Palmquist D.E. Effect of burgundy solid extracted from Eastern Red Cedar heartwood on subterranean termites and Wood-decay fungi // *Industrial Crops and Products*, 2020, v. 144, pp. 112–123.
- [36] Du H., Cheng Ju, Wang M., Tian M., Yang X., Wang Q. Red dye extracted sappan wood waste derived activated carbons characterization and dye adsorption properties // *Diamond and Related Materials*, 2020, v. 102, pp. 107–146.

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, ученый секретарь секции «Химии и химической технологии древесины» РХО им. Д.И. Менделеева, kononov@mgul.ac.ru

Липаткин Владимир Александрович — канд. биол. наук, доцент, ФГБОУ ВО «Московский государственный технический университет имени Н.Э. Баумана (национальный исследовательский университет)» (Мытищинский филиал), lipatkin@mgul.ac.ru

Петухов Владимир Алексеевич — студент, ФГБОУ ВО «Московский государственный технический университет имени Н.Э. Баумана (национальный исследовательский университет)» (Мытищинский филиал), Popovivviv24@gmail.com

Федорова Мария Вячеславовна — студент, ФГБОУ ВО «Московский государственный технический университет имени Н.Э. Баумана (национальный исследовательский университет)» (Мытищинский филиал), fdrv.mary@mail.ru

Поступила в редакцию 11.10.2023.

Одобрено после рецензирования 05.03.2024.

Принята к публикации 24.05.2024.

WOOD MYCOLYSIS, ITS PRODUCTS AND THEIR USES

VI. «WHITE ROT» OF WOOD AS A FIBROUS SEMI-FINISHED PRODUCT AND CHEMICAL RAW MATERIALS

G.N. Kononov [✉], **N.L. V.A. Lipatkin**, **V.A. Petukhov**, **M.V. Fedorova**

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

kononov@mgul.ac.ru

The article is devoted to the consideration of possible ways of using wood with «white rot» as a natural product enriched with a carbohydrate component. The results of the study of the process of preliminary delignification and deresining of wood using lignin-destroying fungi or their enzyme systems with the aim of its further use for the production of technical pulps and their refining are presented. Researches on the use of mycologically destroyed wood as a fibrous semi-finished product and ornamental material are given. The possibility of obtaining products from wood with «white rot» by its homogeneous acetylation, carboxymethylation and acid hydrolysis has been studied. This article is the sixth in a series «Wood mycolysis, its products and their use», previous publications in the journal «Lesnoy vestnik / Forestry Bulletin»: 2020, vol. 24, no. 2, no. 6; 2021, vol. 25, no. 1, no. 5; 2022, vol. 26, no. 4.

Keywords: biodelignification, deresining, bleaching, marble pattern, acetylation, hydrolysis

Suggested citation: Kononov G.N., Lipatkin V.A., Petukhov V.A., Fedorova M.V. *Mikoliz drevesiny, ego produkty i ikh ispol'zovanie. VI. «Belaya gnil'» drevesiny kak voloknistyy polufabrikat i khimicheskoe syr'e* [Mycolysis of wood, its products and their uses. VI. «White rot» of wood as a fibrous semi-finished product and chemical raw materials]. *Lesnoy vestnik / Forestry Bulletin*, 2024, vol. 28, no. 4, pp. 118–129. DOI: 10.18698/2542-1468-2024-4-118-129

References

- [1] Kononov G.N., Verevkin A.N., Serdyukova Yu.V., Zaitsev V.D. *Mikoliz drevesiny, ego produkty i ikh ispol'zovanie. I. Ekologicheskie aspekty mikologicheskogo razrusheniya drevesiny* [Wood mycolysis, its products and their use. I. Ecological aspects of mycological wood destruction]. *Lesnoy vestnik / Forestry Bulletin*, 2020, vol. 24, no. 2, pp. 81–87. DOI: 10.18698/2542-1468-2020-2-81-87
- [2] Semenkova I.G. *Fitopatologiya. Derevorazrushayushchie griby gnili i patologicheskie okraski drevesiny* [Plant pathology. Wood-destroying fungi, rot and pathological stains of wood]. Moscow: MGUL, 2008, 72 p.
- [3] Dudkin M.S., Gromov V.S., Vederenikov N.A., Katkevich R.G., Chernov N.K. *Gemitsellyulozy* [Hemicelluloses]. Riga: Zinatne, 1991, 488 p.
- [4] Rodionova N.A., Tiuonova N.A., Feniksova R.V. *Tselyuloliticheskie fermenty Geotrichum Candidum* [Cellulolytic Enzymes of Geotrichum Candidum]. *Dokl. AN SSSR. Ser. Biokhimiya* [Report of the USSR Academy of Sciences. Biochemistry series], 1974, v. 214, no. 5, pp. 1206–1209.
- [5] Sinititsin A.P., Gusakov A.V., Chernoglazov V.M. *Biokonversiya lignotsellyuloznykh materialov* [Biocoversation of Lignocellulosic Materials]. Moscow: MGU, 1995, 219 p.

- [6] Leonowicz A. Biodegradation of lignin by white rot. *Fungal Genet. Biol.* 1999, v. 27, pp. 175–185.
- [7] Kononov G.N. *Himiya drevesiny i ee osnovnykh komponentov. Laboratorniy praktikum* [Chemistry of Wood and Its Main Components. Laboratory Workshop]. Moscow: MGUL, 2005, 138 p.
- [8] Ozolinya N.R., Sergeeva V.N., Abramovich I.L. *Analiticheskie i khimicheskie izmeneniya drevesiny berezy, porazhennoy gribami beylo gnilii* [Analytical and Chemical Changes in Birch Wood Affected by Fungi of White Rot]. *News the Academy of Sciences of the Latvian SSR*, 1987, no. 12, pp. 45–52.
- [9] Kononov G.N. *Himiya drevesiny i ee osnovnykh komponentov* [Chemistry of Wood and Its Main Components]. Moscow: MGUL, 1999, 247 p.
- [10] Piontek K., Smith A.T., Blodig W. Lignin peroxidase structure and function. *Biochem. Soc. Trans.*, 2001, v. 29, pp. 111–116.
- [11] Aleksandrova O.N. *Sovershenstvovanie biologicheskoy otbelki sul'fitnoy tsellyulozy* [Improvement of Biological Bleaching of Sulfite Cellulose] *Khimiya drevesiny* [Wood chemistry], 1993, no. 4, pp. 14–17.
- [12] Aleksandrova G.P., Medvedeva S.A., Babkin V.A., Solov'ev V.A., Malysheva O.N. *Issledovanie nekotorykh faktorov, vliyayushchikh na fermentativnuyu aktivnost' griba Phanerachaete Saguinea* [Study of some factors influencing the enzymatic activity of the fungus *Phanerachaete Saguinea*]. *Khimiya drevesiny* [Wood chemistry], 1993, no. 4, pp. 55–60.
- [13] Golova L.K. *Novoe tsellyuloznoe volokno liotsell* [New Cellulose Fiber Lyocell], 2002, v. XLVI, no. 1, pp. 49–57.
- [14] Akhmenova Z.D. *Lignoliticheskie, ksilanoliticheskie, tsellyuloliticheskie fermenty nekotorykh bazidal'nykh gribov ikh vzaimosvyaz' v razlozhenii lignotsellyulozy* [Lignolytic, xylanolytic, cellulolytic enzymes of some basidial fungi and their relationship in the decomposition of lignocellulose], Tashkent: Academy of Sciences of the Republic of Uzbekistan, Institute of Microbiology, 1999, 42 p.
- [15] Ekabsone Ya., Krejtsberg Z.N., Sergeeva V.N., Kirshbaum I.Z. *Issledovanie enzimaticheskoi razrushennoy drevesiny* [Study of Enzymatically Destroyed Wood]. *Khimiya drevesiny* [Wood chemistry], 1978, no. 2, pp. 61–64.
- [16] Harvey P.J., Floris R., Lundell T. Catalytic mechanisms and regulation of lignin peroxidase. *Biochem. Soc. Trans.*, 1992, v. 20, pp. 345–349.
- [17] Solov'ev V.A. *Kinetika mikogennogo razlozheniya osnovnykh komponentov drevesiny* [Kinetics of Fungal Decay of Wood Components]. *Trudy 4-y mezhdunarodnoy konferentsii «Fundamental'nye issledovaniya v oblasti kompleksnogo ispol'zovaniya drevesiny»* [Proceedings of the 4th international conference «Fundamental research in the field of integrated use of wood»]. Riga: Zinatne, 1982, pp. 53–55.
- [18] Ozolinya N.R. *Anatomicheskie i khimicheskie izmeneniya drevesiny berezy, porazhennoy gribami beylo gnilii* [Anatomical and Chemical Changes in Birch Wood Affected by White Rot Fungi]. *News the Academy of Sciences of the Latvian SSR*, 1987, no. 12, pp. 45–52.
- [19] Solov'ev V.A., Malysheva O.N., Maleva I.L., Saplin V.I. *Izmenenie khimicheskogo sostava drevesiny pod deystviem lignin razrushayushchikh gribov* [Changes in the Chemical Composition of Wood Under the Action of Lignin-Destroying Fungi]. *Khimiya drevesiny* [Wood chemistry], 1985, no. 6, pp. 94–100.
- [20] Rabinovich M.L., Bolobova A.V., Kondrashchenko V.I. *Teoreticheskie osnovy biotekhnologii drevesnykh kompozitov. Kn. 1. Drevesina i razrushayushchie ee griby* [Theoretical Foundations of Wood Composites Biotechnology. Book 1. Wood and Its Destructive Fungi]. Moscow: Nauka, 2001, 264 p.
- [21] Blanchette R.A. Manganese accumulation in wood decayed by white rot fungi. *Phytopathology*, 1984, v. 74, pp. 153–160.
- [22] Bolobova A.V., Askadskiy A.A., Kondrashchenko V.I., Rabinovich M.L. *Teoreticheskie osnovy biotekhnologii drevesnykh kompozitov. Kniga 2. Fermenty, modeli, protsessy* [Theoretical Foundations of Wood Composites Biotechnology. Book 2. Enzymes, Models, Processes]. Moscow: Nauka, 2002, 344 p.
- [23] D'Souza T.M., Merritt C.S., Reddy C.A. Lignin-modifying enzymes from the white-rot basidiomycete *Ganoderma lucidum*. Abstracts of the 96th General Meeting of the American Society for Microbiology. American Society for Microbiology, Washington, D.C., 1996, p. 432.
- [24] Klyagina Yu.P., Smirnov I.V., Struchkova A.N., Trofimov A.N. *Biodestruktsiya lignina iz drevesno-struzhechnykh plit mikroskopicheskimi gribami* [Biodestruction of Lignin from Wood-Chipboards by Microscopic Fungi]. *Khimiya rastitel'nogo syr'ya* [Chemistry of plant materials] 2005, no. 4, pp. 41–44.
- [25] Tyutikov S.S., Petri V.N. *Ispol'zovanie gnilostnykh protsessov dlya oblagorazhivaniya drevesnogo syr'ya pri proizvodstve drevesnykh plastikov* [Using Decay Processes for Processing Wood Raw Materials in the Production of Wood Plastics]. *Prevrashchenie drevesiny pri enzimaticheskoi i mikrobiologicheskoi vozdeystviyakh* [Transformation of wood under enzymatic and microbiological influences]. Riga: Zinatne, 1985, pp. 209–213.
- [26] Ozolinya N.R., Sergeeva V.N., Khokholko S.V., Abramovich Ts.L. *Izmenenie lignina drevesiny berezy pri porazhenii ee gribom Coriolus Hirsutus* [Changes in lignin in birch wood when it is infected with the fungus *Coriolus Hirsutus*]. *Khimiya drevesiny* [Wood Chemistry], 1988, no. 4, pp. 74–79.
- [27] Kazartsev I.A., Roshchin V.I., Solov'ev V.A. *Razlozhenie uglevodov drevesiny Populus Tremula i Picea Abies pod deystviem ligninrazrushayushchikh gribov* [Decomposition of wood carbohydrates *Populus Tremula* and *Picea Abies* under the influence of lignin-degrading fungi]. *Mikologiya i fitopatologiya* [Mycology and Phytopathology], 2014, t. 48, no. 2, pp. 112–117.
- [28] Aguiar A., Gavioli D., Ferraz A. Extracellular activities and wood component losses during *Pinus taeda* biodegradation by the brown-rot fungus *Gloeophyllum tradeum*. *International Biodeterioration and Biodegradation*, 2013, v. 82, no. 8, pp. 187–191.
- [29] Nakazawa T., Izuno A., Horii M. Effects of *pex1* disruption on wood lignin biodegradation, fruiting development and the utilization of carbon sources in the white-rot Agaricomycete *Pleurotus ostreatus* and non-wood decaying Coprinopsis cinerea. *Fungal Genetics and Biology*, 2017, v. 82, no. 12, pp. 7–15.
- [30] WenXu J., DongDing Y., LiLi S., Mao R. Amount and biodegradation of dissolved organic matters leached from tree branches and roots in subtropical plantations of China. *Forest Ecology and Management*, 2021, v. 484, no. 3, pp. 11–28.
- [31] Bilay V.I. *Trasformatsiya tsellyulozy gribami* [Transformation of cellulose by fungi]. Kyiv: Naukova Dumka, 1982, 295 p.
- [32] Luginina A.A., Kuznetsov S.V., Alexandrov A.A., Gainutdinov R.V., Petukhov D.I., Voronov V.V., Chernova E.V., Fedorov P.P. High lignin content cellulose nanofibrils obtained from thermomechanical pulp. *Nanosystems: Physics, Chemistry, Mathematics*, 2022, t. 13, no. 6. C. 698–708.

- [33] Bouslimi B., Koubaa A., Bergeron Y. Effects of biodegradation by brown-rot decay on selected wood properties in eastern white cedar (*Thuja occidentalis* L.). *International Biodeterioration & Biodegradation*, 2014, v. 87, pp. 87–98.
- [34] Ovejero-Pérez A., Rigual V., Domínguez J.C., Alonso M.V., Oliet M., Rodríguez F. Acidic depolymerization vs ionic liquid solubilization in lignin extraction from eucalyptus wood using the protic ionic liquid 1-methylimidazolium chloride. *International J. of Biological Macromolecules*, 2020, v. 157, pp. 461–469.
- [35] Eller F.J., Kirker G.T., Mankowski M.E., Hay W.T., Palmquist D.E. Effect of burgundy solid extracted from Eastern Red Cedar heartwood on subterranean termites and Wood-decay fungi. *Industrial Crops and Products*, 2020, v. 144, pp. 112–123.
- [36] Du H., Cheng Ju, Wang M., Tian M., Yang X., Wang Q. Red dye extracted sappan wood waste derived activated carbons characterization and dye adsorption properties. *Diamond and Related Materials*, 2020, v. 102, pp. 107–146.

Authors' information

Kononov Georgiy Nikolaevich ✉ — Cand. Sci. (Tech.), Associate Professor of the BMSTU (Mytishchi branch), Academician of the Russian Academy of Natural Sciences, the Scientific Secretary of section «Chemistry and engineering chemistry of wood» RHO of D.I. Mendeleev, kononov@mgul.ac.ru

Lipatkin Vladimir Aleksandrovich — Cand. Sci. (Biology), Associate Professor of the BMSTU (Mytishchi branch), lipatkin@mgul.ac.ru

Petukhov Vladimir Alekseevich — student of the BMSTU (Mytishchi branch), Popovivviv24@gmail.com

Fedorova Mariya Vyacheslavovna — student of the BMSTU (Mytishchi branch), fdrv.mary@mail.ru

Received 11.10.2023.

Approved after review 05.03.2024.

Accepted for publication 24.05.2024.

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

КИСЛОТНАЯ ДЕГРАДАЦИЯ ДРЕВЕСНЫХ ОТХОДОВ КАК СПОСОБ ПОЛУЧЕНИЯ ЦЕЛЕВЫХ ПРОДУКТОВ

Г.Л. Олиференко^{1✉}, А.Н. Иванкин¹, А.В. Устюгов²

¹ФГБОУ 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
²ФГБОУ ВО «МИРЭА — Российский технологический университет» (РТУ МИРЭА), Россия, 119454, г. Москва, пр-кт Вернадского, д. 78

oliferenko2@inbox.ru

Показано, что отходы переработки древесины — опилки хвойных и лиственных пород представляют собой уникальный источник химического сырья, значение которого в комплексной химической переработке материалов природного происхождения непрерывно возрастает. Проведено изучение кислотной деградации легкогидролизуемой углеводной части древесных отходов — опилок древесины сосны и дуба, так как она требует меньших энергетических и материальных затрат. Установлены основные условия кислотного гидролиза данного древесного сырья для достижения максимального выхода моносахаридов: использование серной кислоты с массовой долей 5 % или соляной кислоты с массовой долей 2 %; постепенное повышение температуры от 25 °С до кипения раствора в течение 1 ч и выдержка при температуре 100...105 °С в течение 1 ч, гидромодуль 1:100. Определено общее количественное содержание углеводов в полученных гидролизатах в пересчете на глюкозу. Установлено, что в состав получаемой смеси углеводов входят все основные моносахариды — высокопитательные вещества с повышенной биологической ценностью. Рекомендуется использовать выделяемые углеводы в рецептурах питательных сред в качестве быстро усвояемого углеводного компонента для выращивания микроорганизмов и продуктивных сельскохозяйственных животных.

Ключевые слова: древесные опилки, кислотный гидролиз, моносахара, оптимизация условий

Ссылка для цитирования: Олиференко Г.Л., Иванкин А.Н., Устюгов А.В. Кислотная деградация древесных отходов как способ получения целевых продуктов // Лесной вестник / Forestry Bulletin, 2024. Т. 28. № 4. С. 130–137. DOI: 10.18698/2542-1468-2024-4-130-137

Древесина, как известно, является природным, возобновляемым источником сырья, которое широко используется в различных целях [1, 2]. В результате переработки древесины образуется много отходов. Проблема полноценной переработки и дальнейшего практического использования отходов лесопиления и деревообработки в настоящее время определена как актуальная [2], поскольку образующееся количество отходов достаточно значительное и может составлять, например в Российской Федерации, от 40 до 60 % всей массы заготавливаемой древесины [3, 4].

Отходы лесоперерабатывающих предприятий включают в себя опилки, обрезки, стружку и т. д., чаще всего подвергающиеся сжиганию или оставляемые на земле без использования. Малую часть древесных отходов собирают и направляют для химической переработки в качестве базового сырья. В этом отношении представляет интерес полноформатная переработка отходов древесины в полезные полупродукты, например простые моносахара (глюкозу, галактозу, маннозу, арабинозу, ксилозу), а также до сих пор мало используемые лигнин и древесную смолу.

Практическое применение моносахаров растительного происхождения для микробиологи-

ческого синтеза позволяет получать широкий спектр коммерчески привлекательных продуктов, например пищевых и кормовых добавок, полупродуктов для фармацевтической промышленности, а также различных видов биотоплива и компонентов дизельного топлива из сырья древесного происхождения [5–8].

На ближайшую перспективу важное значение приобретают проблемы переработки полисахаридов растительных тканей в простые сахара методом гидролиза для получения на их основе ценных полупродуктов пищевого и кормового назначения. Растительное сырье, подвергаемое гидролитической переработке в присутствии неорганических кислот и щелочей или действию ферментов, становится хорошим субстратом для выращивания полезных микроорганизмов, а также является перспективным сырьем для промышленной биотехнологии [9, 10].

Несмотря на значимость проблемы, данные по кинетическому образованию моносахаридов из древесной матрицы, представляющие существенный интерес для разработки технологических решений и установления методологии оптимального получения легкоусвояемых углеводсодержащих питательных компонентов, в научной литературе ограничены [11]. Использование современных аналитических методов

идентификации моносахаридов, основанных на селективном анализе индивидуальных веществ, позволяет восполнить этот пробел [12, 13].

Цель работы

Цель работы — изучение кислотной деградации древесных отходов в виде опилок сосны и дуба, установление основных условий кислотного гидролиза древесного сырья и возможности получения сбалансированной по составу смеси сахаров для последующего получения компонентов питательных микробиологических сред и кормов для сельскохозяйственных животных.

Материалы и методы

Объектом исследования служили древесные отходы — опилки сосны и дуба, образующиеся при лесопилении и деревообработке. В качестве гидролизующего агента применяли серную и соляную кислоты, а также использовали в качестве стандартов сахаров арабинозу (Ara), галактозу (Gal), глюкозу (Glc), ксилозу (Xyl), маннозу (Man), фруктозу (Fru), рибозу (Rib), сахарозу (Sug) и лактозу (Lac).

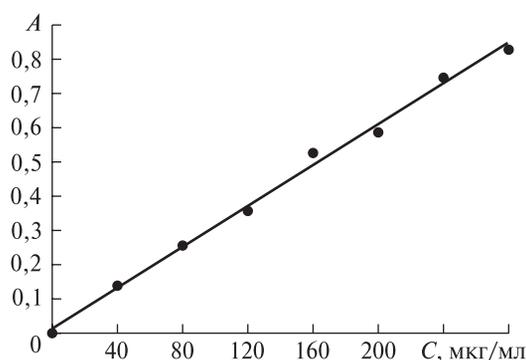
Общее количественное содержание углеводов в гидролизатах определяли модифицированным фотометрическим методом с антроном в пересчете на глюкозу [14]. Антрон является высокопоглощающим в определенной области спектра аналитическим реагентом при обнаружении углеводов. При нагревании раствора углевода с раствором антрона в концентрированной серной кислоте образуются соединения синезеленого цвета, которые обладают высокой светочувствительностью при длинах волн, устанавливаемых на обычных спектрофотометрах.

Модифицированный фотометрический метод основан на измерении светопоглощения окрашенных комплексов углеводов с антроновым реагентом при длине волны $\lambda = 540$ нм.

Стандартный раствор глюкозы готовили растворением 0,5 г $C_6H_{12}O_6$ в дистиллированной воде в мерной колбе вместимостью 100 мл. Получали раствор с содержанием 5 мг/мл Glc. Антроновый реагент готовили растворением суспензии 0,25 г антрона в смеси с 25 мл воды в 100 мл концентрированной серной кислоты.

Для выполнения анализа готовили эталонные растворы. Для этого приготавливали семь эталонных (стандартных) растворов Glc, содержащих 20, 50, 100, 150, 200, 250 и 300 мкг/мл углевода. Для этого в мерные колбы емкостью 100 мл помещали последовательно 0,4; 1; 2; 3; 4; 5; 6 мл стандартного раствора Glc, доводили объем каждого раствора до 100 мл дистиллированной водой и перемешивали до полного растворения.

Для построения градуировочного графика, в восемь пробирок наливали по 5 мл антронового реактива и осторожно по стенке приливали в первую — 0,5 мл воды, а в остальные пробирки по 0,5 мл эталонных растворов глюкозы с возрастающей концентрацией. Пробирки выдерживали при температуре 90...100 °С в течение 15 мин с использованием кипящей водяной бани, охлаждали до комнатной температуры и измеряли последовательно поглощение всех эталонных растворов, применяя в качестве раствора сравнения смесь из первой пробирки. Измерения проводили в кюветах с толщиной поглощающего слоя 1 см при длине волны $\lambda = 540$ нм. Строили градуировочный график в координатах: концентрация глюкозы C (мкг/мл) — оптическая плотность A (рисунок).



Зависимость оптической плотности растворов глюкозы с антроновым реагентом при длине волны $\lambda = 540$ нм от концентрации глюкозы

Dependence of the optical density of glucose solutions with anthrone reagent at wavelength $\lambda = 540$ nm on glucose concentration

Для определения содержания углеводов в анализируемом растворе отбирали 0,5 мл исследуемого гидролизата древесных опилок и приливали его к 5 мл антронового реактива, выдерживали полученную смесь в пробирке при температуре 90...100 °С в течение 15 мин, охлаждали до комнатной температуры и измеряли оптическую плотность в тех же условиях. Пользуясь градуировочным графиком, находили концентрацию углевода в анализируемом растворе. В случае высокого содержания углеводов и выхода наблюдаемых значений за пределы сохранения линейности (при $A > 2$) гидролизат разбавляли.

Мягкий гидролиз полисахаридов проводили 1...10%-ми минеральными кислотами (серной и соляной) при температуре кипения раствора 100...105 °С. Для этого навеску высушенных опилок массой 2 г помещали в коническую колбу вместимостью 500 мл, добавляли 200 мл раствора кислоты и кипятили с обратным холодильником на электрической плитке. По окончании гидролиза опилки отфильтровывали через обеззоленный фильтр.

Изучение состава углеводов в гидролизатах проводили методом высокоэффективной анионообменной хроматографии с электрохимическим детектированием искоемых соединений по условиям стандартного метода измерения количества Glc в некоторых растительных продуктах пищевого назначения [15]. Для выполнения хроматографического анализа состава углеводов использовали хроматографическую систему BioLC производства компании DIONEX (Германия), включающую в себя градиентный насос GS50, электрохимический детектор ED50, генератор элюента EG50 Generatorc 10 mN NaOH, хроматографический термостат LC25 с колонкой CarboPac, PA20. В качестве стандартных растворов углеводов использовали свежеприготовленные растворы стандартов сахаров концентрацией 1 мг/мл. Для автоматической градуировки прибора применяли рабочие стандартные растворы концентрацией 0,001 мг/мл, которые готовили соответствующим разведением основных стандартных растворов.

Эксперименты проводили в трех повторностях. Статистическую обработку результатов осуществляли по стандартным методикам [16]. Полученные результаты не выходили за пределы доверительной вероятности $P = 0,95$.

Результаты и обсуждение

Изучен процесс кислотной деградации древесного сырья с высвобождением легкогидролизуемой углеводной части древесных отходов, поскольку такой процесс требует меньших энергетических и материальных затрат, прост в аппаратурном оформлении и позволяет получать достаточное количество целевого продукта в сравнительно простых условиях.

Легкогидролизуемые полисахариды (гемицеллюлозы) удаляются из древесного сырья до определенного предела гидролизом с разбавленными кислотами при повышенной температуре [16, 17].

В серии опытов по водному гидролизу опилок в настоящей работе варьировались параметры гидролиза — температура, гидромодуль, продолжительность процесса, количество ступеней гидролиза. Максимальный суммарный выход моносахаридов — 18...21 % массы сухой древесины — был достигнут при четырехступенчатом гидролизе. Однако экономически целесообразнее проводить одноступенчатый гидролиз, для которого были установлены следующие условия достижения максимального выхода моносахаридов: постепенное повышение температуры от 25 °C в течение 1 ч до кипения и выдерживание при температуре 100...105 °C еще 1 ч, гидромодуль 1:100. Выход целевых веществ при этом составлял 16...17 % (табл. 1–3).

Т а б л и ц а 1

Содержание углеводов в гидролизатах сосновых опилок при гидролизе 5%-й серной кислотой

Carbohydrate content in hydrolysates of pine sawdust upon hydrolysis with 5 % sulfuric acid

Номер по порядку	Время обработки, ч	Содержание углеводов, мг/мл
1	0,25	0,05
2	0,5	0,30
3	1,0	1,30
4	1,5	1,60
5	2,0	1,62
6	2,5	1,60
7	3,0	1,47
8	4,0	1,39
9	5,0	1,26
10	6,0	1,21

Т а б л и ц а 2

Содержание углеводов в гидролизатах дубовых опилок при гидролизе 5%-й серной кислотой

Carbohydrate content in hydrolysates of oak sawdust upon hydrolysis with 5 % sulfuric acid

Номер по порядку	Время обработки, ч	Содержание углеводов, мг/мл
1	0,25	0,08
2	0,5	0,35
3	1,0	1,39
4	1,5	1,72
5	2,0	1,74
6	2,5	1,65
7	3,0	1,56
8	4,0	1,48
9	5,0	1,36
10	6,0	1,33

Из данных табл. 1–3 следует, что «мягкий» кислотный гидролиз позволяет извлекать до 16...17 % свободных углеводов из древесного сырья. Учитывая, что в исследуемом древесном сырье общее содержание легкогидролизуемых полисахаридов составляет 18...21 % [11, 19], эффективность извлечения сахаров является сопоставимой. Оптимальное время гидролиза гемицеллюлоз сосны и дуба составляет в среднем 1,5...2 ч. Дальнейшая температурная обработка приводит, по-видимому, к распаду простых углеводов.

Таким образом, в результате анализа данных фотометрических исследований по накоплению сахаров при кислотном гидролизе древесных опилок определены условия достижения наибольшей степени конверсии высвобождения моносахаров

Т а б л и ц а 3
Содержание углеводов в гидролизатах
сосновых опилок при гидролизе
2%-й соляной кислотой

Content of carbohydrates in hydrolysates of pine sawdust
upon hydrolysis with 2 % hydrochloric acid

Номер по порядку	Время обработки, ч	Содержание углеводов, мг/мл
1	0,25	0,06
2	0,5	0,33
3	1,0	1,37
4	1,5	1,59
5	2,0	1,63
6	2,5	1,52
7	3,0	1,53
8	4,0	1,44
9	5,0	1,38
10	6,0	1,29

Т а б л и ц а 4
Количество углеводов (мг/мл),
высвобождаемых из древесной биомассы при
гидролизе сосновых опилок 5%-й серной
кислотой, в зависимости от времени (ч)
обработки

The amount of carbohydrates (mg/ml) released from
woody biomass during hydrolysis of pine sawdust with 5 %
sulfuric acid, depending on the time (h) of treatment

Углевод	Время обработки, ч					
	0,5	1,0	1,5	2,0	2,5	4,0
Ara	0,032	0,098	0,121	0,123	0,116	0,096
Gal	0,043	0,146	0,163	0,164	0,158	0,149
Glc	0,056	0,187	0,224	0,228	0,226	0,216
Man	0,114	0,642	0,773	0,784	0,756	0,693
Xyl	0,053	0,248	0,312	0,318	0,224	0,202
Сумма	0,298	1,321	1,593	1,617	1,480	1,356

Т а б л и ц а 5
Количество углеводов (мг/мл),
высвобождаемых из древесной биомассы
при гидролизе дубовых опилок
5%-й серной кислотой, в зависимости
от времени (ч) обработки

The amount of carbohydrates (mg/ml) released from
woody biomass during hydrolysis of oak sawdust with 5%
sulfuric acid, depending on the time (h) of treatment

Углевод	Время обработки, ч					
	0,5	1,0	1,5	2,0	2,5	4,0
Ara	0,021	0,059	0,073	0,074	0,060	0,044
Gal	0,062	0,116	0,139	0,136	0,130	0,110
Glc	0,025	0,083	0,110	0,108	0,106	0,102
Man	0,016	0,071	0,084	0,082	0,080	0,076
Xyl	0,236	1,075	1,332	1,337	1,280	1,156
Сумма	0,360	1,404	1,738	1,737	1,656	1,488

из легкогидролизуемых полисахаридов: температура 100...105 °С, время 1,5...2 ч, концентрация кислоты 2...5 % масс.

В табл. 4 и 5 представлены результаты высвобождения минорных сахаров из использованных растительных объектов по данным хроматографического анализа.

Суммарное количество идентифицированных ди- и моносахаридов — Fru, Rib, Sug и Lac в растворе в реакционных смесях не превышало концентрацию в 0,01 мг/мл.

Из полученных результатов исследования следует, что опилки сосны и дуба являются разноплановыми источниками сахаров. Соотношение основных углеводов Ara:Gal:Glc:Man:Xyl при сернокислотном гидролизе согласно хроматографическим данным для сосны составляет 1:1,33:1,87:6,4:2,6, в то время как для дубовых опилок — 1:1,89:1,44:1,11:18,1. Соотношения сахаров в полученных гидролизатах соответствуют их естественному природному содержанию в растительном сырье [19].

В состав получаемой смеси углеводов входят все основные моносахариды, которые являются высокопитательными веществами с повышенной биологической ценностью и могут использоваться в рецептурах питательных сред в качестве быстро усвояемого углеводного компонента. В частности, гидролизаты можно использовать в составе микробиологической среды для интенсивного выращивания микрофлоры и в качестве ингредиентов кормов для выращивания продуктивных животных [2].

Проведенные предварительные испытания показали, что включение 2 % (массовая доля) полученных древесных моносахаров в состав стандартной питательной среды при культивировании штамм-продуцента E. Coli 1864 позволяет увеличивать выход биомассы более чем в 1,5 раза при культивировании клеток данной культуры в колбе и более чем в 3 раза, при культивировании этой же культуры в опытном 10-литровом ферментере.

Аналогичные испытания показали положительные результаты по ускорению наращивания мышечной массы поросят при добавлении полученных из дубовых опилок моносахаров в рецептуру корма [20–37].

Выводы

Проведенные исследования по кислотному гидролизу древесины позволили выявить условия получения углеводных компонентов из древесных отходов и растительного сырья для последующего использования в качестве добавок в корма сельскохозяйственных животных и ингредиентов пищевых систем. Использование древесных отходов (опилок, стружки) в качестве сырьевого

источника для получения целевых продуктов является актуальным, как с точки зрения защиты окружающей среды от вредных воздействий, так и с точки зрения решения проблемы более экономного использования растительного сырья.

Список литературы

- [1] Rimantho D., Hidayah N.Y., Pratomo V.A., Saputra A., Akbar I., Sundari A.S. The strategy for developing wood pellets as sustainable renewable energy // *Heliyon*, 2023, v. 9, no. 3, e14217. <https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2023.e14217>
- [2] Кузнецов Б.Н., Кузнецова С.А., В.Е. Тарабанько. Новые методы получения химических продуктов из биомассы деревьев сибирских пород // *Российский химический журнал*, 2004. Т. 48. № 3. С. 4–20.
- [3] Dudzic P., Stachowicz P., Stolarski M.J. Diversity of properties of sawmill residues used as feedstock for energy generation // *Renewable Energy*, 2023, v. 202, no. 1, pp. 822–833. <https://doi.org/10.1016/j.renene.2022.12.002>
- [4] Сушкова В.И., Воробьева Г.И. Безотходная конверсия растительного сырья в биологически активные вещества. М.: Экология, 2007. 204 с.
- [5] Ertl P., Zebeli Q., Zollitsch W., Knaus W. Feeding of wheat bran and sugar beet pulp as sole supplements in high-forage diets emphasizes the potential of dairy cattle for human food supply // *J. of Dairy Science*, 2016, v. 99, no. 2, pp. 1228–1236. <https://doi.org/10.3168/jds.2015-10285>
- [6] Choi S.E., Wright D.R., Bleich S.N. Impact of restricting sugar-sweetened beverages from the supplemental nutrition assistance program on children's health // *American J. of Preventive Medicine*, 2021, v. 60, no. 2, pp. 276–284. <https://doi.org/10.1016/j.amepre.2020.08.023>
- [7] Иванкин А.Н. Химическая и биодеградация белковых компонентов растительного происхождения // *Лесной вестник / Forestry Bulletin*, 2023. Т. 27. № 1. С. 85–94. DOI: 10.18698/2542-1468-2023-1-85-94
- [8] Xu L., Wang Z., Sun F., Cao Y., Zhong C., Zhang W.B. Harnessing proteins for engineered living materials // *Current Opinion in Solid State and Materials Science*, 2021, v. 25, no. 1, p. 100896. doi.org/10.1016/j.cossms.2020.100896
- [9] Liu D., Tang W., Yin J.Y., Nie S.P., Xie M.Y. Monosaccharide composition analysis of polysaccharides from natural sources: Hydrolysis condition and detection method development // *Food Hydrocolloids*, 2021, v. 11, no. 7, p. 106641. <https://doi.org/10.1016/j.foodhyd.2021.106641>
- [10] Zeng S., Long J., Sun J., Wang G., Zhou L. A review on peach gum polysaccharide: Hydrolysis, structure, properties and applications // *Carbohydrate Polymers*, 2022, v. 279, no. 3, p. 119015. <https://doi.org/10.1016/j.carbpol.2021.119015>
- [11] Сушкова В.И., Устюжанинова Л.В., Березина О.В., Яроцкий С.В. Методы подготовки растительного сырья к биоконверсии в кормовые продукты и биоэтанол // *Химия растительного сырья*, 2016. № 1. С. 93–119.
- [12] Gibier M., Sadeghisadeghabad M., Girods P., Zoulalian A., Rogaume Y. Furniture wood waste depollution through hydrolysis under pressurized water steam: Experimental work and kinetic modelization // *J. of Hazardous Materials*, 2022, v. 436, no. 8, p. 129126. <https://doi.org/10.1016/j.jhazmat.2022.129126>
- [13] Wang X., Xing Z., Zhang Q., Hu D., Lv J., Wu C., Zhou W., Din U. Effects of various durations of enzyme hydrolysis on properties of starch-based wood adhesive // *International J. of Biological Macromolecules*, 2022, v. 205, no. 4, pp. 664–671. <https://doi.org/10.1016/j.ijbiomac.2022.02.036>
- [14] Иванкин А.Н., Олиференко Г.Л., Куликовский А.В. Аналитическая химия. М.: КНОРУС, 2021. 300 с.
- [15] ГОСТ Р 51880–2002. Определение массовых долей свободных и общих углеводов. Метод высокоэффективной анионной хроматографии. М.: Изд-во стандартов, 2002. 12 с.
- [16] Нейросеть Chat GPT. URL: <https://gpt-chatbot.ru/> (дата обращения 15.10.2023).
- [17] Винокуров М.А. Суходолов А.П. Гидролизная промышленность. Иркутск: Изд-во БГУЭП, 2009. 292 с.
- [18] Hou M., Wang L., Ma Q., Xiao T., Sun Y., Guo Y. Impact of dilute acid treatment on improving the selectivity of lignin and hemicellulose removals from pre-hydrolysis liquor // *J. of Water Process Engineering*, 2023, v. 53, no. 7, p. 103667. <https://doi.org/10.1016/j.jwpe.2023.103667>
- [19] Кононов Г.Н. Дендрохимия. Т. 1. М.: МГУЛ, 2015. 480 с.
- [20] Иванкин А.Н., Зарубина А.Н., Олиференко Г.Л., Леонтьев П.К., Бабурина М.И., Зарубин Н.Ю., Вострикова Н.Л., Куликовский А.В. Физико-химическая деградация полисахаридных компонентов растительного сырья для формирования пищевых систем // *Инновационные процессы в пищевых технологиях: наука и практика: Материалы Международной науч.-практ. конф., 19–20 февраля 2019 г., г. Москва. Москва: Изд-во ВНИИЗЖ, 2019. С. 158–163.*
- [21] Aphicho K., Narongyot Kittipanukul N., Uttamapinant C. Visualizing the complexity of proteins in living cells with genetic code expansion // *Current Opinion in Chemical Biology*, 2022, v. 66, no. 2, p. 102108. doi.org/10.1016/j.cbpa.2021.102108
- [22] Junprung W., Supungul P., Tassanakajon A. Structure, gene expression, and putative functions of crustacean heat shock proteins in innate immunity // *Developmental & Comparative Immunology*, 2021, v. 115, no. 1, p. 103875. doi.org/10.1016/j.dci.2020.103875
- [23] Hata H., Nishiyama M., Kitao A. Molecular dynamics simulation of proteins under high pressure: Structure, function and thermodynamics // *Biochimica et Biophysica Acta. General Subjects*, v. 1864, no. 2, p. 129395. doi.org/10.1016/j.bbagen.2019.07.004
- [24] Riga P., Benedicto L., Gil-Izquierdo A., Jacinta Collado-González J., Ferreres F., Medina S. Diffuse light affects the contents of vitamin C, phenolic compounds and free amino acids in lettuce plants // *Food Chemistry*, 2019, v. 272, no. 1, pp. 227–234. doi.org/10.1016/j.foodchem.2018.08.051
- [25] Matsubara Y., Ishigaki T., Koshikawa K. Changes in free amino acid concentrations in mycorrhizal strawberry plants // *Scientia Horticulturae*, v. 119, no. 4, pp. 392–396. doi.org/10.1016/j.scienta.2008.08.025
- [26] Teimouri S., Kasapis S., Dokouhaki M. Diffusional characteristics of food protein-based materials as nutraceutical delivery systems // *Trends in Food Science & Technology*, 2022, v. 122, no. 4, pp. 201–210. doi.org/10.1016/j.tifs.2022.02.025
- [27] Neklyudov A.D., Ivankin A.N., Berdutina A.V. Properties and uses of protein hydrolysates (Review) // *Applied Biochemistry and Microbiology*, 2000, v. 36, no. 5, pp. 452–459. doi.org/10.1007/BF02731888
- [28] Jain B.M., Badve M.P. A novel process for synthesis of soybean protein hydrolysates and study of its effectiveness as a biostimulant and emulsifier // *Chemical Engineering and Processing — Process Intensification*, 2022, v. 174, no. 4, p. 108880. doi.org/10.1016/j.cep.2022.108880
- [29] Hea W., Guo F., Jiang Y., Liu X., Chen J. Enzymatic hydrolysates of soy protein promote the physicochemical stability of mulberry anthocyanin extracts in food processing // *Food Chemistry*, 2022, v. 386, no. 8, p. 132811. doi.org/10.1016/j.foodchem.2022.132811

- [30] Babini E., Tagliazucchi D., Martini S., Piu L.D., Andre-aGianotti A. Identification of novel antioxidant peptides obtained by enzymatic and microbial hydrolysis of vegetable proteins // *Food Chemistry*, 2017, v. 228, no. 8, pp. 186–196. doi.org/10.1016/j.foodchem.2017.01.143
- [31] Hadidia M., Jafarzadeh S., Forough M., Garavand F., Alizadeh S., Salehabadi A., Khaneghah A.M., MahdiJafari S. Plant protein-based food packaging films; recent advances in fabrication, characterization, and applications // *Trends in Food Science & Technology*, 2022, v. 120, no. 2, pp. 154–173. doi.org/10.1016/j.tifs.2022.01.013
- [32] Lu X., Ma R., Qiu H., Sun C., Tian Y. Mechanism of effect of endogenous/exogenous rice protein and its hydrolysates on rice starch digestibility // *International J. of Biological Macromolecules*, 2021, v. 193 A, no. 12, pp. 311–318. doi.org/10.1016/j.ijbiomac.2021.10.140
- [33] Saha B.C., Hayashi K. Debittering of protein hydrolyzates // *Biotechnology Advances*, 2001, v. 19, no. 5, pp. 355–370. doi.org/10.1016/S0734-9750(01)00070-2
- [34] Ziero H.D., Ampese L.C., Sganzerla W.G., Torres-Mayanga P.C., Timko M.T. Subcritical water hydrolysis of poultry feathers for amino acids production // *The J. of Supercritical Fluids*, 2022, v. 181, no. 2, p. 105492. doi.org/10.1016/j.supflu.2021.105492
- [35] Guevara-Zambrano J.M., Verkempinck S.H., Hernandez-Ruiz L., Infantes-Garcia M.R., Hendrick M.E., Loe A.M., Grauwet T. Digestion kinetics of lipids and proteins in plant-based shakes: Impact of processing conditions and resulting structural properties // *Food Chemistry*, 2022, v. 382, no. 7, p. 132306. doi.org/10.1016/j.foodchem.2022.132306
- [36] Yu Q., Baroutian S., Xie J. Hydrothermal co-hydrolysis of corncob/sugarcane bagasse/Broussonetia papyrifera blends: Kinetics, thermodynamics and fermentation // *Bioresource Technology*, 2021, v. 342, no. 12, 125923. doi.org/10.1016/j.biortech.2021.125923
- [37] Liew C.S., Raksasat R., Rawindran H., Kiatkittipong W., Lim J.W. Hydrolysis kinetics for solubilizing waste activated sludge at low temperature thermal treatment derived from multivariate non-linear model // *Chemosphere*, 2022, v. 292, no. 4, 133478. doi.org/10.1016/j.chemosphere.2021.133478

Сведения об авторах

Олиференко Галина Львовна [✉] — канд. хим. наук, доцент кафедры химии и химических технологий в лесном комплексе, ФГБОУ ВО «Московский государственный технический университет имени Н.Э. Баумана (национальный исследовательский университет)» (Мытищинский филиал), oliferenko2@inbox.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@mgul.ac.ru

Устюгов Александр Викторович — канд. хим. наук, доцент кафедры общей химической технологии, ФГБОУ ВО «МИРЭА — Российский технологический университет» (РТУ МИРЭА), ustyugov.alexandr@mail.ru

Поступила в редакцию 05.10.2023.

Одобрено после рецензирования 21.02.2024.

Принята к публикации 02.05.2024.

WOOD WASTE ACID DEGRADATION TO OBTAIN TARGET PRODUCTS

G.L. Oliferenko^{1✉}, A.N. Ivankin¹, A.V. Ustyugov²

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

²MIREA — Russian Technological University, Vernadskogo Prospekt, 78, 119454, Moscow, Russia

oliferenko2@inbox.ru

It is shown that wood processing waste such as sawdust of coniferous and hardwood species is a unique source of chemical raw materials, the importance of which in the complex chemical processing of materials of natural origin is constantly increasing. The article studies the acid degradation of the easily hydrolyzed carbohydrate part of wood waste as pine and oak sawdust, since it requires less energy and material costs. The basic conditions for acid hydrolysis of this wood raw material have been established to achieve the maximum yield of monosaccharides: the use of sulfuric acid with a mass fraction of 5 % or hydrochloric acid with a mass fraction of 2%; gradual increase in temperature from 25 °C to boiling solution for 1 hour and holding at a temperature of 100...105 °C for 1 hour, hydromodulus 1:100. The total quantitative content of carbohydrates in the obtained hydrolysates was determined in terms of glucose. It has been established that the resulting mixture of carbohydrates includes all the main monosaccharides as highly nutritious substances with increased biological value. It is recommended to use the released carbohydrates in nutrient media formulations as a quickly digestible carbohydrate component for growing microorganisms and productive farm animals.

Keywords: sawdust, acid hydrolysis, monosaccharides, optimization of conditions

Suggested citation: Oliferenko G.L., Ivankin A.N., Ustyugov A.V. *Kislotnaya degradatsiya drevesnykh ot-khodov kak sposob polucheniya tselevykh produktov* [Wood waste acid degradation to obtain target products]. *Lesnoy vestnik / Forestry Bulletin*, 2024, vol. 28, no. 4, pp. 130–137. DOI: 10.18698/2542-1468-2024-4-130-137

References

- [1] Rimantho D., Hidayah N.Y., Pratomo V.A., Saputra A., Akbar I., Sundari A.S. The strategy for developing wood pellets as sustainable renewable energy. *Heliyon*, 2023, v. 9, no. 3, e14217. <https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2023.e14217>
- [2] Kuznetsov B.N., Kuznetsova S.A., Tarabanko V.E. *Novye metody polucheniya himicheskikh produktov iz biomassy derev'ev sibirskih porod* [New methods for obtaining chemical products from the biomass of Siberian trees]. *Rossiyskiy khimicheskiy zhurnal* [Russian chemical journal], 2004, v. 48, no. 3, p. 4–20.
- [3] Dudziec P., Stachowicz P., Stolarski M.J. Diversity of properties of sawmill residues used as feedstock for energy generation. *Renewable Energy*, 2023, v. 202, no. 1, pp. 822–833. <https://doi.org/10.1016/j.renene.2022.12.002>
- [4] Sushkova V.I., Vorobyova G.I. *Bezothodnaya konversiya rastitel'nogo syr'ya v biologicheski aktivnye veshchestva* [Waste-free conversion of plant raw materials into biologically active substances]. Moscow: Ecology, 2007, 204 p.
- [5] Ertl P., Zebeli Q., Zollitsch W., Knaus W. Feeding of wheat bran and sugar beet pulp as sole supplements in high-forage diets emphasizes the potential of dairy cattle for human food supply. *J. of Dairy Science*, 2016, v. 99, no. 2, pp. 1228–1236. <https://doi.org/10.3168/jds.2015-10285>
- [6] Choi S.E., Wright D.R., Bleich S.N. Impact of restricting sugar-sweetened beverages from the supplemental nutrition assistance program on children's health. *American J. of Preventive Medicine*, 2021, v. 60, no. 2, pp. 276–284. <https://doi.org/10.1016/j.amepre.2020.08.023>
- [7] Ivankin A.N. *Khimicheskaya i biodegradatsiya belkovykh komponentov rastitel'nogo proiskhozhdeniya* [Chemical and biological degradation of phytochemical protein components]. *Lesnoy vestnik / Forestry Bulletin*, 2023, vol. 27, no. 1, pp. 85–94. DOI: 10.18698/2542-1468-2023-1-85-94
- [8] Xu L., Wang Z., Sun F., Cao Y., Zhong C., Zhang W.B. Harnessing proteins for engineered living materials. *Current Opinion in Solid State and Materials Science*, 2021, v. 25, no. 1, p. 100896. doi.org/10.1016/j.cossms.2020.100896
- [9] Liu D., Tang W., Yin J.Y., Nie S.P., Xie M.Y. Monosaccharide composition analysis of polysaccharides from natural sources: Hydrolysis condition and detection method. *Food Hydrocolloids*, 2021, v. 11, no. 7, p. 106641. <https://doi.org/10.1016/j.foodhyd.2021.106641>
- [10] Zeng S., Long J., Sun J., Wang G., Zhou L. A review on peach gum polysaccharide: Hydrolysis, structure, properties and applications. *Carbohydrate Polymers*, 2022, v. 279, no. 3, p. 119015. <https://doi.org/10.1016/j.carbpol.2021.119015>
- [11] Sushkova V.I., Ustyuzhaninova L.V., Berezina O.V., Yarotskiy S.V. *Metody podgotovki rastitel'nogo syr'ya k biokonversii v kormovye produkty i bioetanol* [Methods for preparing plant raw materials for bioconversion into feed products and bioethanol]. *Khimiya rastitel'nogo syr'ya* [Chemistry of Plant Raw Materials], 2016, no. 1, pp. 93–119.
- [12] Gibier M., Sadeghisadeghabad M., Girods P., Zoulalian A., Rogaume Y. Furniture wood waste depollution through hydrolysis under pressurized water steam: Experimental work and kinetic modelization. *J. of Hazardous Materials*, 2022, v. 436, no. 8, p. 129126. <https://doi.org/10.1016/j.jhazmat.2022.129126>
- [13] Wang X., Xing Z., Zhang Q., Hu D., Lv J., Wu C., Zhou W., Din U. Effects of various durations of enzyme hydrolysis on properties of starch-based wood adhesive. *International J. of Biological Macromolecules*, 2022, v. 205, no. 4, pp. 664–671. <https://doi.org/10.1016/j.ijbiomac.2022.02.036>
- [14] Ivankin A.N., Oliferenko G.L., Kulikovskiy A.V. *Analiticheskaya himiya* [Analytical chemistry]. Moscow: Knorus, 2021, 300 p.
- [15] GOST RU 51880. *Opredelenie massovykh doley svobodnykh i obshchih uglevodov. Metod vysokoeffektivnoy anionnoy hromatografii* [Determination of mass fractions of free and total carbohydrates. High performance anion chromatography method]. Moscow: Standards, 2002, 12 p.
- [16] Neyroset' Chat GPT. Available at: <https://gpt-chatbot.ru/> (accessed 15.10.2023).
- [17] Vinokurov M.A., Sukhodolov A.P. *Gidroliznaya promyshlennost'* [Hydrolysis industry]. Irkutsk: BGUEP, 2009, 292 p.
- [18] Hou M., Wang L., Ma Q., Xiao T., Sun Y., Guo Y. Impact of dilute acid treatment on improving the selectivity of lignin and hemicellulose removals from pre-hydrolysis liquor. *J. of Water Process Engineering*, 2023, v. 53, no. 7, p. 103667. <https://doi.org/10.1016/j.jwpe.2023.103667>
- [19] Kononov G.N. *Dendrokhimiya* [Dendrochemistry] Part 1. Moscow: MSFU, 2015, 480 p.
- [20] Ivankin A.N., Zarubina A.N., Oliferenko G.L., Leontiev P.K., Baburina M.I., Zarubin N.Yu., Vostrikova N.L., Kulikovskiy A.V. *Fiziko-himicheskaya degradatsiya polisaharidnykh komponentov rastitel'nogo syr'ya dlya formirovaniya pishchevyykh sistem* [Physico-chemical degradation of polysaccharide components of plant raw materials for the formation of food systems]. Innovative processes in food technologies: science and practice: materials of the International Scientific and Practical Conference (February 19–20, 2019, Moscow). Moscow: VNIIZ – branch of the V.M. Gorbатов Federal Research Center for Food Systems of Russian Academy of Sciences, 2019, pp. 158–163.
- [21] Aphicho K., Narongyot Kittipanukul N., Uttamapinant C. Visualizing the complexity of proteins in living cells with genetic code expansion. *Current Opinion in Chemical Biology*, 2022, v. 66, no. 2, p. 102108. doi.org/10.1016/j.cbpa.2021.102108
- [22] Junprung W., Supungul P., Tassanakajon A. Structure, gene expression, and putative functions of crustacean heat shock proteins in innate immunity. *Developmental & Comparative Immunology*, 2021, v. 115, no. 1, p. 103875. doi.org/10.1016/j.dci.2020.103875
- [23] Hata H., Nishiyama M., Kitao A. Molecular dynamics simulation of proteins under high pressure: Structure, function and thermodynamics. *Biochimica et Biophysica Acta. General Subjects*, v. 1864, no. 2, p. 129395. doi.org/10.1016/j.bbagen.2019.07.004
- [24] Riga P., Benedicto L., Gil-Izquierdo A., JacintaCollado-González J., Ferreres F., Medina S. Diffuse light affects the contents of vitamin C, phenolic compounds and free amino acids in lettuce plants. *Food Chemistry*, 2019, v. 272, no. 1, pp. 227–234. doi.org/10.1016/j.foodchem.2018.08.051
- [25] Matsubara Y., Ishigaki T., Koshikawa K. Changes in free amino acid concentrations in mycorrhizal strawberry plants. *Scientia Horticulturae*, v. 119, no. 4, pp. 392–396. doi.org/10.1016/j.scienta.2008.08.025
- [26] Teimouri S., Kasapis S., Dokouhaki M. Diffusional characteristics of food protein-based materials as nutraceutical delivery systems. *Trends in Food Science & Technology*, 2022, v. 122, no. 4, pp. 201–210. doi.org/10.1016/j.tifs.2022.02.025
- [27] Neklyudov A.D., Ivankin A.N., Berdutin A.V. Properties and uses of protein hydrolysates (Review). *Applied Biochemistry and Microbiology*, 2000, v. 36, no. 5, pp. 452–459. doi.org/10.1007/BF02731888

- [28] Jain B.M., Badve M.P. A novel process for synthesis of soybean protein hydrolysates and study of its effectiveness as a biostimulant and emulsifier. *Chemical Engineering and Processing — Process Intensification*, 2022, v. 174, no. 4, p. 108880. doi.org/10.1016/j.cep.2022.108880
- [29] Hea W., Guo F., Jiang Y., Liu X., Chen J. Enzymatic hydrolysates of soy protein promote the physicochemical stability of mulberry anthocyanin extracts in food processing. *Food Chemistry*, 2022, v. 386, no. 8, p. 132811. doi.org/10.1016/j.foodchem.2022.132811
- [30] Babini E., Tagliazucchi D., Martini S., Piu L.D., AndreaGianotti A. Identification of novel antioxidant peptides obtained by enzymatic and microbial hydrolysis of vegetable proteins. *Food Chemistry*, 2017, v. 228, no. 8, pp. 186–196. doi.org/10.1016/j.foodchem.2017.01.143
- [31] Hadidia M., Jafarzadeh S., Forough M., Garavand F., Alizadeh S., Salehabadi A., Khaneghah A.M., MahdiJafari S. Plant protein-based food packaging films; recent advances in fabrication, characterization, and applications. *Trends in Food Science & Technology*, 2022, v. 120, no. 2, pp. 154–173. doi.org/10.1016/j.tifs.2022.01.013
- [32] Lu X., Ma R., Qiu H., Sun C., Tian Y. Mechanism of effect of endogenous/exogenous rice protein and its hydrolysates on rice starch digestibility. *International J. of Biological Macromolecules*, 2021, v. 193 A, no. 12, pp. 311–318. doi.org/10.1016/j.ijbiomac.2021.10.140
- [33] Saha B.C., Hayashi K. Debittering of protein hydrolyzates. *Biotechnology Advances*, 2001, v. 19, no. 5, pp. 355–370. doi.org/10.1016/S0734-9750(01)00070-2
- [34] Ziero H.D., Ampese L.C., Sganzerla W.G., Torres-Mayanga P.C., Timko M.T. Subcritical water hydrolysis of poultry feathers for amino acids production. *The J. of Supercritical Fluids*, 2022, v. 181, no. 2, p. 105492. doi.org/10.1016/j.supflu.2021.105492
- [35] Guevara-Zambrano J.M., Verkempinck S.H., Hernandez-Ruiz L., Infantes-Garcia M.R., Hendrick M.E., Loe A.M., Grauwet T. Digestion kinetics of lipids and proteins in plant-based shakes: Impact of processing conditions and resulting structural properties. *Food Chemistry*, 2022, v. 382, no. 7, p. 132306. doi.org/10.1016/j.foodchem.2022.132306
- [36] Yu Q., Baroutian S., Xie J. Hydrothermal co-hydrolysis of corncob/sugarcane bagasse/Broussonetia papyrifera blends: Kinetics, thermodynamics and fermentation. *Bioresource Technology*, 2021, v. 342, no. 12, 125923. doi.org/10.1016/j.biortech.2021.125923
- [37] Liew C.S., Raksasat R., Rawindran H., Kiatkittipong W., Lim J.W. Hydrolysis kinetics for solubilizing waste activated sludge at low temperature thermal treatment derived from multivariate non-linear model. *Chemosphere*, 2022, v. 292, no. 4, 133478. doi.org/10.1016/j.chemosphere.2021.133478

Authors' information

Oliferenko Galina L'vovna  — Cand. Sci. (Chem.), Associate Professor of the Department of Chemistry and Chemical Technologies in the Forestry Complex, BMSTU (Mytishchi branch), oliferenko2@inbox.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@mgul.ac.ru

Ustyugov Aleksandr Viktorovich — Cand. Sci. (Chem.), Associate Professor of the Department of General Chemical Technology, MIREA - Russian Technological University, ustyugov.alexandr@mail.ru

Received 05.10.2023.

Approved after review 21.02.2024.

Accepted for publication 02.05.2024.

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

БОЛЬШЕПРОЛЕТНЫЕ КЛЕЕННЫЕ ДЕРЕВЯННЫЕ КОНСТРУКЦИИ И ТЕХНОЛОГИЯ ИХ ИЗГОТОВЛЕНИЯ

В.И. Запруднов¹, Н.Г. Серегин²✉, А.С. Курдюков²

¹ФГБОУ 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
²ФГБОУ ВО «Московский государственный строительный университет (национальный исследовательский университет)» (НИУ МГСУ), Россия, 129337, г. Москва, Ярославское ш., д. 26

SereginNG@mgsu.ru

Рассмотрены большепролетные клееные деревянные конструкции для строительства зданий и сооружений. Приведены проектируемые и реализованные конструкции уникальных зданий и сооружений, изготовленные из большепролетных клееных деревянных элементов. Установлено, что применение большепролетных клееных деревянных конструкций, позволяет создавать элементы разнообразных размеров и форм, обеспечивать перекрытие больших пролетов при низких нагрузках на опоры, фундамент и грунт основания, почти на треть удешевить стоимость строительства покрытия по сравнению с конструкциями из металла и железобетона, а также гарантировать устойчивость при пожаре. Проанализированы основные виды конструктивных решений большепролетных клееных деревянных конструкций и приведена технология их изготовления. Показана возможность изготовления в заводских условиях клееных материалов по отлаженным технологиям.

Ключевые слова: большепролетные клееные деревянные конструкции, клееная древесина, клееные деревянные конструкции, уникальное здание и сооружение

Ссылка для цитирования: Запруднов В.И., Серегин Н.Г., Курдюков А.С. Большепролетные клееные деревянные конструкции и технология их изготовления // Лесной вестник / Forestry Bulletin, 2024. Т. 28. № 4. С. 138–146. DOI: 10.18698/2542-1468-2024-4-138-146

Площадь лесов в мире составляет 4,06 млрд га или 31,5 % площади суши. В России леса занимают около 809 млн га или около 20 % всех лесов мира. По площади лесов Россия занимает первое место в мире, они покрывают 46,6 % территории страны, что оказывает существенное влияние на климатические условия, а также на развитие материальной базы для строительной индустрии.

Тенденции последних лет в европейских странах свидетельствуют о возрастании интереса к производству и использованию деревянных конструкций не только в области малоэтажного строительства, но и в строительстве большепролетных сооружений.

В России большими темпами идет строительство зданий и сооружений с применением древесины, создаются проекты и осуществляется строительство уникальных зданий и сооружений из большепролетных клееных деревянных конструкций. Строительные организации России освоили возведение большепролетных деревянных конструкций, однако пока не распространено их массовое применение.

Требования к качеству деревянных изделий отражены в нормативных документах [1, 2].

В сфере строительства объектов с большой длиной пролета имеются основные виды кон-

структивных решений, к которым относятся балочные, арочные, рамные конструкции, а также фермы [3–6].

В области деревянного строительства России активно развиваются и внедряются новые технологии [2, 7–22].

Цель работы

Цель работы — расширение сферы применения большепролетных клееных деревянных конструкций при строительстве зданий и сооружений, совершенствование видов конструктивных решений и технологии их производства.

Объект исследования

Объектом исследования служили большепролетные клееные деревянные конструкции (БКДК) в зданиях и сооружениях Российской Федерации: выставочных павильонах; концертных залах; торговых комплексах; стадионах и ледовых аренах; пешеходных мостах; жилых домах; теннисных кортах; бассейнах; спортивных комплексах; физкультурно-оздоровительных комплексах; сельскохозяйственных и животноводческих сооружениях (теплицах, фермах); промышленных и складских зданиях; сооружениях с химически агрессивной средой (производство удобрений и целлюлозно-бумажное производство).

В мире реализованы следующие проекты уникальных зданий и сооружений с применением самых крупных большепролетных деревянных конструкций:

– аэропорт имени Марко Поло, Италия — имеет свободное пространство в 30 м без опорных элементов;

– Zaha Hadid Architects — Sky Forest, Китай — включает в себя два здания, каждое из которых имеет свободное пространство более 80 м без промежуточных опорных элементов;

– национальный стадион в Пекине, Китай — имеет свободное пространство в 80 м без опорных элементов;

– башня Mjøstårnet в г. Брумундал, Норвегия — самое высокое здание на планете высотой 85,4 м, основной строительный материал — клееный брус;

– церковь Похвистнева, Россия — имеет свободное пространство в 35 м без опорных элементов;

– жилой комплекс WОНА, Сингапур — имеет свободное пространство в 40 м без опорных элементов.

Результаты и обсуждение

Проекты большепролетных клееных деревянных конструкций. Большепролетные клееные деревянные конструкции (БКДК) представляют собой комплекс строительных конструкций, изготавливаемый из древесины, претерпевшей некоторые технологические операции, в результате которых древесина наделяется высокими пластическими и конструктивными характеристиками, не свойственными обычной древесине (рис. 1).

С помощью БКДК можно создавать здания с пролетом 12...150 м без использования внутренних промежуточных опор.

Основные виды большепролетных клееных деревянных конструкций. В сфере строительства объектов с большой длиной пролета известны основные виды конструкций, получившие наибольшее распространение.

Каждая конструкция обладает определенными особенностями, а выбор того или иного ее вида зависит от функционального назначения и технологии применения.

Рассмотрим основные виды конструкций БКДК по данным, представленным в работах [11–14, 23–38].

Балочные БКДК — простой вид конструкций, представляющий собой большепролетные фермы, которые состоят из клееных балок. Получили широкое применение при возведении спортивных сооружений и общественных зданий. Обладают оптимальными статическими характеристиками, однако имеют достаточно большую массу по сравнению с арочными, а также более легкий и быстрый процесс монтажа (рис. 2).



Рис. 1. Большепролетные клееные деревянные конструкции
Fig. 1. Large-span glued wooden structures



Рис. 2. Балочные большепролетные клееные деревянные конструкции
Fig. 2. Large-span glued wooden beam structures

Арочные БКДК — широко распространенный в России вид конструкций, используемый при строительстве производственных и сельских зданий, в частности треугольные арки. Применяются для пролетов 12...100 м, с высотой подъема пологих арок 1/4...1/8 пролета и высоких арок — 1/2 пролета. Один из главных плюсов арочных БКДК — простое изготовление и быстрый монтаж. Технология производства БКДК арочной конфигурации предусматривает предварительное напряжение клееной древесины (рис. 3).



Рис. 3. Арочные большепролетные клееные деревянные конструкции

Fig. 3. Arched large-span glued wooden structures

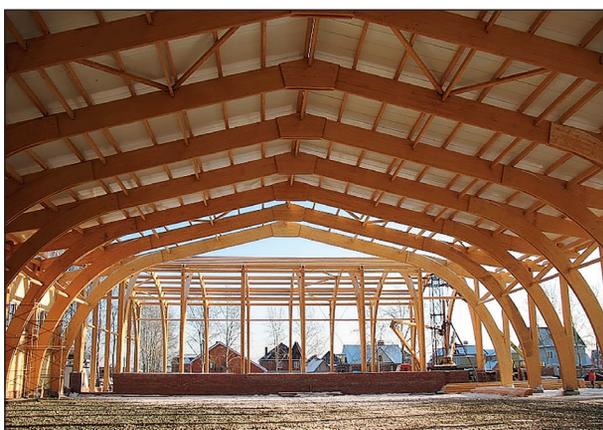


Рис. 4. Рамные большепролетные клееные деревянные конструкции

Fig. 4. Large-span glued wooden frame structures



Рис. 5. Фермы

Fig. 5. Farms

Рамные БКДК — вид конструкций различного очертания, часто используется в однопролетных зданиях. Рамы состоят из стойки и ригеля преимущественно сплошного прямоугольного, реже двутаврового или коробчатого сечения (рис. 4).

Фермы — менее распространенные конструкции по сравнению с арками и рамами, вследствие большой трудоемкости их изготовления. Наиболее распространены треугольные двускатные и односкатные фермы, а также фермы с параллель-

ными поясами и раскосно-стоечной или раскосной стержневыми решетками. Конструкции опорных узлов (рис. 5) позволяют применять фермы при разнообразных нагрузках, что значительно расширяет область их применения.

Исходя из задач, которые должна выполнять та или иная деревянная конструкция, подбирают ее вид, сечение, длину пролета и высоту элементов. БКДК применяют в основном при строительстве зданий и сооружений различного назначения, в том числе, осуществляемых по индивидуальным проектам.

Как известно, наиболее эффективно производство, ориентированное на массовый выпуск однотипных конструкций, так как в этом случае процесс производства можно максимально механизировать и автоматизировать, что обеспечит низкую стоимость конструкций и высокое качество продукции. Однако использование однотипных БКДК не всегда рационально по причине возможной утраты их главного достоинства — возможности изготовления конструкций без значительной перестройки технологического процесса, т. е. практически любых размеров и очертаний, обладающих ярко выраженной архитектурной индивидуальностью. Выход из создавшегося положения может быть найден в переориентировании промышленности на выпуск деревянных унифицированных конструкций и элементов ограниченной номенклатуры и создании на их основе большого числа конструкций, в том числе и довольно оригинальных.

Учитывая, что производство БКДК ориентировано преимущественно на использование пиломатериалов стандартных размеров, унифицировать следует прежде всего размеры пиломатериалов.

Рекомендуются 10 оптимальных сечений пиломатериалов толщиной 25, 50, 100, 150 мм и шириной 100, 125, 150, 175 мм. Для многослойных конструкций вводится также толщина 40 мм.

Поскольку основным элементом БКДК является слой, т. е. склеенная по длине из коротких заготовок лента, обычно соответствующая длине конструкций или их элементов, унифицируется наиболее важный параметр — толщина слоя. Для прямолинейных конструкций толщина слоя составляет 33 мм из пиломатериала толщиной 40 мм, а для криволинейных конструкций радиусом по нижней кромке менее 8 м и толщиной 20 мм — из пиломатериала толщиной 25 мм.

Проблему оптимизации толщины слоя преждевременно называть решенной. Для несущих конструкций при гарантированном качестве изготовления толщина слоя может составлять от 40 до 60 мм. Большинство операций технологического процесса — от сушки до фрезерования склеенных по длине слоев — можно производить без

какой-либо переналадки оборудования, хотя эти слои используются на завершающих операциях технологического процесса — при сборке и склеивании для изготовления широкой номенклатуры конструкций. Толщина слоя согласуется с рекомендуемой градацией изменения высоты сечения конструкций, равной 100 мм.

Унификация ширины сечения клееных элементов также является одним из важных вопросов. В проектах деревянных конструкций используются различные значения ширины. По частоте встречаемости они распределены следующим образом: 120 мм — 17,5 %; 140 мм — 43 %; 170 мм — 13 %; 190 мм — 5,5 %. Остальные 14 значений ширины поперечных сечений конструкций составляют примерно 2 %. Значения ширины 130 и 150 мм составляют только по 0,5 %.

Таким образом, наиболее часто рекомендуемые конструкции имеют ширину сечения 120, 140 и 170 мм. Если рассмотреть связь между указанными размерами и шириной сечений пиломатериалов, рекомендуемых ГОСТ 24454–80 «Пиломатериалы хвойных пород. Размеры», более близкой к размеру сечения клееных элементов — 120 мм оказывается ширина сечения пиломатериалов 150 мм. Ширина сечения 140 мм в конструкции после чистовой обработки может быть получена из пиломатериалов шириной 150 мм и даже 175 мм, так как ширина 150 мм в ряде случаев оказывается недостаточной для придания поверхности конструкции требуемого качества. Сечения шириной 170 мм и более не могут быть получены без предварительного склеивания слоев по ширине.

Наиболее перспективно применение прямолинейных унифицированных клееных элементов по сравнению с криволинейными. Одинаковые элементы можно применять в качестве самостоятельных конструкций, например балок. Они могут быть составной частью арок и ферм (верхних поясов металлодеревянных арок, поясов и решеток ферм, других частей строительных конструкций), из них создаются клееные каркасы панелей. Возможно их применение в индивидуальных проектах.

Значительно сложнее решается вопрос с унификацией криволинейных конструкций, хотя есть возможность создавать конструкции различных форм и назначения на основе ограниченного числа унифицированных элементов. На основе только одного криволинейного элемента, в частности типовой стрелчатой полуарки, созданы разнообразные по назначению объекты.

При использовании в качестве базового элемента типовой стрелчатой полуарки свободными от жесткой унификации приняты длина и высота сечения элементов, что не вызывает особых затруднений при производстве. Вместе с

тем наиболее важные для производства параметры — радиус кривизны, толщина слоя и ширина сечения жестко унифицированы.

Технология изготовления большепролетных клееных деревянных конструкций. Изготовление БКДК в Российской Федерации осуществляется в соответствии с требованиями, предъявляемыми к качеству деревянных изделий [1, 2] и проектной документацией.

Технология производства изделий из БКДК включает в себя несколько основных операций [7–10]: сушку пиломатериалов, механическую обработку пиломатериалов, сборку заготовок БКДК и механическую обработку клеенных конструкций.

Сушка пиломатериалов — один из важнейших этапов технологического процесса изготовления клеенных конструкций, в значительной степени определяющий их эксплуатационную прочность. Некачественная сушка вызывает коробление досок и снижение механической прочности древесины, является причиной неравномерной влажности досок в отдельных партиях пиломатериалов и большого перепада влажности по толщине досок, что приводит к дополнительным напряжениям в слоях конструкций, снижающим их прочность и иногда вызывающим преждевременное разрушение. Это значительно усугубляется наличием видимых дефектов сушки, таких как трещины, покоробленность, которые полностью устранить очень сложно. Вырезка дефектных мест и отбраковка непригодных из-за некачественной сушки досок увеличивает расход древесины, повышает трудоемкость их изготовления.

Сушка пиломатериалов включает в себя следующие технологические операции: формирование штабелей из пиломатериалов; атмосферную сушку; камерную сушку; обработку высушенных пиломатериалов в течение 5 сут. в температурно-влажностных камерах для выравнивания влажности и уменьшения остаточных напряжений в древесине.

Различают три уровня относительной влажности древесины:

- 1) начальная влажность пиломатериалов, достигающая 80...90 %;
- 2) транспортная влажность — 20...25 %;
- 3) технологическая влажность, при склеивании конструкций составляющая 8...15 %.

Пиломатериалы, предназначенные для изготовления конструкций I класса, подвергаются сушке в две стадии: на первой — до транспортной влажности, на второй — до технологической. Для этой цели на первой стадии проводится преимущественно атмосферная сушка по ГОСТ 3808.1–2019, на второй — камерная сушка по ГОСТ 19773–2023.

Атмосферная сушка — процесс сложный и трудоемкий, но не затратный, обеспечивает равномерную влажность пиломатериалов. Создание переходящего запаса пиломатериалов вполне оправдывает организацию этого процесса. Желательно, чтобы переходящий запас пиломатериалов, находящихся в условиях атмосферной сушки, составлял 6...12 мес.

С экономической точки зрения наилучших результатов можно достичь при атмосферной сушке пиломатериалов до транспортной влажности. Дальнейшее снижение влажности происходит при атмосферной сушке очень медленно. Эффективность атмосферной сушки в зимнее время мала (табл. 1).

Т а б л и ц а 1

Примерная продолжительность атмосферной сушки пиломатериалов хвойных пород в зависимости от толщины пиломатериалов, мм
The approximate duration of atmospheric drying of softwood lumber, depending on the thickness of the lumber

Месяц укладки пиломатериалов для сушки	Срок сушки, сут.	
	25...30 мм	40...50 мм
Март	12...23	25...32
Апрель, май	30...34	38...47
Июнь, июль	10...13	17...34
Август, сентябрь	26...34	36...43
Октябрь	12...30	25...32

Для доведения пиломатериалов до технологической влажности используют, как правило, камерную сушку в соответствии с ГОСТ 19773–2023. Важно учитывать рекомендации, изложенные в технической документации на конкретные типы сушильных камер.

В производстве БКДК I и II классов рекомендуется использовать мягкие и нормальные режимы камерной сушки пиломатериалов.

Качество сушки определяют по следующим показателям:

- по соответствию средней влажности пиломатериалов заданной конечной;
- величине отклонений влажности отдельных досок в партии от средней в штабеле;
- перепаду влажности по толщине досок;
- остаточным внутренним напряжениям.

По завершении процесса сушки необходимо выгруженные из камер штабеля пиломатериалов выдержать (кондиционировать) не менее 3 сут. в закрытом помещении, при температуре 16...22 °С и влажности воздуха 45...60 %. При этом в пиломатериалах частично релаксируются внутренние напряжения.

Механическая обработка пиломатериалов, предусматривает такие технологические операции, как раскрой пиломатериалов на черно-

вые заготовки, вырезку недопустимых пороков, торцовку заготовок и фрезерование зубчатых шипов.

Сборка заготовок БКДК состоит из подготовки заготовок к склеиванию, нанесения клея, сборки и запрессовки заготовок и выдержки заготовок в прессах.

Подготовка заготовок к склеиванию заключается в их накоплении в специальных кассетах и подаче кассет на линию для нанесения клея. При этом клей рекомендуется наносить на обе склеиваемые поверхности, однако при массовом производстве часто используют одностороннее нанесение клея с помощью специальных клееналивных станков (рис. 6).



Рис. 6. Нанесение клея на заготовку из древесины
Fig. 6. Applying glue to a wood billet



Рис. 7. Запрессовка клееных деревянных конструкций
Fig. 7. Pressing of glued wooden structures

После нанесения клея на всю заготовку, для сборки и запрессовки отводится не более 40 мин. Запрессовка конструкций осуществляется в специальных прессах с гидравлическим или механическим приводом (рис. 7). Далее изделия отправляют на дополнительную фрезеровку.

Для обеспечения качественного склеивания отверждение клея должно осуществляться при плотном контакте склеиваемых поверхностей с нанесенным между ними слоем клея. Выполнение этого условия обеспечивается правильным выбором режимов склеивания, т. е. продолжительностью выдержки склеиваемых конструкций в запрессованном состоянии.

Т а б л и ц а 2

Рекомендуемая продолжительность выдержки склеиваемых конструкций в зависимости от температуры воздуха

The recommended exposure time of the glued structures, depending on the air temperature

Конструкции	Продолжительность выдержки, ч	
	18...20 °С	22...25 °С
Прямолинейные	12...14	8...10
Криволинейные	20...24	16...18

Т а б л и ц а 3

Рекомендуемая продолжительность выдержки склеиваемых конструкций под давлением в зависимости от температуры воздуха

The recommended duration of exposure of glued structures under pressure, depending on the air temperature

Ширина клеевой прослойки, мм	Продолжительность выдержки, мин		
	30...40 °С	50...60 °С	80...90 °С
До 100	180...240	90...120	60...70
101...200	240...300	170...210	80...90
Свыше 200	360	240	120

Время выдержки склеиваемых конструкций в запрессованном состоянии при определенной температуре и влажности воздуха зависит от технологических свойств применяемого клея, размеров склеиваемых слоев и некоторых других факторов (табл. 2, 3).

Механическая обработка клеенных конструкций. Данная обработка предусматривает обрезку торцов и фрезерование пластей многослойных конструкций, сверление отверстий под болты и закладные детали, вклеивание металлических стержней. Если конструкции предназначены для отделки прозрачными покрытиями, видимые их части должны иметь хорошую чистоту обработки, шероховатость не более 300 мкм по ГОСТ 7016–2022 и небольшие, до 0,1 мм, уступы смежных слоев. Допуски линейных размеров должны соответствовать 5-му классу по ГОСТ 21779–2023, а припуски на фрезерование боковых поверхностей многослойных конструкций должны быть при длине конструкций до 12 м не более 15 мм, свыше 12 м — не более 20 мм.

Выводы

1. Конструкции из древесины получают все большее развитие и популярность. Применение БКДК, позволяет добиться создания элементов разнообразных размеров и форм, возможности перекрытия больших пролетов при низких нагрузках на опоры, фундамент и грунт основания, почти на

треть удешевляет стоимость строительства покрытия по сравнению с конструкциями из металла и железобетона, а также устойчивы при пожаре.

2. Клееный материал изготавливается в заводских условиях по отлаженным технологиям, за счет чего, древесина приобретает повышенную механическую прочность, а также высокую устойчивость к агрессивным средам. Так же клееную древесину используют в местах, где металлические конструкции подвержены быстрой коррозии.

3. Необходимо продолжать дальнейшие работы по унификации БКДК, которые должны включать следующее:

- совершенствование сортамента деревянных унифицированных конструкций;
- разработку принципиальных решений с использованием деревянных унифицированных конструкций;
- обоснование технических требований к качеству деревянных унифицированных конструкций на всех стадиях: производства, транспортирования, хранения, монтажа, эксплуатации и системы их обеспечения;
- составление нормативно-технической документации по применению деревянных унифицированных конструкций и организации постоянного контроля над изменением состояния конструкций при монтаже и эксплуатации;
- изучение и организация рынка сбыта деревянных унифицированных конструкций.

Список литературы

[1] ГОСТ Р 56705–2015 Конструкции деревянные для строительства. Дата введения 2016-05-01. Утвержден и введен в действие приказом Федерального агентства по техническому регулированию и метрологии от 13.11.2015 г. № 1789-ст. М.: Стандартинформ, 2016. 10 с.

[2] СП 64.13330.2017 Свод правил. Деревянные конструкции. Дата введения 2017-08-28. Утвержден приказом Министерства строительства и жилищно-коммунального хозяйства Российской Федерации от 27.02.2017 № 129/пр. М.: Стандартинформ, 2017. 102 с.

[3] Гиясов Б.И., Запруднов В.И., Серегин Н.Г., Стриженко В.В. Конструкции из древесины и пластмасс. М.: АСВ, 2020. 616 с.

[4] Гиясов Б.И., Серегин Н.Г. Конструкции уникальных зданий и сооружений из древесины. М.: АСВ, 2018. 256 с.

[5] Гиясов Б.И., Серегин Н.Г., Серегин Д.Н. Конструкции из древесины и пластмасс. М.: АСВ, 2018. 400 с.

[6] Запруднов В.И., Серегин Н.Г., Потехин Н.И. Перспективы строительства уникальных зданий и сооружений из древесины // Лесной вестник / Forestry Bulletin, 2023. Т. 27. № 4. С. 128–136. DOI: 10.18698/2542-1468-2023-4-128-136

[7] Запруднов В.И. Конструкции и архитектура деревянных зданий. М.: Изд-во МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2023. 480 с.

[8] Калугин А.В. Деревянные конструкции. М.: АСВ, 2022. 354 с.

[9] Ковальчук Л.М. Производство деревянных клееных конструкций. М.: Стройматериалы, 2005. 334 с.

[10] Филимонов Э.В., Гаппоев М.М., Гуськов И.М. Конструкции из дерева и пластмасс. М.: АСВ, 2016. 436 с.

- [11] Лейер Д.В., Рябухин А.К., Маций С.И. Конструкции из дерева и пластмасс. Краснодар: Изд-во КубГАУ, 2017. 92 с.
- [12] Ломакин А.Д., Устрехов А.И. Огнезащита клееных деревянных конструкций для зданий и сооружений // Жилищное строительство, 2013. № 5. С. 36–40.
- [13] Погорельцев А.А., Турковский С.Б. Большепролетные купола из клееной древесины с жесткими узлами системы ЦНИИСК // Строительная механика и расчет сооружений, 2017. № 4 (273). С. 63–70.
- [14] Погорельцев А.А., Турковский С.Б. Особенности поведения несущих большепролетных конструкций из клееной древесины в условиях пожара // Вестник НИЦ «Строительство», 2014. № 11. С. 46–49.
- [15] Серегин Н.Г., Гиясов Б.И. Методика расчета производства клееного оконного бруса для строительных конструкций // Вестник МГСУ, 2017. Том 12. Вып. 2 (101). С. 157–164.
- [16] Серегин Н.Г., Бунов А.А. Методы проектирования металлических и деревянных конструкций. М.: Изд-во МИСИ–МГСУ, 2022. 65 с.
- [17] Seregin N.G. Losses in the manufacture of wooden building structures // J. of Physics: Conf. Series. Int. Sci. Conf. on Modelling and Methods of Structural Analysis 2019 (MMSA 2019), 2020, t. 1425, p. 012133.
- [18] Славик Ю.Ю., Ломакин А.Д. Мониторинг покрытий зданий с каркасом из большепролетных деревянных клееных конструкций // Современные строительные конструкции из металла и древесины. Ч. 2. Одесса: Изд-во Одесской государственной академии строительства и архитектуры, 2008. С. 32–40.
- [19] Суменко В.А., Ломакин А.Д., Погорельцев А.А. Проектирование каркасов из клееной древесины центра санного спорта «Санки» к Олимпиаде-2014 в г. Сочи // Промышленное и гражданское строительство, 2013. № 10. С. 47–49.
- [20] Турковский С.Б., Преображенская И.П., Погорельцев А.А. Клееные деревянные конструкции в современном строительстве (система ЦНИИСК) // ЛесПромИнформ, 2013. № 6 (96). URL: <https://lesprominform.ru/jarticles.html?id=3283> (дата обращения 05.09.2023).
- [21] Устрехов А.И., Гаращенко Н.А. Показатели конструктивной пожарной опасности деревоклееных конструкций, защищенных вспучивающимися покрытиями, и перспективы их использования // Монтажные и специальные работы в строительстве, 2006. № 6. С. 12–16.
- [22] Федорова О.В. Применение деревянных конструкций для трансформирующихся спортивных сооружений // Архитектон: известия вузов, 2013. № 41. С. 107–113.
- [23] Belostotsky A.M., Akimov P.A., Negrozov O.A., Petryashev N.O., Petryashev S.O., Sherbina S.V., Kalichava D.K., Kaytukov T.B. Adaptive finite-element models in structural health monitoring systems // Magazine of Civil Engineering, 2018. № 2 (78). С. 169–178.
- [24] Петров А.В., Еремеева А.И. Мониторинг строительных конструкций зданий и сооружений // Экспертиза промышленной безопасности и диагностика опасных производственных объектов, 2015. № 6. С. 43–45.
- [25] Запруднов В.И. Строительное дело и материалы. СПб.: Лань, 2022. 596 с.
- [26] Запруднов В.И., Санаев В.Г., Никитин В.Ф. Деревянные конструкции. М.: Издательство МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2021. 447 с.
- [27] Bowers T., M.E. Puettmann I. Ganguly, Eastin I. Cradle-to-gate life-cycle assessment of glue-laminated (glulam): Environmental Impacts from glulam produced in the US Pacific Northwest and southeast // Forest Products Journal, 2017, no. 67(5/6), pp. 368–380.
- [28] Brandner R. Cross laminated timber (CLT) in compression perpendicular to plane: Testing, properties, design and recommendations for harmonizing design provisions for structural timber products // Engineering Structures, 2018, v. 171, pp. 944–960.
- [29] Fink G., Kohler J., Brandner R. Application of European design principles to cross laminated timber // Engineering Structures, 2018, v. 171, pp. 934–943.
- [30] Kwon J. H., Shin R.-H., Ayrilmis N., Han T.H. Properties of solid wood and laminated wood lumber manufactured by cold pressing and heat treatment // Materials & Design (1980–2015), 2014, v. 62, pp. 375–381.
- [31] Loss C., Tannert T., Tesfamariam S. State of the art review of displacement based seismic design of timber buildings // Construction and Building Materials, 2018, v. 191, pp. 481–497.
- [32] Moshtaghin A.F., Franke S., Keller T., Vassilopoulos A.P. Experimental characterization of longitudinal mechanical properties of clear timber: Random spatial variability and size effects // Construction and Building Materials, 2016, v. 120, pp. 432–441.
- [33] Moradpour P., Pirayesh H., Grami M., Jouybari I.R. Laminated strand lumber (LSL) reinforced by GFRP; mechanical and physical properties // Construction and Building Materials, 2018, v. 158, pp. 236–242.
- [34] Kuzman M.K., Klarić S., Barčić A.P., Vlosky R. Architect perceptions of engineered glued laminated wood beams of maritime pine wood // Construction and Building Materials, 2009, no. 8, v. 23, pp. 2738–2745.
- [35] Kwon J.H., Reynolds T., Casagrande D., Tomasi R. Properties of solid wood and laminated timber and timber frame buildings by in situ modal analysis // Construction and Building Materials, 2016, v. 102, pp. 1009–1017.
- [36] Loss C., Sikora K.S., McPolin D.O., Harte A.M. State of the art review of displacement based timber (CLT) panels made from Irish Sitka spruce on mechanical performance in bending and shear // Construction and Building Materials, 2016, v. 116, pp. 141–150.
- [37] Wang Z., Gong M., Chui Y.H. Mechanical properties of laminated strand lumber and hybrid cross laminated timber // Construction and Building Materials, 2015, v. 101, pp. 622–627.
- [38] Вавилова Т.Я. Проблемы применения массивных клееных деревянных конструкций в современной архитектуре // Архитектура и дизайн: история, теория, инновации. Самара: Изд-во Самарского государственного архитектурно-строительного университета, 2017. С. 15–19.

Сведения об авторах

Запруднов Вячеслав Ильич — д-р техн. наук, профессор ФГБОУ ВО «Московский государственный технический университет имени Н.Э. Баумана (национальный исследовательский университет)» (Мытищинский филиал), zaprudnov@mgul.ac.ru

Серегин Николай Григорьевич — канд. техн. наук, доцент ФГБОУ ВО «Национальный исследовательский Московский государственный строительный университет» (НИУ МГСУ), SereginNG@mgul.ac.ru

Курдюков Артем Сергеевич — студент ФГБОУ ВО «Национальный исследовательский Московский государственный строительный университет» (НИУ МГСУ), temik.1516@gmail.com

Поступила в редакцию 08.11.2023.

Одобрено после рецензирования 04.12.2023.

Принята к публикации 02.05.2024.

LARGE-SPAN GLUED WOODEN STRUCTURES AND THEIR MANUFACTURING TECHNOLOGY

V.I. Zaprudnov¹, N.G. Seregin², A.S. Kurdyukov²

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

²National Research Moscow State University of Civil Engineering, 26, Yaroslavl highway, 129337, Moscow, Russia

SereginNG@mgsu.ru

Large-span glued wooden structures for buildings construction are considered. Designed and realized structures of unique buildings and constructions made of large-span glued wooden elements are given. It is established that the use of large-span glued wooden structures allows to create elements of various sizes and shapes to provide overlapping of large spans at low loads on supports, foundations and base soil, to reduce the cost of pavement construction by almost one third in comparison with structures made of metal and reinforced concrete, as well as to guarantee stability in case of fires. The main types of structural solutions of large-span glued wooden structures are analyzed and the technology of their manufacture is given. The possibility of manufacturing of glued materials in factory conditions according to well-developed technologies is shown.

Keywords: large-span glued wooden structures, large-span structures, glued wood, glued wooden structures, unique building or structure

Suggested citation: Zaprudnov V.I., Seregin N.G., Kurdyukov A.S. *Bol'sheproletnye kleenye derevyannye konstruksii i tekhnologiya ikh izgotovleniya* [Large-span glued wooden structures and their manufacturing technology]. *Lesnoy vestnik / Forestry Bulletin*, 2024, vol. 28, no. 4, pp. 138–146. DOI: 10.18698/2542-1468-2024-4-138-146

References

- [1] GOST R 56705–2015 «Konstruksii derevyannye dlya stroitel'stva»: data vvedeniya 13.11.2015 g. № 1789-st. [«Wooden structures for construction»: date of introduction 11/13/2015 no. 1789-st]. Moscow: Standartinform, 2016, 10 p.
- [2] SP 64.13330.2017 «Derevyannye konstruksii»: data vvedeniya 27.02.2017 №129/pr. [«Wooden structures»: date of introduction 02/27/2017 no. 129/pr]. Moscow: Standartinform, 2017, 102 p.
- [3] Giyasov B.I., Zaprudnov V.I., Seregin N.G., Strizhenko V.V. *Konstruksii iz drevesiny i plastmass* [Structures made of wood and plastics]. Moscow: ASV, 2020, 616 p.
- [4] Giyasov B.I., Seregin N.G. *Konstruksii unikal'nykh zdaniy i sooruzheniy iz drevesiny* [Designs of unique buildings and structures made of wood]. Moscow: ASV, 2018, 256 p.
- [5] Giyasov B.I., Seregin N.G., Seregin D.N. *Konstruksii iz drevesiny i plastmass* [Structures made of wood and plastics]. Moscow: ASV, 2018, 400 p.
- [6] Zaprudnov B.I., Seregin N.G., Potekhin N.I. *Perspektivy stroitel'stva unikal'nykh zdaniy i sooruzheniy iz drevesiny* [Prospects for unique buildings construction and wood structures]. *Lesnoy vestnik / Forestry Bulletin*, 2023, vol. 27, no. 4, pp. 128–136. DOI: 10.18698/2542-1468-2023-4-128-136
- [7] Zaprudnov V.I. *Konstruksii i arkhitektura derevyannykh zdaniy* [Constructions and architecture of wooden buildings]. Moscow: MSTU im. N.E. Bauman, 2023, 480 p.
- [8] Kalugin A.V. *Derevyannye konstruksii* [Wooden structures]. Moscow: ASV, 2022, 354 p.
- [9] Koval'chuk L.M. *Proizvodstvo derevyannykh kleennykh konstruksiy* [Production of wooden laminated structures]. Moscow: Stroimaterialy, 2005, 334 p.
- [10] Filimonov E.V., Gappoev M.M., Gus'kov I.M. *Konstruksii iz dereva i plastmass* [Structures made of wood and plastics]. Moscow: ASV, 2016, 436 p.
- [11] Leyer D.V., Ryabukhin A.K., Matsiy S.I. *Konstruksii iz dereva i plastmass* [Structures made of wood and plastics]. Krasnodar: KubGAU, 2017, 92 p.
- [12] Lomakin A.D., Ustrekhov A.I. *Ognezashchita kleennykh derevyannykh konstruksiy dlya zdaniy i sooruzheniy* [Fire protection of laminated wooden structures for buildings and structures]. *Zhilishchnoe stroitel'stvo* [Housing Construction], 2013, no. 5, pp. 36–40.
- [13] Pogorel'tsev A.A., Turkovskiy S.B. *Bol'sheproletnye kupola iz kleenoy drevesiny s zhestkimi uzlami sistemy TsNIISK* [Long-span domes made of laminated wood with rigid units of the TsNIISK system]. *Stroitel'naya mekhanika i raschet sooruzheniy* [Structural mechanics and design of structures], 2017, no. 4 (273), pp. 63–70.
- [14] Pogorel'tsev A.A., Turkovskiy S.B. *Osobennosti povedeniya nesushchikh bol'sheproletnykh konstruksiy iz kleenoy drevesiny v usloviyakh pozhara* [Features of the behavior of load-bearing large-span structures made of laminated wood in fire conditions]. *Vestnik NITs Stroitel'stvo* [Bulletin of the Scientific Research Center Construction], 2014, no. 11, pp. 46–49.
- [15] Seregin N.G., Giyasov B.I. *Metodika rascheta proizvodstva kleenogo okonnogo brusa dlya stroitel'nykh konstruksiy* [Methodology for calculating the production of laminated window beams for building structures]. *Vestnik MGSU* [Bulletin of MGSU], 2017, v. 12, iss. 2 (101), pp. 157–164.
- [16] Seregin N.G., Bunov A.A. *Metody proektirovaniya metallicheskih i derevyannykh konstruksiy* [Methods for designing metal and wooden structures]. Moscow: MISS-MGSU, 2022, 65 p.
- [17] Seregin N.G. Losses in the manufacture of wooden building structures. *J. of Physics: Conference Series. International Scientific Conference on Modelling and Methods of Structural Analysis 2019 (MMSA 2019)*, 2020, t. 1425, p. 012133.
- [18] Slavik Yu. Yu., Lomakin A.D. *Monitoring pokrytiy zdaniy s karkasom iz bol'sheproletnykh derevyannykh kleennykh konstruksiy* [Monitoring of coatings of buildings with a frame made of long-span wooden laminated structures]. *Sovremennye stroitel'nye konstruksii iz metalla i drevesiny. Ch. 2* [Modern building structures made of metal and wood. Part 2]. Odessa: Odessa State. acad. pp. and architecture, 2008, pp. 32–40.

- [19] Sumenko V.A., Lomakin A.D., Pogorel'tsev A.A. *Proektirovanie karkasov iz kleenoy drevesiny tsentra sannogo sporta «Sanki» k Olimpiade 2014 g. v g. Sochi* [Design of laminated wood frames for the Sanki luge center for the 2014 Olympics in Sochi]. Promyshlennoe i grazhdanskoe stroitel'stvo [Industrial and Civil Construction], 2013, no. 10, pp. 47–49.
- [20] Turkovskiy S.B., Preobrazhenskaya I.P., Pogorel'tsev A.A. *Kleenye derevyannye konstruksii v sovremennoy stroitel'stve (sistema TsNIISK)* [Laminated wooden structures in modern construction (TsNIISK system)]. LesPromInform, 2013, no. 6 (96). Available at: <https://lesprominform.ru/jarticles.html?id=3283> (accessed 05.09.2023).
- [21] Ustrekhov A.I., Garashchenko N.A. *Pokazateli konstruktivnoy pozharney opasnosti derevokleenykh konstruksiy, zashchishchennykh vspuchivayushchimisya pokrytiyami, i perspektivy ikh ispol'zovaniya* [Indicators of structural fire hazard of wood-laminated structures protected by intumescent coatings, and prospects for their use]. Montazhnye i spetsial'nye raboty v stroitel'stve [Installation and special works in construction], 2006, no. 6, pp. 12–16.
- [22] Fedorova O.V. *Primenenie derevyannykh konstruksiy dlya transformiruyushchikhsya sportivnykh sooruzheniy* [Application of wooden structures for transforming sports facilities]. Arkhitekton: izvestiya vuzov [Architect: news of universities], 2013, no. 41, pp. 107–113.
- [23] Belostotsky A.M., Akimov P.A., Negrozov O.A., Petryashev N.O., Petryashev S.O., Sherbina S.V., Kalichava D.K., Kaytukov T.B. Adaptive finite-element models in structural health monitoring systems. Magazine of Civil Engineering, 2018. № 2 (78). C. 169–178.
- [24] Petrov A.V., Eremeeva A.I. *Monitoring stroitel'nykh konstruksiy zdaniy i sooruzheniy* [Monitoring of building structures of buildings and structures]. Ekspertiza promyshlennoy bezopasnosti i diagnostika opasnykh proizvodstvennykh ob'ektov [Expertise of industrial safety and diagnostics of hazardous production facilities], 2015, no. 6, pp. 43–45.
- [25] Zaprudnov V.I. *Stroitel'noe delo i materialy* [Construction business and materials]. St. Petersburg: Lan, 2022, 596 p.
- [26] Zaprudnov V.I., Sanaev V.G., Nikitin V.F. *Derevyannye konstruksii* [Wooden structures]. Moscow: Publishing house MSTU im. N.E. Bauman, 2021, 447 p.
- [27] Bowers T., M.E. Puettmann I., Ganguly, Eastin I. Cradle-to-gate life-cycle assessment of glue-laminated (glulam): Environmental Impacts from glulam produced in the US Pacific Northwest and southeast. Forest Products Journal, 2017, no. 67(5/6), pp. 368–380.
- [28] Brandner R. Cross laminated timber (CLT) in compression perpendicular to plane: Testing, properties, design and recommendations for harmonizing design provisions for structural timber products. Engineering Structures, 2018, v. 171, pp. 944–960.
- [29] Fink G., Kohler J., Brandner R. Application of European design principles to cross laminated timber. Engineering Structures, 2018, v. 171, pp. 934–943.
- [30] Kwon J. H., Shin R.-H., Ayrlimis N., Han T.H. Properties of solid wood and laminated wood lumber manufactured by cold pressing and heat treatment. Materials & Design (1980–2015), 2014, v. 62, pp. 375–381.
- [31] Loss C., Tannert T., Tesfamariam S. State of the art review of displacement based seismic design of timber buildings. Construction and Building Materials, 2018, v. 191, pp. 481–497.
- [32] Moshtaghin A.F., Franke S., Keller T., Vassilopoulos A.P. Experimental characterization of longitudinal mechanical properties of clear timber: Random spatial variability and size effects. Construction and Building Materials, 2016, v. 120, pp. 432–441.
- [33] Moradpour P., Pirayesh H., Grami M., Jouybari I.R. Laminated strand lumber (LSL) reinforced by GFRP; mechanical and physical properties. Construction and Building Materials, 2018, v. 158, pp. 236–242.
- [34] Kuzman M.K., Klarić S., Barčić A.P., Vlosky R. Architect perceptions of engineered glued laminated wood beams of maritime pine wood. Construction and Building Materials, 2009, no. 8, v. 23, pp. 2738–2745.
- [35] Kwon J.H., Reynolds T., Casagrande D., Tomasi R. Properties of solid wood and laminated timber and timber frame buildings by in situ modal analysis. Construction and Building Materials, 2016, v. 102, pp. 1009–1017.
- [36] Loss C., Sikora K.S., McPolin D.O., Harte A.M. State of the art review of displacement based timber (CLT) panels made from Irish Sitka spruce on mechanical performance in bending and shear. Construction and Building Materials, 2016, v. 116, pp. 141–150.
- [37] Wang Z., Gong M., Chui Y.H. Mechanical properties of laminated strand lumber and hybrid cross laminated timber. Construction and Building Materials, 2015, v. 101, pp. 622–627.
- [38] Vavilova T.Ya. *Problemy primeneniya massivnykh kleenykh derevyannykh konstruksiy v sovremennoy arkhitekture* [Problems of using massive laminated wood structures in modern architecture]. Arkhitektura i dizayn: istoriya, teoriya, innovatsii [Architecture and design: history, theory, innovation. Samara: Samara State University of Architecture and Civil Engineering], 2017, pp. 15–19.

Authors' information

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

Seregin Nikolay Grigor'evich — Cand. Sci. (Tech.), Associate Professor of the Moscow State Building University (NIU MGSU), SereginNG@mgsu.ru

Kurdyukov Artem Sergeevich — Student of the Moscow State University of Civil Engineering (NIU MGSU), temik.1516@gmail.com

Received 08.11.2023.

Approved after review 04.12.2023.

Accepted for publication 02.05.2024.

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

РАЗРАБОТКА И ОБОСНОВАНИЕ МЕТОДА ОПРЕДЕЛЕНИЯ ПЛОТНОСТИ ДРЕВЕСИНЫ

Рен. Х. Гайнуллин^{1✉}, Риш. Х. Гайнуллин¹, Е.М. Цветкова¹, Р.Р. Сафин²

¹ФГБОУ ВО «Поволжский государственный технологический университет», Россия, 424000, г. Йошкар-Ола, пл. Ленина, д. 3

²ФГБОУ ВО «Казанский национальный исследовательский технологический университет», Россия, 420015, г. Казань, ул. Карла Маркса, д. 68

gainylinrh@yandex.ru

Приведен краткий обзор методов определения плотности древесины, которые согласно классификации подразделяются на прямые и косвенные. Предложен математически обоснованный авторский метод определения плотности древесины, с учетом законов физики, являющийся разновидностью метода вытеснения воды. Проведены экспериментальные исследования на девяти породах древесины, показавшие работоспособность и применимость метода. Выполнено сравнение данных, полученных стереометрическим методом (значение погрешности составило менее 3 %). Определены условия подбора груза в виде шарика для исследований таким образом, чтобы происходило неполное погружение образца с одновременным обеспечением вертикального положения в среде жидкости. Рекомендуется использование предложенного метода для определения плотности древесины в «полевых» условиях.

Ключевые слова: плотность древесины, методы определения плотности древесины, экспресс-метод определения плотности древесины

Ссылка для цитирования: Гайнуллин Рен.Х., Гайнуллин Риш.Х., Цветкова Е.М., Сафин Р.Р. Разработка и обоснование метода определения плотности древесины // Лесной вестник / Forestry Bulletin, 2024. Т. 28. № 4. С. 147–156. DOI: 10.18698/2542-1468-2024-4-147-156

Древесина является ценным сырьем для промышленного производства. Перечень направлений ее использования весьма широк: архитектура и строительство, мебельное и столярное производство, энергетика и лесохимия и т. д. Такому многоцелевому использованию древесины способствуют ее характеристики. Оценка эксплуатационных свойств древесины осуществляется на основании различных показателей: физических, механических, химических и др. Перечисленные показатели, как правило, имеют тесную взаимосвязь и используются для необходимых технологических расчетов различных процессов. Основным показателем, которым оперируют при проведении подавляющего большинства технологических расчетов, является плотность древесины [1, 2]. Поэтому актуальной задачей для науки и техники в современных условиях является разработка методов определения значения этого показателя с минимальными затратами времени и ресурсов, а также с максимально возможной точностью.

Существующие в настоящее время методы определения плотности древесины можно условно подразделить на косвенные и прямые.

Косвенные методы подразумевают определение плотности через взаимосвязанные с ней физико-механические показатели древесины. К дан-

ной категории относятся акустический (ультразвуковой), радиационный, микрофотометрический и метод сверления.

Акустический метод определения плотности древесины основан на ее связи со скоростью распространения ультразвуковых колебаний в исследуемом образце [4–10]. Данный метод используется при таможенном контроле [7], отборе лыжных заготовок [8], резонансной древесины [9], оценке состояния древесных конструкций [10] и др. Недостатками метода являются большие погрешности, обусловленные неоднородной структурой древесины вследствие растительного происхождения, наличием пороков, зависимостью от влажности.

При прохождении через древесину β -, γ - или рентгеновского излучения происходит ослабление их интенсивности в зависимости от плотности образца. Этот эффект заложен в основе *радиационного метода* [1, 11–15]. Устройства, использующие данное явление, применяются как стационарно в лабораториях, так и портативно непосредственно при исследованиях растущих деревьев или конструкций сооружений. К основному недостатку метода можно отнести высокую стоимость оборудования. Тем не менее в настоящее время он приобретает все большую популярность у исследователей.

Схожим по замыслу, но несколько отличающимся технически является *микрофотометрический метод* определения плотности древесины.

Суть метода заключается в регистрации диффузно отраженного света от микроучастка исследуемого образца [16, 17]. Соответственно, недостатки микрофотометрического метода такие же, как и у радиационного.

Метод определения плотности древесины и оценки ее качества, основанный на измерении сопротивления материала сверлению — *метод сверления* является одним из активно развивающихся в настоящее время [18–23]. В основе этого метода лежит связь параметров сопротивления сверлению материала и его плотности [20]. Из недостатков можно отметить ошибки, возникающие в процессе измерений нагрева бурового сверла и трения боковых поверхностей сверла о стенки отверстия, при наличии в древесине пороков, а также достаточно высокую стоимость оборудования.

Прямые методы основаны на измерениях массы, объема и веса исследуемых образцов древесины с последующим вычислением плотности. К данной группе относятся стереометрический, метод вытеснения воды, метод вытеснения ртути, метод гидростатического взвешивания, пикнометрический и т. д.

Стереометрический метод определения плотности древесины стандартизован [24] не только в России, но в других странах мира [25]. Для определения плотности древесины данным способом используются образцы в форме прямоугольной призмы размером 20×20×30 мм. Измеряются масса образцов, с точностью до 0,01–0,001 г, их размеры, с точностью до 0,1 мм. По отношению массы к объему образца вычисляют плотность. К недостаткам метода следует отнести искажение показателя из-за механических повреждений образцов, допущенных при их изготовлении.

Способ вытеснения воды основан на измерении объема воды, вытесненной погруженным в нее древесным образцом [1]. Исходя из массы образца и измеренного таким образом объема воды, вычисляют плотность древесины. Основным недостатком этого способа является непосредственный контакт древесины с водой, которую впитывает образец, вследствие чего изменяется его масса. Для устранения этого недостатка усовершенствованы соответствующие устройства, применяемые при работе с этим методом [26, 27].

В целях исключения изменения характеристик образца при контакте с водой достаточно часто пользуются несмачивающими древесину жидкостями. На этом базируется *метод вытеснения ртути* [28–30]. Техническое использование этого метода аналогично методу вытеснения воды. К недостаткам относят токсичность ртути, при работе с которой необходимо строго придерживаться правил техники безопасности.

Метод гидростатического взвешивания основан на законе Архимеда, согласно которому тело, погруженное в жидкость, теряет в весе столько, сколько весит вытесняемая жидкость [1, 31]. Для определения плотности данным методом образец древесины взвешивают сначала в воздухе, а затем в жидкости известной плотности, и по полученным результатам измерения вычисляют плотность по формуле

$$\rho_{\text{др}} = \frac{m_1}{m_1 - m_2}(\rho_{\text{ж}} - D) + D, \quad (1)$$

где $\rho_{\text{др}}$ — плотность древесины;

m_1 — масса гирь, уравнивающих тело в воздухе;

m_2 — масса гирь, уравнивающих тело в жидкости;

$\rho_{\text{ж}}$ — плотность жидкости, в которую погружают тело;

D — плотность воздуха.

Данный метод относится к числу наиболее надежных и точных методов определения плотности древесины.

Тем не менее наиболее точным методом определения плотности древесины из всех известных является *пикнометрический* [1, 32]. Цикл измерения плотности исследуемого образца включает в себя три взвешивания: 1) образца древесины в воздухе; 2) пикнометра, наполненного жидкостью известной плотности; 3) пикнометра, наполненного той же жидкостью с погруженным в нее телом. Причем в обоих последних случаях жидкость наливают до одного и того же уровня. После соответствующих процедур взвешивания осуществляют расчет плотности по формуле

$$\rho_{\text{др}} = \frac{M\rho_{\text{ж}} - (m_2 - m_1)D}{M - (m_1 - m_2)}, \quad (2)$$

где $\rho_{\text{др}}$ — плотность древесины;

M — масса гирь, уравнивающих образец в воздухе;

m_1 — масса гирь, уравнивающих пикнометр с жидкостью;

m_2 — масса гирь, уравнивающих пикнометр с жидкостью и погруженным в нее образцом;

$\rho_{\text{ж}}$ — плотность жидкости;

D — плотность воздуха.

Несмотря на высокую точность, пикнометрический метод весьма трудоемок, поэтому используется в лабораторных условиях при необходимости определения плотности с максимальной точностью.

На практике достаточно часто требуется определить плотность древесины в полевых условиях, когда набор инструментов для этой задачи огра-

ничен. Из перечисленных методов определения плотности древесины практически ни один не подходит для решения данной задачи. В рамках настоящей статьи предлагается один из вариантов ее решения.

Цель работы

Цель работы — разработка метода определения плотности древесины в полевых условиях, обоснование его применимости на практике путем теоретических изысканий и проведения экспериментальных исследований.

Материалы и методы

Критический анализ способов определения плотности древесины в полевых условиях показал, что с технической точки зрения наиболее простым является метод, предусматривающий измерение длины образца, погружение его в жидкость, измерение высоты погружившейся в жидкость части образца и вычисление плотности по формуле

$$\rho_d = \frac{V_{\text{погр}}}{V_{\text{обр}}} \rho_{\text{ж}}, \quad (3)$$

которая для образца правильной призматической или цилиндрической формы (при погружении в воду, т. е. при $\rho_{\text{ж}} = 1 \text{ г/см}^3$) примет вид

$$\rho_d = \frac{H_{\text{погр}}}{H_{\text{обр}}}, \quad (4)$$

где ρ_d — плотность образца древесины;

$V_{\text{погр}}$ — объем погружившейся в жидкость части образца;

$V_{\text{обр}}$ — объем образца;

$\rho_{\text{ж}}$ — плотность жидкости;

$H_{\text{погр}}$ — высота погружившейся части образца;

$H_{\text{обр}}$ — высота образца.

К недостаткам данного метода относят большую погрешность измерений, поскольку при погружении в жидкость образец принимает горизонтальное положение.

Такой недостаток можно устранить с помощью прикрепления к торцевой поверхности одного из концов исследуемого образца древесины груза в виде металлического шарика, оснащенного иглой, которая одним концом жестко соединена с ним, а противоположным острым концом внедряется в тело образца на всю свою длину, перед погружением в жидкость известной плотности (рис. 1).

Согласно предложенному способу в работе [33], определение плотности древесины можно выполнить следующим образом. Первоначально изготавливают образец древесины *1*, например, размером $10 \times 10 \times 100 \text{ мм}$ (последнее измерение вдоль волокон древесины) или цилиндрической формы аналогичной длины. К торцевой поверхности одного из концов данного образца прикрепляют

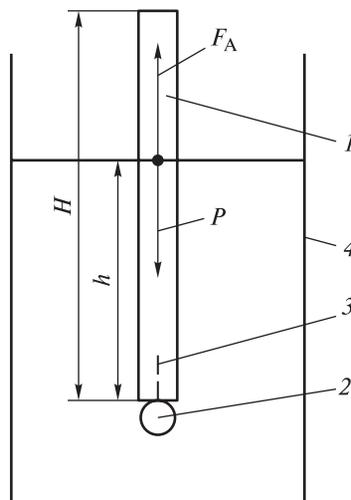


Рис. 1. Расчетная схема действия сил, действующих на образец в процессе измерения: 1 — образец древесины; 2 — металлический шарик; 3 — игла; 4 — сосуд с жидкостью

Fig. 1. Calculation scheme of the forces acting on the sample during in the measurement process: 1 — wood sample; 2 — metal ball; 3 — needle; 4 — vessel with liquid

металлический шарик 2, жестко соединенный с иглой 3, которая острым концом внедряется в тело образца 1 на всю свою длину. После помещения образца 1 с прикрепленным шариком 2 в емкость 4 с жидкостью известной плотности $\rho_{\text{ж}}$ измеряют глубину погружения *h*.

Математически проделанные операции имеют следующее обоснование. После помещения образца с прикрепленным шариком в емкость с жидкостью система образец — шарик принимает статичное вертикальное положение, что свидетельствует о равенстве выталкивающей (архимедовой) силы F_A и силы тяжести (веса) P .

Архимедова сила F_A будет складываться из двух составляющих, действующих на шарик $F_{\text{Аш}}$ и погруженную в жидкость часть образца $F_{\text{Ад}}$

$$F_{\text{Аш}} = V_{\text{ш}} \rho_{\text{ж}} g, \quad (5)$$

$$F_{\text{Ад}} = S h g \rho_{\text{ж}}, \quad (6)$$

где $V_{\text{ш}}$ — объем шарика;

g — ускорение свободного падения;

$\rho_{\text{ж}}$ — плотность жидкости;

S — площадь поперечного сечения образца;

h — глубина погружения образца.

Сила тяжести также будет складываться из двух составляющих, действующих на шарик — $P_{\text{ш}}$ и исследуемый образец — P_d :

$$P_{\text{ш}} = V_{\text{ш}} \rho_{\text{ш}} g, \quad (7)$$

$$P_d = S H \rho_d g, \quad (8)$$

где $\rho_{\text{ш}}$ — плотность шарика;

H — длина образца;

ρ_d — плотность образца древесины.



Рис. 2. Измерение геометрических размеров образцов
Fig. 2. Measurement geometric dimensions of samples



Рис. 3. Взвешивание образцов
Fig. 3. Weighing samples

Произведение SH представляет собой объем V_d исследуемого образца древесины — $SH = V_d$.

Из условия статичности системы приравняем сумму выражений (5) и (6) к сумме выражений (7) и (8)

$$V_{ш}g\rho_{ж} + Shg\rho_{ж} = V_{ш}\rho_{ш}g + SH\rho_{д}g. \quad (9)$$

После математических преобразований и решения уравнения (9) относительно плотности образца древесины ρ_d получаем

$$\rho_d = \frac{h}{H}\rho_{ж} - \frac{V_{ш}}{V_d}(\rho_{ш} - \rho_{ж}). \quad (10)$$

Применимость метода на практике оценивалась экспериментально путем сравнения результатов стереометрическим методом. Для этого были изготовлены образцы комнатно-сухой древесины девяти различных пород размером $10 \times 10 \times 100$ мм (последний размер — вдоль волокон) и взяты два оснащенных иглами стальных шарика диаметром 9,52 и 7,82 мм, массой 3,618 и 2,005 г, и объемом 451,76 и 250,39 мм³ соответственно.

Результаты и обсуждение

Первоначально с помощью штангенциркуля и весов у всех образцов были определены геометрические размеры (рис. 2) и масса (рис. 3).

В дальнейшем экспериментально определялась возможность обеспечения вертикального положения образца при погружении его в жидкость

(в настоящем случае в воду) с помощью крепления к одной из торцовых поверхностей образца металлического шарика. Для этого использовался стальной шарик с меньшими размерно-массовыми характеристиками. В ходе эксперимента определено, что для образцов некоторых пород древесины условие вертикального положения в воде не обеспечивается (рис. 4). Поэтому для таких образцов использовался шарик с большими размерно-массовыми характеристиками (рис. 5). Кроме того, визуально оценивалась плавучесть системы образец — шарик, подразумевающая неполное погружение в жидкость.

После выполненных подготовительных операций была проведена серия опытов с учетом указанных выше условий. Первоначально была рассчитана плотность образцов стереометрическим методом по формуле

$$\rho_d = \frac{m_d}{abH}, \quad (11)$$

где ρ_d — плотность образца древесины;
 m_d — масса образца древесины;
 a, b, H — соответственно толщина, ширина и длина образца древесины.

На следующем этапе определяли плотность по предложенному методу с учетом выражения (10), при этом глубину погружения образца h измерили штангенциркулем по длине смоченной части образца. Значение погрешности между значениями плотности, вычисленной различными методами, определяли по выражению

$$\Delta = \frac{\rho_{пм} - \rho_{см}}{\rho_{см}} 100 \%, \quad (12)$$

где Δ — значение погрешности;
 $\rho_{пм}$ — плотность, определенная по предложенному методу;
 $\rho_{см}$ — плотность, определенная по стереометрическому методу.

Полученные экспериментальные данные приведены в табл. 1. Положительное значение погрешности связано с тем, что проведение опытов по методу сопровождалось непосредственным контактом образцов с водой, что влекло за собой закономерное поглощение влаги древесиной и соответствующее увеличение массы образцов. Поэтому для обоснованного сравнения двух методов следует измерять массу образцов после проведения опытов с погружением в воду.

Отметим, что геометрические размеры образцов после непродолжительного пребывания их в воде, т. е. за время определения глубины погружения, существенным образом не изменяются. С учетом приведенных суждений и фактов результаты экспериментальных данных претерпят некоторые изменения (табл. 2).



Рис. 4. Положение образца при использовании меньшего шарика

Fig. 4. The sample position when using a smaller ball



Рис. 5. Положение образца при использовании большего шарика

Fig. 5. The sample position when using a larger ball

Т а б л и ц а 1

Определение плотности образцов стереометрическим и предложенным методами

Comparison the results of determining samples density by stereometric and proposed methods

Образец	Масса, г	Геометрические размеры образца, мм			Глубина погружения образца <i>h</i> , мм	Плотность по стереометрическому методу, кг/м ³	Плотность по предложенному методу, кг/м ³	Погрешность Δ, %
		<i>a</i>	<i>b</i>	<i>H</i>				
Береза	6,483	10,03	10,07	99,90	84,2	642,5	668,9	4,11
Бук	7,160	10,04	10,13	100,72	91,5	698,7	737,2	5,51
Дуб	6,272	9,95	10,14	100,50	81,5	618,6	637,9	3,12
Ель*	4,787	10,09	10,13	100,38	80,5	466,6	493,4	5,74
Липа	5,857	10,03	10,06	100,49	77,9	577,6	602,2	4,26
Лиственница	6,493	10,10	10,14	100,45	82,1	631,2	646,8	2,47
Осина*	5,005	9,98	10,04	100,31	82,9	498,0	513,4	3,09
Сосна*	4,096	10,05	10,06	100,27	73,8	404,0	423,7	4,88
Ясень	7,491	10,14	10,17	99,95	92,2	726,7	752,2	3,51

*Породы древесины, для опытов с которыми использовался шарик с большими размерно-массовыми характеристиками.

Т а б л и ц а 2

Сравнение результатов определения плотности образцов стереометрическим и предложенным методами

Comparison the results of determining samples density by stereometric and proposed methods

Образец	Масса, г	Геометрические размеры образца, мм			Глубина погружения образца <i>h</i> , мм	Плотность по стереометрическому методу, кг/м ³	Плотность по предложенному методу, кг/м ³	Погрешность Δ, %
		<i>a</i>	<i>b</i>	<i>H</i>				
Береза	6,719	10,03	10,07	99,90	84,2	665,9	668,9	0,45
Бук	7,412	10,04	10,13	100,72	91,5	723,6	737,2	1,88
Дуб	6,466	9,95	10,14	100,50	81,5	637,7	637,9	0,03
Ель*	4,951	10,09	10,13	100,38	80,5	482,6	493,4	2,24
Липа	6,050	10,03	10,06	100,49	77,9	596,7	602,2	0,92
Лиственница	6,605	10,10	10,14	100,45	82,1	642,0	646,8	0,75
Осина*	5,155	9,98	10,04	100,31	83,1	512,9	513,4	0,10
Сосна*	4,230	10,05	10,06	100,27	73,8	417,3	423,7	1,53
Ясень	7,620	10,14	10,17	99,95	92,2	739,3	752,2	1,74

*Породы древесины, для опытов с которыми использовался шарик с большими размерно-массовыми характеристиками.

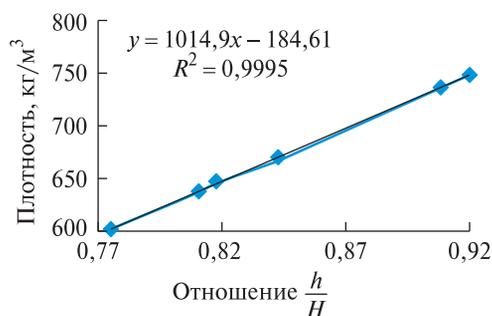


Рис. 6. Зависимость плотности образца древесины от отношения h/H при использовании меньшего шарика

Fig. 6. Graph and equation for determining the density of a sample using a small ball

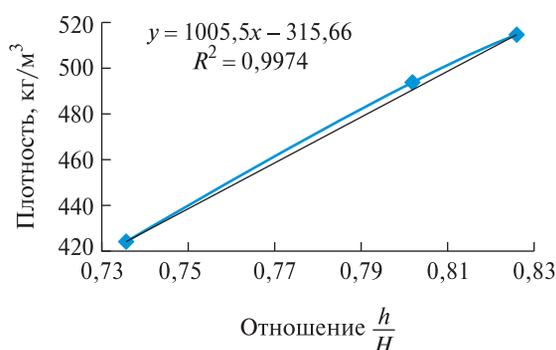


Рис. 7. Зависимость плотности образца древесины от отношения h/H при использовании большего шарика

Fig. 7. Graph and equation for determining sample density when using a larger ball

В целях облегчения применения метода с использованием различных шариков на практике можно воспользоваться иллюстративным материалом (рис. 6, 7).

По оси абсцисс на графиках (см. рис. 6, 7) отсчитывается отношение глубины погружения образца к его длине — h/H , а по оси ординат определяется соответствующая этому отношению плотность исследуемого образца ρ_d . Возможность использования этих графиков с уравнениями ограничивается геометрическими размерами образцов, составляющими $10 \times 10 \times 100$ мм. В случае использования образцов другого поперечного сечения и размеров графики будут описываться уравнениями, имеющими другие коэффициенты.

Чаще всего в полевых условиях образцы древесины имеют форму цилиндра, а не прямоугольной призмы, использованной в опытах. Тогда выражение (10) принимает вид

$$\rho_d = \frac{1}{H} \left(h \rho_{\text{ж}} - \frac{2d_{\text{ш}}^3}{3d_{\text{д}}^2} (\rho_{\text{ш}} - \rho_{\text{ж}}) \right), \quad (13)$$

где $d_{\text{ш}}$ — диаметр шарика;

$d_{\text{д}}$ — диаметр образца древесины.

Для применения на практике предложенного метода целесообразно иметь набор шариков различных типоразмеров, отличающихся не только размерно-массовыми характеристиками, но и материалом, из которого они изготовлены. Кроме того, наиболее распространенной жидкостью, которую используют для различных опытов, является вода, плотность которой составляет около 1 г/см^3 . С учетом указанных допущений выражение (13) можно упростить до вида

$$\rho_d = \frac{1}{H} \left(h - \frac{N_x}{d_{\text{д}}^2} \right), \quad (14)$$

где $N_x = \frac{2}{3} d_{\text{ш}}^3 (\rho_{\text{ш}} - 1)$ — числовая характеристика (типоразмер) шарика, учитывающая его диаметр и материал, из которого он изготовлен.

Таким образом, для определения плотности древесного образца круглого сечения по выражению (14) необходима числовая характеристика шарика, а также требуется определение длины образца H , глубины его погружения h и диаметра $d_{\text{д}}$.

Из изложенного выше следует необходимость правильного подбора шарика. В данном случае важно соблюдать два основных условия (ограничения): 1) неполное погружение системы образец-шарик в жидкость, т. е. глубина погружения h должна быть меньше длины образца H ; 2) обеспечение вертикального расположения системы образец — шарик в жидкости во избежание всплывания образца (см. рис. 4).

Первое ограничение математически можно выразить неравенством, согласно которому плотность системы образец-шарик должна быть меньше плотности жидкости

$$\rho_{\text{ж}} > \frac{m_{\text{д}} + m_{\text{ш}}}{V_{\text{д}} + V_{\text{ш}}}. \quad (15)$$

С учетом допущения $\rho_{\text{ж}} = 1 \text{ г/см}^3$ выражение (15) можно упростить до вида

$$\frac{V_{\text{д}} + V_{\text{ш}}}{m_{\text{д}} + m_{\text{ш}}} > 1. \quad (16)$$

В табл. 3 приведены результаты расчетов соотношения (16) при использовании шариков различных размерно-массовых характеристик.

Из данных табл. 3 следует, что значение соотношения (16) численно меньше единицы, что свидетельствует о полном погружении в жидкость системы образец — шарик. Это справедливо при использовании большего шарика для образцов из бука и ясеня. Кроме того, значения соотношения близкие к единице (образцы березы, дуба, лиственницы) доставляют неудобства при определении глубины погружения h образца, так как при

Значения соотношения $\frac{V_d + V_{ш}}{m_d + m_{ш}}$ при использовании различных шариков по породам древесины

The value of the ratio $\frac{V_d + V_{ш}}{m_d + m_{ш}}$ when using different balls by wood species

Образец	Масса, г	Геометрические размеры образца, мм			Соотношение $\frac{V_d + V_{ш}}{m_d + m_{ш}}$ при использовании меньшего шарика	Соотношение $\frac{V_d + V_{ш}}{m_d + m_{ш}}$ при использовании большего шарика
		<i>a</i>	<i>b</i>	<i>H</i>		
Береза	6,483	10,03	10,07	99,90	1,218	1,044
Бук	7,160	10,04	10,13	100,72	1,145	0,992
Дуб	6,272	9,95	10,14	100,50	1,255	1,071
Ель	4,787	10,09	10,13	100,38	1,547	1,274
Липа	5,857	10,03	10,06	100,49	1,322	1,118
Лиственница	6,493	10,10	10,14	100,45	1,240	1,062
Осина	5,005	9,98	10,04	100,31	1,470	1,218
Сосна	4,096	10,05	10,06	100,27	1,703	1,373
Ясень	7,491	10,14	10,17	99,95	1,112	0,968

нахождении в жидкости (в воде) древесина впитывает воду и, соответственно, увеличивается масса образца, что в конечном итоге приводит к еще большему снижению значения соотношения (16). В данном случае наиболее подходящим значением соотношения является значение от 1,1 и более.

Для выполнения условия вертикального расположения системы образец — шарик в жидкости невозможно привести какое-либо однозначное уравнение или неравенство. Считаем допустимым сравнение экспериментальных данных с соотношением (16). При использовании меньшего шарика, во время постановки экспериментов для образцов из ели, осины и сосны они всплывали, т. е. система образец — шарик принимала горизонтальное положение на поверхности жидкости. Из расчетов, приведенных в табл. 3, соотношение (16) для указанных пород превышает значение 1,4. Предположительно данная величина является некоторой переходной величиной, при которой начинается всплытие системы образец — шарик. В соответствии с приведенными ограничениями примечательно, что для определения плотности образца из древесины липы, согласно соотношению (16), можно использовать оба шарика. Проведенные эксперименты подтвердили приведенные суждения и расчеты.

Выводы

1. Предложен метод определения плотности древесины, позволяющий сократить время измерения. Согласно методу перед погружением в жидкость известной плотности к торцевой поверхности одного из концов исследуемого образца древесины прикрепляется груз в виде металлического шарика, обеспечивающий вертикальность расположения образца в жидкости во время осуществления измерений.

2. С использованием законов физики приведено теоретическое обоснование применимости метода на практике. За основу принята статичность системы образец-шарик, которая обеспечивается равнодействующей сил тяжести и Архимеда.

3. Экспериментально проверена работоспособность и пригодность метода для использования на практике. С использованием изготовленных образцов различных пород древесины проведены лабораторные исследования с последующим определением плотности образцов. Погрешность определения величины плотности при сравнении со стереометрическим методом составила не более 3 %.

4. С использованием аналитико-экспериментального метода и математического аппарата определены условия подбора шарика для исследований таким образом, чтобы происходило неполное погружение образца с одновременным обеспечением вертикального положения в среде жидкости.

Для этого получено соотношение $\frac{V_d + V_{ш}}{m_d + m_{ш}}$,

справедливое для водной среды, которое имеет рациональный диапазон 1,1–1,4.

5. На практике могут быть использованы образцы различных видов сечения, не изменяющиеся по длине. Для применения в полевых условиях целесообразно иметь набор шариков различных типоразмеров, отличающихся не только размерно-массовыми характеристиками, но и материалом, из которого они изготовлены.

Список литературы

- [1] Полубояринов О.И. Плотность древесины. М.: Лесная пром-сть, 1976. 160 с.
- [2] Федорков А.Л. Оценка качественных признаков древесины в селекционных программах (краткий обзор

- современной литературы) // Лесной вестник / Forestry Bulletin, 2023. Т. 27. № 4. С. 30–35.
DOI: 10.18698/2542-1468-2023-4-30-35
- [3] Chauhan S.S., Aggarwal P. Segregation of *Eucalyptus tereticornis* Sm. clones for properties relevant to solid wood products // Annals of Forest Science, 2011, v. 68, pp. 511–521. <https://doi.org/10.1007/s13595-011-0053-7>
- [4] Симоненко А.А., Коварская Е.З. Определение плотности древесины с применением низкочастотного ультразвукового метода // Наука и бизнес: пути развития, 2013. № 11(29). С. 44–50.
- [5] Beall F. Overview of the use of ultrasonic technologies in research on wood properties // Wood Science and Technology, 2002, v. 36, pp. 197–212. <https://doi.org/10.1007/s00226-002-0138-4>
- [6] Fundova I. Quantitative Genetics of Wood Quality Traits in Scots Pine. PhD Thesis // Acta Universitatis Agriculturae Sueciae, 2020, no. 9, p. 59.
- [7] Афонин Д.Н. Методы определения плотности лесоматериалов при таможенном контроле // Бюллетень инновационных технологий, 2022. Т. 6. № 4(24). С. 49–52.
- [8] Колесникова А.А., Федорова А.А., Мазуркин П.М. Ультразвуковые испытания древесины лыжных заготовок // Современные наукоемкие технологии, 2011. № 6. С. 46–52.
- [9] Bucur V. A Review on Acoustics of Wood as a Tool for Quality Assessment // Forests, 2023, no. 14, p. 1545. <https://doi.org/10.3390/f14081545>
- [10] Федосенко И.Г., Чесновский Е.В., Мазаник Н.В. Разработка неразрушающего метода оценки состояния древесины конструкций исторических памятников // Труды БГТУ, 2017. № 2. С. 273–278.
- [11] Decoux V. Relationships between the intra-ring wood density assessed by X-ray densitometry and optical anatomical measurements in conifers. Consequences for the cell wall apparent density determination // Annals of forest science, 2004, no. 61, pp. 251–262. <https://doi.org/10.1051/forest:2004018>
- [12] Macedo A., Vaz C.M.P., Pereira J.C.D., Naime J.M., Cruvinel P.E., Crestana S. Wood density determination by X- and Gamma-Ray tomography // Holzforschung, 2002, no. 56(5), pp. 535–540. <https://doi.org/10.1515/HF.2002.082>
- [13] Freyburger C., Longuetaud F., Mothe F. Measuring wood density by means of X-ray computer tomography // Annals of forest science, 2009, v. 66, p. 804. <https://doi.org/10.1051/forest/2009071>
- [14] Cherelli S. Nonconventional approach to evaluate the quality of heartwood and sapwood // Proceedings: 20th International Nondestructive Testing and Evaluation of Wood Symposium. General Technical Report FPL-GTR-249. Madison, WI: U.S. Department of Agriculture, Forest Service, Forest Products Laboratory, 2017, pp. 517–529.
- [15] Bouffier C., Charlot A., Raffin L. Can wood density be efficiently selected at early stage in maritime pine (*Pinus pinaster* Ait.)? // Annals of Forest Science, 2008, v. 65, pp. 106–108.
- [16] Silkin P.P., Kirdeyanov A.V., Krusic P.J., Ekimov M.V., Barinov V.V., Büntgen U. A new approach to measuring tree-ring density parameters // J. Sib. Fed. Univ. Biol., 2022, 15(4), pp. 441–455. <https://doi.org/10.17516/1997-1389-0397>
- [17] Терсков И.А., Ваганов Е.А., Спириков В.В. Новые методы изучения распределения пористости и плотности древесины внутри годичных слоев // Известия Сибирского отделения Академии наук СССР, серия биологических наук, 1972. Вып. 3 (15). С. 115–120.
- [18] Brashaw V.K., Vatalaro R.J., Wacker J.P., Ross R.J. Condition Assessment of Timber Bridges: 1 Evaluation of a Micro-Drilling Resistance Tool Gen. Tech. Rep. FPL-GTR-159. US Department of Agriculture, Forest Service, Forest Products Laboratory. Madison, WI, 2005, 78 p.
- [19] Ceraldi C., Mormone V., Russo Ermolli E. Resistographic inspection of ancient timber structures for the evaluation of mechanical characteristics // Mat. Struct., 2001, v. 34, pp. 59–64. <https://doi.org/10.1007/BF02482201>
- [20] Шарапов Е.С. Совершенствование методов и средств квазинеразрушающего контроля физико-механических свойств древесины и древесных материалов: дис. ... д-ра техн. наук: 05.21.05. Архангельск, 2020. 280 с.
- [21] Schimleck L., Dahlen J., Apiolaza L., Downes G., Emms G., Evans R., Moore J., Pâques L., Bulcke J., Wang X. Non-destructive evaluation techniques and what they tell us about wood property variation // Forests, 2019, v. 10, pp. 1–50. <https://doi.org/10.3390/f10090728>
- [22] Fundova I., Funda T., Wu H.X. Non-destructive wood density assessment of Scots pine (*Pinus sylvestris* L.) using Resistograph and Pilodyn // PLoS ONE, 2018, v. 13, no. 9, pp. 1–16. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0204518>
- [23] Шарапов Е.С., Чернов В.Ю. Обоснование конструкции устройства для исследования свойств древесины сверлением // Известия Санкт-Петербургской лесотехнической академии, 2011. № 195. С. 134–141.
- [24] ГОСТ 16483.1-84 (СТ СЭВ 388-76) Древесина. Метод определения плотности. URL: <https://docs.cntd.ru/document/1200008349> (дата обращения 22.11.2023).
- [25] ISO 13061-2:2014 Physical and mechanical properties of wood. Test methods for small clear wood specimens. Part 2: Determination of density for physical and mechanical tests. URL: <https://www.iso.org/standard/60064.html> (дата обращения 22.11.2023).
- [26] Гайнуллин Рен. X., Цветкова Е.М., Гайнуллин Риш. X. Устройство для измерения объемов образцов древесины. Пат. № 2741900 РФ, МПК G01F 17/00, заявитель и патентообладатель ФГБОУ ВО «Поволжский государственный технологический университет», № 2020125362; заявл. 30.07.2020; опубл. 29.01.2021, бюл. № 4.
- [27] Гайнуллин Рен. X., Сафин Р.Р., Гайнуллин Риш. X., Исмаилов Л.Ю., Цветкова Е.М. Устройство для измерения объемов тел. Пат. № 2779771 Российская Федерация, МПК G01F 17/00, заявитель и патентообладатель ФГБОУ ВО «Поволжский государственный технологический университет», № 2022110569; заявл. 19.04.2022; опубл. 13.09.2022, бюл. № 26.
- [28] Уголев Б.Н. Древесиноведение. М.: Лесная пром-сть, 1975. 321 с.
- [29] Vieilledent G., Fischer F.J., Chave J., Guibal D., Langbour P., Gérard J. New formula and conversion factor to compute basic wood density of tree species using a global wood technology database // American J. of Botany, 2018, v. 105(10), pp. 1653–1661. <https://doi.org/10.1002/ajb2.1175>
- [30] Williamson G.B., Wiemann M.C. Measuring Wood Specific Gravity Correctly // American J. of Botany, 2010, v. 97, pp. 519–524. <http://dx.doi.org/10.3732/ajb.0900243>
- [31] Гаузнер С.И., Кивилис С.С., Осокина А.П., Павловский А.Н. Измерение массы, объема и плотности. М.: Издательство стандартов, 1972. 623 с.
- [32] Marianne L. Harder Pycnometer method for obtaining wood and bark chip densities., Appleton, Wisconsin: The institute of paper chemistry, 1975, v. 21, pp. 1–4.
- [33] Гайнуллин Рен. X., Гайнуллин Риш. X., Цветкова Е.М., Миронов П.И., Романов А.В. Способ определения плотности древесины. Пат. № 2805371 РФ, МПК G01N 9/10 /, заявитель и патентообладатель ФГБОУ ВО «Поволжский государственный технологический университет», № 2023116488; заявл. 22.06.2023; опубл. 16.10.2023, бюл. № 29.

Сведения об авторах

Гайнуллин Ренат Харисович✉ — канд. техн. наук, доцент кафедры деревообрабатывающих производств, ФГБОУ ВО «Поволжский государственный технологический университет», gainylinrh@yandex.ru

Гайнуллин Ришат Харисович — канд. техн. наук, доцент кафедры деревообрабатывающих производств, ФГБОУ ВО «Поволжский государственный технологический университет», rishat_000@mail.ru

Цветкова Екатерина Михайловна — ст. преподаватель кафедры стандартизации, сертификации и товароведения, ФГБОУ ВО «Поволжский государственный технологический университет», Ekaterinadudina@mail.ru

Сафин Руслан Рушанович — д-р техн. наук, профессор кафедры архитектуры и дизайна изделий из древесины, ФГБОУ ВО «Казанский национальный исследовательский технологический университет», cfaby@mail.ru

Поступила в редакцию 05.12.2023.

Одобрено после рецензирования 29.02.2024.

Принята к публикации 15.05.2024.

WOOD DENSITY DETERMINATION DEVELOPMENT AND JUSTIFICATION METHOD

Ren. H. Gainullin¹✉, Rish. H. Gainullin¹, E.M. Tsvetkova¹, R.R. Safin²

¹Volga State University of Technology, Lenin sq., 3, Yoshkar-Ola city, 424000, Russia

²Kazan National Research Technological University, K. Marks str., 68, Kazan city, 420015, Russia

gainylinrh@yandex.ru

The article provides a brief overview of methods for determining the wood density, which according to the classification are divided into direct and indirect. A mathematically justified author's method for determining the wood density, taking into account the laws of physics, is proposed, which is a kind of water displacement method. Experimental studies have been conducted on nine types of wood, which have shown the efficiency and applicability of the method. The data obtained by the stereometric method were compared (the error value was less than 3 %). The conditions for selecting a load in the form of a ball for research are determined in such a way that incomplete immersion of the sample occurs while ensuring vertical position in a liquid medium. It is recommended to use the proposed method to determine the density of wood in the field conditions.

Keywords: wood density, methods for determining wood density, express method for determining wood density

Suggested citation: Gainullin Ren.H., Gainullin Rich.H., Tsvetkova E.M., Safin R.R. *Razrabotka i obosnovanie metoda opredeleniya plotnosti drevesiny* [Wood density determination development and justification method] // Lesnoy vestnik / Forestry Bulletin, 2024, vol. 28, no. 4, pp. 147–156. DOI: 10.18698/2542-1468-2024-4-147-156

References

- [1] Poluboiarinov O.I. *Plotnost' drevesiny* [Wood density]. Moscow: Lesnaya promyshlennost' [Forest industry], 1976, 160 p.
- [2] Fedorkov A.L. *Otsenka kachestvennykh priznakov drevesiny v selektsionnykh programmakh (kratkiy obzor sovremennoy literatury)* [Wood quality estimation in tree breeding programmes (short literature review)]. Lesnoy vestnik / Forestry Bulletin, 2023, vol. 27, no. 4, pp. 30–35. DOI: 10.18698/2542-1468-2023-4-30-35
- [3] Chauhan S.S., Aggarwal P. Segregation of *Eucalyptus tereticornis* Sm. clones for properties relevant to solid wood products. *Annals of Forest Science*, 2011, v. 68, pp. 511–521. <https://doi.org/10.1007/s13595-011-0053-7>
- [4] Simonenko, A.A., Kovarskaia E.Z. *Opredelenie plotnosti drevesiny s primeneniem nizkochastotnogo ul'trazvukovogo metoda* [Determination of wood density using a low-frequency ultrasonic method]. *Nauka i biznes: puti razvitiya* [Science and business: ways of development], 2013, no. 11(29), pp. 44–50.
- [5] Beall F. Overview of the use of ultrasonic technologies in research on wood properties. *Wood Science and Technology*, 2002, v. 36, pp. 197–212. <https://doi.org/10.1007/s00226-002-0138-4>
- [6] Fundova I. Quantitative Genetics of Wood Quality Traits in Scots Pine. PhD Thesis. *Acta Universitatis Agriculturae Sueciae*, 2020, no. 9, p. 59.
- [7] Afonin D.N. *Metody opredeleniya plotnosti lesomaterialov pri tamozhennom kontrole* [Methods for determining the density of timber under customs control]. *Byulleten' innovatsionnykh tekhnologiy* [Bulletin of Innovative Technologies], 2022, v. 6, no. 4(24), pp. 49–52.
- [8] Kolesnikova A.A., Fedorova A.A., Mazurkin P.M. *Ul'trazvukovye ispytaniya drevesiny lyzhnykh zagotovok* [Ultrasonic testing of ski billet wood]. *Sovremennye naukoemkie tekhnologii* [Modern high-tech technologies], 2011, no. 6, pp. 46–52.
- [9] Bucur V. A Review on Acoustics of Wood as a Tool for Quality Assessment. *Forests*, 2023, no. 14, p. 1545. <https://doi.org/10.3390/f14081545>
- [10] Fedosenko I.G., Chesnovskiy E.V., Mazanik N.V. *Razrabotka nerazrushayushchego metoda ocenki sostoyaniya drevesiny konstruktsiy istoricheskikh pamyatnikov* [Development of a non-destructive method for assessing the condition of wood structures of historical monuments]. *Trudy BGTU* [The works of BSTU], 2017, no. 2, pp. 273–278.
- [11] Decoux V. Relationships between the intra-ring wood density assessed by X-ray densitometry and optical anatomical measurements in conifers. Consequences for the cell wall apparent density determination. *Annals of forest science*, 2004, no. 61, pp. 251–262. <https://doi.org/10.1051/forest:2004018>

- [12] Macedo A., Vaz C.M.P., Pereira J.C.D., Naime J.M., Cruvinel P.E., Crestana S. Wood density determination by X- and Gamma-Ray tomography. *Holzforschung*, 2002, no. 56(5), pp. 535–540. <https://doi.org/10.1515/HF.2002.082>
- [13] Freyburger C., Longuetaud F., Mothe F. Measuring wood density by means of X-ray computer tomography. *Annals of forest science*, 2009, v. 66, p. 804. <https://doi.org/10.1051/forest/2009071>
- [14] Cherelli S. Nonconventional approach to evaluate the quality of heartwood and sapwood. *Proceedings: 20th International Nondestructive Testing and Evaluation of Wood Symposium. General Technical Report FPL-GTR-249*. Madison, WI: U.S. Department of Agriculture, Forest Service, Forest Products Laboratory, 2017, pp. 517–529.
- [15] Bouffier C., Charlot A., Raffin L. Can wood density be efficiently selected at early stage in maritime pine (*Pinus pinaster* Ait.)? *Annals of Forest Science*, 2008, v. 65, pp. 106–108.
- [16] Silkin P.P., Kirdeyanov A.V., Krusic P.J., Ekimov M.V., Barinov V.V., Büntgen U. A new approach to measuring tree-ring density parameters. *J. Sib. Fed. Univ. Biol.*, 2022, 15(4), pp. 441–455. <https://doi.org/10.17516/1997-1389-0397>
- [17] Terskov I.A., Vaganov E.A., Spirov V.V. *Novye metody izucheniya raspredeleniya poristosti i plotnosti drevesiny vntri godichnyh sloev* [New methods for studying the distribution of porosity and density of wood inside annual layers]. *Izvestiya Sibirskogo otdeleniya Akademii nauk SSSR, seriya biologicheskikh nauk* [Proceedings of the Siberian Branch of the USSR Academy of Sciences, series of biological Sciences], 1972, v. 3 (15), pp. 115–120.
- [18] Brashaw B.K., Vatalaro R.J., Wacker J.P., Ross R.J. Condition Assessment of Timber Bridges: 1 Evaluation of a Micro-Drilling Resistance Tool Gen. Tech. Rep. FPL-GTR-159. US Department of Agriculture, Forest Service, Forest Products Laboratory, Madison, WI, 2005, 78 p.
- [19] Ceraldi C., Mormone V., Russo Ermolli E. Resistographic inspection of ancient timber structures for the evaluation of mechanical characteristics. *Mat. Struct.*, 2001, v. 34, pp. 59–64. <https://doi.org/10.1007/BF02482201>
- [20] Sharapov E.S. *Sovershenstvovanie metodov i sredstv kvazinerazrushayushchego kontrolya fiziko-mekhanicheskikh svoystv drevesiny i drevesnykh materialov* [Improvement of methods and means of quasi-destructive control of physical and mechanical properties of wood and wood materials]. Dis. Dr. Sci. (Tech.), 05.21.05. Arhangel'sk, 2020, 280 p.
- [21] Schimleck L., Dahlen J., Apiolaza L., Downes G., Emms G., Evans R., Moore J., Pâques L., Bulcke J., Wang X. Non-destructive evaluation techniques and what they tell us about wood property variation. *Forests*, 2019, v. 10, pp. 1–50. <https://doi.org/10.3390/f10090728>
- [22] Fundova I., Funda T., Wu H.X. Non-destructive wood density assessment of Scots pine (*Pinus sylvestris* L.) using Resistograph and Pilodyn. *PLoS ONE*, 2018, v. 13, no. 9, pp. 1–16. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0204518>
- [23] Sharapov E.S., Chernov V.Yu. *Obosnovanie konstruksii ustroystva dlya issledovaniya svoystv drevesiny sverleniem* [Justification of the design of a device for studying the properties of wood by drilling]. *Izvestiya Sankt-Peterburgskoy lesotekhnicheskoy akademii* [News of the St. Petersburg Forestry Academy], 2011, no. 195, pp. 134–141.
- [24] GOST 16483.1–84 (ST SEV 388-76) *Drevesina. Metod opredeleniya plotnosti* [Wood. Density determination method]. Available at: <https://docs.cntd.ru/document/1200008349> (accessed 22.11.2023).
- [25] ISO 13061-2:2014 Physical and mechanical properties of wood. Test methods for small clear wood specimens. Part 2: Determination of density for physical and mechanical tests. Available at: <https://www.iso.org/standard/60064.html> (accessed 22.11.2023).
- [26] Gainullin Ren. Kh., Tsvetkova E.M., Gainullin Rish. Kh. *Ustrojstvo dlya izmereniya ob'emov obrazcov drevesiny* [A device for measuring the volume of wood samples]. Patent № 2741900 Russian Federation, MPK G01F 17/00, Volga State University of Technology, 2021.
- [27] Gainullin Ren.Kh., Safin R.R., Gainullin Rish.Kh., Ismailov L.U., Tsvetkova E.M. *Ustroystvo dlya izmereniya ob'emov tel* [A device for measuring the volume of bodies]. Patent № 2779771 Russian Federation, MPK G01F 17/00, Volga State University of Technology, 2022.
- [28] Ugolev B.N. *Drevesinovedenie* [Wood science]. Moscow: Lesnaya promyshlennost' [Forest industry], 1975, 321 p.
- [29] Vieilledent G., Fischer F.J., Chave J., Guibal D., Langbour P., Gérard J. New formula and conversion factor to compute basic wood density of tree species using a global wood technology database. *American J. of Botany*, 2018, v. 105(10), pp. 1653–1661. <https://doi.org/10.1002/ajb2.1175>
- [30] Williamson G.B., Wiemann M.C. Measuring Wood Specific Gravity Correctly. *American J. of Botany*, 2010, v. 97, pp. 519–524. <http://dx.doi.org/10.3732/ajb.0900243>
- [31] Gauzner S.I., Kivilis S.S., Osokina A.P., Pavlovskii A.N. *Izmerenie massy, ob'yoma i plotnosti* [Measurement of mass, volume and density]. Moscow: Izd-vo Standartov [Publishing House of Standards], 1972, 623 p.
- [32] Marianne L. Harder Pycnometer method for obtaining wood and bark chip densities., Appleton, Wisconsin: The institute of paper chemistry, 1975, v. 21, pp. 1–4.
- [33] Gainullin Ren.Kh., Gainullin Rish.Kh., Tsvetkova E.M., Mironov P.I., Romanov A.V. *Sposob opredeleniya plotnosti drevesiny* [Method for determining the density of wood]. Patent № 2805371 Russian Federation, MPK G01N 9/10, Volga State University of Technology, 2023.

Authors' information

Gainullin Renat Harisovich ✉ — Cand. Sci. (Tech.), Associate Professor of the Department of Woodworking Industries, Volga State University of Technology, gainullinrh@yandex.ru

Gainullin Rishat Harisovich — Cand. Sci. (Tech.), Associate Professor of the Department of Woodworking Industries, Volga State University of Technology, rishat_000@mail.ru

Tsvetkova Ekaterina Mihailovna — Senior Lecturer of the Department of Standardization, Certification and Merchandising, Volga State University of Technology, Ekaterinadudina@mail.ru

Safin Ruslan Rushanovich – Dr. Sci. (Tech.), Professor of the Department of Architecture and Design of Wood Products, Kazan National Research Technological University, cfaby@mail.ru

Received 05.12.2023.

Approved after review 29.02.2024.

Accepted for publication 15.05.2024.

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

ПРИМЕНЕНИЕ ТЕОРИИ НАДЕЖНОСТИ ОРГАНИЗАЦИОННЫХ СИСТЕМ ПРИ РЕШЕНИИ ЧАСТНЫХ ЗАДАЧ ПРОЕКТИРОВАНИЯ ОРГАНИЗАЦИИ СТРОИТЕЛЬСТВА МАГИСТРАЛЬНЫХ ЛЕСОВОЗНЫХ АВТОМОБИЛЬНЫХ ДОРОГ

И.А. Высоцкая, А.В. Скрыпников✉, Ю.А. Боровлев,
В.В. Самцов, П.О. Романов

ФГБОУ ВО «Воронежский государственный университет инженерных технологий» (ФГБОУ ВО «ВГУИТ»), Россия, 394036, г. Воронеж, пр-кт Революции, д. 19

skrypnikovvsafe@mail.ru

Проведен анализ современного состояния методов и приведена классификация частных задач проектирования организации строительства. Рассматривается вопрос понимания термина «надежность» в рамках организационной системы, в частности в строительном производстве. Проведен анализ применения теории надежности, сформулировано четыре подхода к исследованию надежности организационных систем. В каждом из подходов выделены особенности и недостатки их использования в качестве критерия оптимальности или в ограничениях. Сделаны выводы об использовании понятия уровня надежности организационной системы при решении задач проектирования организации строительства лесовозных автомобильных дорог. **Ключевые слова:** лесовозные автомобильные дороги, строительство, проектирование, теория надежности

Ссылка для цитирования: Высоцкая И.А., Скрыпников А.В., Боровлев Ю.А., Самцов В.В., Романов П.О. Применение теории надежности организационных систем при решении частных задач проектирования организации строительства магистральных лесовозных автомобильных дорог // Лесной вестник / Forestry Bulletin, 2024. Т. 28. № 4. С. 157–166. DOI: 10.18698/2542-1468-2024-4-157-166

Круг задач, возникающих при проектировании организации строительства лесовозных автомобильных дорог, весьма широк и определяется составом проекта организации строительства (ПОС), регламентированным различными строительными нормами и правилами (СНиП), в которых установлено, что для решения поставленных задач следует применять экономико-математические методы. Однако некоторые задачи, как, например, разработка ситуационного плана строительства, плана инженерных сетей, являются сугубо организационными и не требуют математической формализации и строгого научного обоснования. Для строительства лесовозных автомобильных дорог магистрального типа требуется разработка календарного плана, составление графика потребности в основных строительных машинах и транспортных средствах.

В настоящее время при разработке ПОС лесовозных автомобильных дорог проектировщики в подавляющем большинстве случаев полагаются на имеющийся опыт или на решения, принятые ранее в других проектах при аналогичных ситуациях [1, 2], а для расчетов используют укрупненные нормативы, содержащиеся в соответствующих СНиП.

Однако этот традиционный подход не всегда дает удовлетворительные результаты, поскольку

укрупненные нормативы не могут учесть индивидуальные особенности проектируемого объекта, а личный опыт проектировщика субъективен. Индивидуальный подход особенно важен при проектировании организации строительства магистральных лесовозных автомобильных дорог, поскольку каждая из них представляет собой уникальный строительный объект. В этом случае ошибочные организационные решения, принятые на стадии составления ПОС, влекут за собой убытки, исчисляемые сотнями миллионов рублей.

Исследователи неоднократно решали отдельные частные задачи, входящие в состав ПОС. Фактически это основные, наиболее сложные задачи, однако их можно формализовать и решить с помощью различных оптимизационных методов и современных компьютерных технологий. К таким относятся следующие задачи:

– составление оптимального графика перемещения земляных масс и выбор машин для выполнения земляных работ [3, 4];

– определение потребности в ресурсах различных видов (строительных материалах, машинах и механизмах, автотранспортных средствах и т. д.) [5, 6];

– размещение производственных баз строительства [7];

– составление календарного плана или сетевого графика строительства объекта [8–10].

Результаты решения в ходе составления ПОС отдельных задач с ориентацией на частные критерии оптимальности могут вступить в противоречие между собой и, очевидно, не будут оптимальными с точки зрения глобального критерия — экономического эффекта от строительства проектируемого объекта.

М.Д. Спектором [11] предложен метод комплексной оптимизации процессов строительства: «при проектировании организации строительства и производства работ организационно-технологические решения выбираются с одновременным охватом в анализе их взаимосвязи друг с другом и достижением конечных целей строительства». Автор подчеркивает, что ведущее значение в этом методе за оптимизацией продолжительности строительства, поскольку только путем «выбора оптимальной продолжительности строительства можно достичь согласования организационно-технологических решений в строительном производстве с экономическими целями строительства как отрасли».

Последний тезис особенно важен для магистральных лесовозных автомобильных дорог, продолжительность строительства которых должна быть обоснованно установлена в ходе разработки ПОС.

Процесс строительства носит вероятностный характер [10], и в большинстве работ для учета этого факта была применена теория надежности организационных систем, получившая широкое распространение при решении задач ПОС.

Цель работы

Цель работы — показать возможность использования уровня надежности в качестве критерия оптимальности при решении задач ПОС лесовозных автомобильных дорог на основании анализа современного состояния методов ПОС.

Материалы и методы

Для того чтобы наиболее полно учесть опыт, накопленный к настоящему времени в решении задач ПОС, необходимо рассмотреть различные подходы и методы, применявшиеся в работах по рассматриваемой тематике.

Результаты и обсуждение

Исследования надежности организационных систем в строительстве начали проводиться в середине 1960-х годов в связи с развитием поточного строительства, и за период 2000–2020 гг. в этой области осуществлено значительное количество разработок, различных по целям и по методике исследований.

Теория надежности для технических систем хорошо развита и описана в литературных источниках [1–37]. Между техническими и организаци-

онными системами существуют принципиальные различия, отмеченные наряду с особенностями А.Ф. Шклярным [11], в частности:

- организационные системы неизмеримо сложнее технических по составу и взаимодействию элементов;

- одним из основных элементов организационных систем являются люди;

- взаимосвязи между элементами организационной системы динамичны и могут изменяться в ходе управления.

В связи с этим автоматически перенести основные определения теории надежности технических систем в теорию надежности организационных систем оказалось невозможно. Рассмотрим этот вопрос подробнее.

Применительно к техническим устройствам надежность определяется как свойство объекта выполнять заданные функции, сохраняя во времени значение установленных эксплуатационных показателей в заданных пределах, соответствующих заданным режимам и условиям технического обслуживания, ремонтов, хранения и транспортирования. При этом показателем надежности технической системы могут служить либо ее безотказность (вероятность нормального функционирования в течение заданного промежутка времени), либо долговечность, либо ремонтпригодность, либо какое-нибудь сочетание этих свойств [13].

Однако до сих пор ввиду отсутствия соответствующих нормативных документов в теории надежности организационных систем не существует единой общепринятой терминологии и твердо установленных определений основных понятий. Вследствие этого практически в каждой работе, посвященной исследованию надежности организационных систем, авторы приводят свои определения основных понятий, используя собственную терминологию.

В некоторых работах определение понятия «надежность» применительно к организационным системам было дано по аналогии с определением этого понятия для технических систем.

Суть таких определений состоит в том, что под надежностью организационной системы следует понимать ее способность сохранять свои эксплуатационные показатели в заданных пределах в течение требуемого времени функционирования [4, 7, 14]. При этом за количественный показатель надежности, называемый ее уровнем, обычно принимается вероятность сохранения в заданных пределах значений выбранного автором параметра, характеризующего эффективность работы системы. Чаще всего этим параметром служит количество строительной продукции, производимой потоком в единицу времени [14, 15].

Выход значения выбранного параметра за установленные пределы (например, падение интенсивности потока ниже заданного критического уровня) считается отказом организационной системы. Другое определение отказа авторы предлагают считать отказом частного объема работ к моменту критического сближения рассматриваемого частного потока со следующим за ним частным потоком.

В работах [10, 14] надежность понимают как вероятность выполнения принятых решений, в частности, как вероятность безотказной работы системы в плановый период. А.А. Гусаков [16] отмечает, что «надежность системы определяется вероятностью отказа в течение гарантированного проектом срока исправной работы системы».

Это высказывание полностью отражает суть всех приведенных выше определений понятий надежности организационных систем и ее уровня. Ни в одном из определений не учитывается взаимосвязь, существующая между надежностью организационной системы и конечным результатом ее функционирования.

Конечным результатом функционирования для организационной системы строительного производства считается завершение предусмотренных проектом работ в срок, не превышающий директивный, при условии достижения запланированных показателей.

Однако А.А. Гусаков [16] указывает, что для систем строительного производства характерны не полные отказы, а частичные, которые устраняются в процессе непрерывного функционирования системы. Очевидно, что временный выход тех или иных параметров организационной системы за установленные пределы в течение заданного срока функционирования вполне может не сказаться на конечном результате функционирования системы, т. е. не иметь ощутимых последствий, и, следовательно, определения понятий надежности организационной системы и ее уровня, подобные приведенным выше, не могут считаться отражающими их сущность.

Отсюда справедливо утверждение, что термин «надежность» в организационно-технологических системах можно применять только к результату деятельности системы.

Что же касается технических систем, то для них обычно важна безотказная работа именно в процессе функционирования, поскольку отказ технической системы практически всегда сказывается на конечном результате ее деятельности (например, на качестве выпускаемой ею или при ее участии продукции, на регистрируемых ею данных и т. п.). Очевидно также, что понятия «ремонтпригодность» и «долговечность» применительно к организационным системам лишены всякого смысла.

Таким образом, провести прямую аналогию между основными понятиями теории надежности технических систем и теории надежности организационных систем не удается.

В монографии А.Ф. Шклярова [12] надежность функционирования системы управления на некотором уровне руководства определяется как вероятность выработки и реализации мероприятий, ликвидирующих отрицательные отклонения и обеспечивающих выполнение плановых заданий. На практике это означает, что на уровне строительного управления вероятность того, что требуемое для маневрирования случайное количество рабочих не превысит маневренный резерв рабочих в строительном управлении, или условная вероятность того, что при выполнении предыдущего условия превышение продолжительности критического пути на сетевом графике работ над директивной продолжительностью строительства не превысит предельную величину отклонения, которую можно еще ликвидировать имеющимися силами рабочих. На уровне строительного треста надежность функционирования системы управления определяется по аналогии с уровнем строительного управления, однако еще учитываются ресурсы механизмов и материалов.

При таком определении весьма трудно достаточно достоверно определить вероятность выработки необходимых мероприятий, а также оценить предельную величину превышения продолжительности критического пути над директивной продолжительностью строительства при имеющихся ресурсах. Поэтому практическая ценность такого определения надежности функционирования системы управления существенно снижается.

Нетривиальный подход к определению показателя надежности выполнения годовой программы работ дорожно-строительной организацией приведен в работе Г.Я. Глинского [17], где в качестве показателя надежности предложена величина

$$H = P\{\bar{T}_\phi \leq \bar{T}_д; Q_\phi \geq Q_д; B_\phi \geq B_д; C_\phi \leq C_д; \dots\}, \quad (1)$$

- где P — вероятность;
- \bar{T}_ϕ и $\bar{T}_д$ — соответственно векторы фактических и директивных сроков выполнения работ;
- Q_ϕ и $Q_д$ — соответственно фактический и директивный объемы товарной продукции, руб.;
- B_ϕ и $B_д$ — соответственно фактический и директивный показатели производительности труда, руб./чел.;
- C_ϕ и $C_д$ — соответственно фактическая и директивная себестоимость работ, руб.

В формуле (1) можно учитывать и другие технико-экономические показатели.

Тем не менее такое определение показателя надежности, несмотря на кажущуюся «всеобъемлемость» имеет недостатки. Во-первых, значение показателя надежности в явном виде зависит от нескольких технико-экономических показателей, причем их влияние на конечный результат деятельности дорожно-строительной организации с экономической точки зрения неодинаково, что никоим образом не учитывается формулой (1). Во-вторых, наличие нескольких одновременно учитываемых и, очевидно, взаимозависимых технико-экономических параметров должно значительно усложнять проведение исследований с использованием определенного формулой (1) показателя надежности, поскольку затруднительно учесть влияние изменения директивных значений параметров на значение этого показателя. Отсюда следует невозможность по такому обобщенному показателю надежности судить об отдельно взятых технико-экономических показателях функционирования дорожно-строительной организации (например, невозможно оценить величину $P\{T_{\phi} \leq T_{д}\}$ при заданном показателе надежности (1)).

Наиболее распространены определения, принятые в работах [12, 14], суть которых заключается в следующем. Под надежностью организационной системы следует понимать ее свойство достигать планируемый результат функционирования в заданный срок. Надежность количественно характеризуется величиной, называемой уровнем надежности и равной вероятности достижения запланированных результатов (в частности, выполнения запланированных объемов работ) в срок, не превышающий директивный

$$H = P\{T \leq T_{дир}\}, \quad (2)$$

где T и $T_{дир}$ — фактический и директивный сроки выполнения запланированных работ соответственно.

Очевидно, что при таком определении величина уровня надежности тесно взаимосвязана с величиной директивного срока строительства.

К настоящему времени указанные работы можно классифицировать по следующим четырем признакам:

- 1) исследование надежности объекта;
- 2) исследование подходов к определению надежности;
- 3) исследование видов ресурсов;
- 4) исследование критерия оптимальности.

В качестве объектов, надежность которых исследуется, могут выступать следующие объекты:

- сетевой или календарный график строительства нескольких объектов;
- строительный поток (или его календарный график), реализуемый на одном объекте.

Выделяют четыре подхода к исследованию надежности организационных систем:

- 1) оценка надежности объекта, в зависимости от параметров объекта;
- 2) оптимизация принятого критерия оптимальности при заданном уровне надежности;
- 3) обеспечение максимально возможного уровня надежности;
- 4) определение оптимального с точки зрения принятого критерия уровня надежности объекта.

Отметим, что определение надежности организационных систем при всех подходах достигается путем варьирования количества ресурсов различных видов в пределах заданных ограничений и (или) их оптимального распределения.

В работах рассматриваются следующие виды ресурсов:

- мощности (машины и механизмы, рабочие силы) [6, 7, 31];
- строительные материалы, денежные средства [18, 20, 28];
- резервные заделы, опережения частных или специализированных потоков, временные резервы [13, 17, 22, 29, 32, 35].

Работы в области первого подхода были посвящены главным образом оценке организационной надежности строительных потоков, причем по аналогии с техническими системами [10, 12]. При этом иногда рассматривалась зависимость уровня надежности от какого-либо параметра потока. Так, например, в работе Б.М. Томаева [10] показано, что между средней сменной выработкой и продолжительностью простоев потока существует линейная корреляционная зависимость (при этом отношение средней сменной выработки к нормативной было принято показателем надежности потока). Основным недостатком исследований в этой области является отсутствие конкретных рекомендаций, что снижает их практическую ценность.

Следующей ступенью послужили работы в области второго подхода (их подавляющее большинство), имевшие целью разработку рекомендаций по достижению некоторого заданного уровня надежности при условии оптимизации величины некоторого выбранного критерия. При этом достижение заданного уровня надежности обеспечивается путем резервирования ресурсов различных видов. Такие задачи оптимизации решались Б.Ф. Билецким [21], Б.М. Томаевым [10], Т.В. Бобровой [3], Д.В. Бурмистровым [18], В.В. Никитиным [9, 27], А.В. Скрыпниковым [5, 7–9] и др.

Определению оптимальных количеств ресурсов типа «мощности» посвящены работы А.А. Гусакова [16], П.Ф. Вайнкофа [14], И.А. Золотарь [20], и др. Резервирование ресурсов типа

«мощности», а также материалов, необходимых для обеспечения заданного уровня надежности сетевого графика, рассматриваются в монографии А.Ф. Шклярова [12]. Разработке организационно-технологических решений по возведению крупных, промышленных объектов и комплексов с планируемым уровнем надежности посвящена работа Б.Ф. Белецкого [21].

Однако при определении оптимального количества ресурсов возникает вопрос о том, как именно задать тот уровень надежности, к обеспечению которого следует стремиться. А.А. Гусаков [16] предлагает обеспечивать уровень надежности не ниже 0,5. Тем не менее ни в одной из перечисленных выше работ не дается строгое обоснование этого значения. Очевидно, что априори назначаемый уровень надежности может потребовать для своего обеспечения неоправданно больших затрат ресурсов или же, наоборот, оказаться слишком низким с точки зрения экономического эффекта. Следовательно, необходимо обоснованно определять требуемый уровень надежности, чего рассматриваемый подход не обеспечивает. Отметим, что еще одним недостатком второго подхода является то, что рассматривается, как правило, не более одного вида ресурсов, тогда как без учета резервирования различных видов ресурсов в комплексе картина вряд ли будет полной и достаточно адекватной.

Е.В. Быстрянец [13] установил взаимосвязь между уровнем надежности системы и уровнем ее организации, количественно характеризуемой величиной энтропии (т. е. величиной неопределенности ее состояний), и предложил методику определения необходимых уровней надежности подсистем, входящих в состав рассматриваемой системы, для обеспечения требуемого уровня надежности в целом, однако подход, продемонстрированный в работе [13], является весьма абстрактным и потому плохо применим на практике.

Третий подход приведен в работах П.Ф. Вайнкофа [14] и Г.Я. Глинского [17], где решается задача обеспечения максимально возможного уровня надежности при заданных или варьируемых в пределах некоторых ограничений количествах ресурсов. При таком подходе стоимостной показатель, отражающий экономический эффект, может быть учтен только в ограничениях и не может служить критерием оптимальности, в то время как основной целью исследований в конечном итоге должно быть именно достижение максимального экономического эффекта от строительства проектируемого объекта [36].

С этой точки зрения более правильный четвертый подход изложен в работе [18], где авторы ставят целью разработку метода расчета оптимального уровня надежности дорожно-строительного

потока, причем критерием оптимальности служит «сумма затрат на производство работ и эффекта от досрочного ввода объекта в эксплуатацию (либо потерь от удлинения фактических сроков строительства по сравнению с плановыми)».

Особенности организации строительства лесовозных автомобильных дорог, отличающие его от строительства прочих объектов [1, 37], не учитывались ни в одной из рассмотренных работ. При этом наличие достаточного задела земляного полотна считалось обеспеченным. Однако на практике достаточный задел земляного полотна обеспечен далеко не всегда; более того, его отсутствие является одной из основных причин простоев специализированного потока по устройству дорожной одежды. Данный пример показывает, что для получения достоверных результатов при решении задач проектирования организации строительства лесовозных автомобильных дорог эти особенности следует учитывать.

В результате анализа работ, посвященных решению частных задач проектирования организации строительства с помощью теории надежности организационных систем, можно утверждать, что наиболее распространенное и не содержащее очевидных противоречий определение уровня надежности как вероятности достижения запланированных результатов в срок, не превышающий директивный, неразрывно связывает величину уровня надежности с продолжительностью строительства.

Уровень надежности определяется индивидуально для каждого объекта и может быть оптимальным согласно выбранному критерию.

Использование уровня надежности в качестве критерия оптимальности при решении задач ПОС неправомерно. Фактическая продолжительность строительства объекта является случайной величиной в силу вероятностного характера процесса строительства, обусловленного влиянием множества случайных факторов. Поскольку процесс строительства конкретного объекта имеет единственную реализацию, логично ориентироваться на модальное значение этой случайной величины как на «наиболее вероятное». Следовательно, именно это модальное значение можно считать продолжительностью строительства, которую реально обеспечивают принятые на стадии проектирования организационные решения. Ни в одной из рассмотренных выше работ не были указаны параметры распределения случайной величины продолжительности строительства, не было проведено исследование изменения этих параметров (или соотношения между ними) в зависимости от резервирования ресурсов, и не установлено, какое же именно превышение директивного срока можно считать

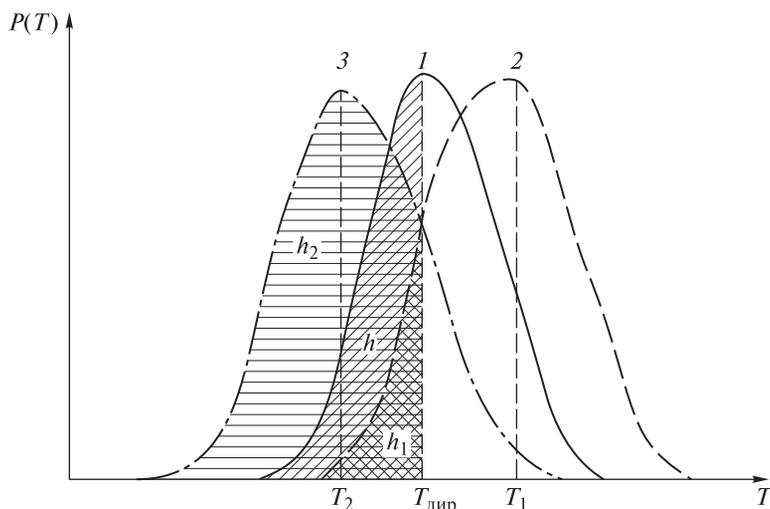


График функции плотности распределения случайной величины продолжительности строительства объекта: 1 — директивная продолжительность строительства соблюдается (уровень надежности равен h); 2 — директивная продолжительность строительства для обеспечения оптимального уровня надежности h_1 , ($T_1 > T_{\text{дир}}$); 3 — директивная продолжительность строительства не достигается для обеспечения оптимального уровня надежности h_2 , ($T_2 > T_{\text{дир}}$)

Graph of the distribution density function of the randomly increased construction duration of object 1 — the guideline construction duration is observed (reliability level is equal to h); 2 — the guideline duration of construction has been exceeded in order to ensure the optimal level of reliability h_1 , ($T_1 > T_{\text{дир}}$); 3 — the guideline duration of construction is not achieved in order to ensure the optimal level of reliability h_2 , ($T_2 > T_{\text{дир}}$)

допустимым, а какое — недопустимым с точки зрения надежности организационной системы (например, превышение директивного срока строительства на 1–2 смены, очевидно, не вызовет заметных последствий, однако необходимо установить некоторую максимально допустимую величину).

Директивная продолжительность строительства объекта, регламентированная нормативными документами, при ПОС с учетом его вероятностного характера позволяет добиваться совпадения модального значения продолжительности строительства с директивной (рисунок).

Если же для того чтобы обеспечить необходимый (пусть даже оптимальный) уровень надежности за счет резервирования ресурсов различных видов, придется сдвинуть это модальное значение относительно директивного, то тем самым принятые организационные решения фактически будут обеспечивать отличную от директивной продолжительность строительства, т. е. идти вразрез с нормативными документами, что недопустимо. Изменять же форму распределения случайной величины продолжительности строительства, с тем чтобы добиться нужного уровня надежности, не сдвигая модального значения, за счет изменения качественного состава ресурсов, невозможно.

Однако для множества объектов не установлены нормы продолжительности строительства в силу того, что эти объекты уникальны. К таким объектам, в частности, относятся и магистральные лесовозные автомобильные дороги. В этом случае само определение уровня надежности теряет всякий смысл, поскольку отсутствует директивная продолжительность строительства. Даже если определить требуемую продолжительность строительства такого объекта путем решения некоторой оптимизационной задачи, то с ее установлением, очевидно, сразу же становятся применимы приведенные нами выше тезисы для объектов с установленной директивной продолжительностью строительства.

Таким образом, уровень надежности может служить в лучшем случае сугубо иллюстративной величиной, но ни в коем случае фактором, определяющим содержание организационных решений.

Выводы

В результате проведенного анализа можно констатировать, что при решении задач организации и планировании вариантов лесовозных автомобильных дорог использование понятия уровня надежности организационной системы, в качестве критерия оптимальности или в ограничениях, неэффективно.

Определение уровня надежности как вероятности достижения запланированных результатов в срок, неразрывно связывает величину уровня надежности и продолжительность строительства. Однако для магистральных лесовозных автомобильных дорог не установлены нормы реализации проектных решений в силу их уникальности и специфики.

Список литературы

- [1] Кантор И.И. Изыскание и проектирование железных дорог. М.: Академкнига, 2003. 288 с.
- [2] Оптнер С. Системный анализ для решения деловых и промышленных проблем. М.: Советское радио, 1969. 216 с.
- [3] Исаченко А.Г. Ландшафтоведение и физико-географическое районирование. М.: Высшая школа, 1991. 366 с.
- [4] Боброва Т.В., Бедрин Е.А., Дубенков А.А. Моделирование проектных решений земляного полотна в условиях криолитозоны. Омск: Изд-во СибАДИ, 2016. 164 с.
- [5] Болтнев Д.Е., Высоцкая И.А., Скрыпников А.В., Левушкин Д.М., Микова Е.Ю., Тверитнев О.Н. Оценка экономической эффективности проектных решений автомобильных лесовозных дорог // Строительные и дорожные машины, 2021. № 5. С. 49–53.
- [6] Орлов А.О., Мацнев М.В., Скрыпников А.В., Козлов В.Г., Могутнов Р.В. Обзор методов оптимизации состава машин при строительстве автомобильных дорог // Бюллетень транспортной информации, 2019. № 5 (287). С. 14–17.
- [7] Никитин В.В., Брюховецкий А.Н., Скрыпников А.В., Высоцкая И.А., Сапелкин Р.С., Бондарев А.Б. Проектирование схем транспортного освоения лесных массивов с применением информационно-интеллектуальных систем // Автоматизация. Современные технологии, 2022. Т. 76. № 3. С. 130–134.
- [8] Никитин В.В., Скрыпников А.В., Козлов В.Г., Михайленко Е.В., Пильник Ю.Н., Козлов Д.Г., Сапелкин Р.С. Математическое обоснование влияния вида рубки главного пользования на удельные затраты // Лесной вестник / Forestry Bulletin, 2022. Т. 26. № 2. С. 110–119. DOI: 10.18698/2542-1468-2022-2-110-119
- [9] Логойда В.С., Тихомиров П.В., Никитин В.В., Букреев В.Ю., Саблин С.Ю. Анализ точности индивидуального прогнозирования // Инновационные технологии и технические средства для АПК: Материалы Междунар. науч.-практ. конф. молодых ученых и специалистов, Воронеж, 12–13 ноября 2019 г. Воронеж: Изд-во Воронежского государственного аграрного университета имени императора Петра I, 2019. С. 330–335.
- [10] Томаев Б.М. Надежность строительного потока. М.: Стройиздат, 1983. 129 с.
- [11] Спектор М.Д. Современная теория землеустройства. М.: РосНОУ, 2019. 132 с.
- [12] Шкляров А.Ф. Надежность систем управления в строительстве. Л.: Стройиздат. 1974. 96 с.
- [13] Быстрянец Е.В. Исследование технологии экспертной оценки качества информационного обеспечения автомобильного транспорта // Автоматизация. Современные технологии, 2017. Т. 71. № 9. С. 429–432.
- [14] Вайнкоф П.Ф. Совершенствование и разработка методов обеспечения надежности календарных планов строительства. М.: Стройиздат, 1971. 125 с.
- [15] Канин А.П., Карай Н.А. Моделирование производственных процессов строительства и ремонта автомобильных дорог. М.: Транспорт, 1990. 102 с.
- [16] Гусаков А.А. Организационно-технологическая надежность строительного производства (в условиях автоматизированных систем проектирования). М.: Стройиздат, 1974. 252 с.
- [17] Глинский Г.Я. Разработка метода проектирования производства годовой программы работ с учетом надежности: автореф. дис. ... канд. техн. наук. Киев: Изд-во КАДИ, 1984. 23 с.
- [18] Бурмистров Д.В., Высоцкая И.А., Денисенко В.В., Брюховецкий А.Н., Никитин В.В. Характеристики вероятностных зависимостей и законы развития параметров модели организации и планирования ритмичного строительства лесовозных автомобильных дорог // Наука и образование на современном этапе развития: опыт, проблемы и пути их решения. Материалы Междунар. науч.-практ. конф., Воронеж, 24–25 ноября 2020 г. Воронеж: Изд-во Воронежского государственного аграрного университета имени императора Петра I, 2020. С. 281–285.
- [19] Кравченко В.Е., Самцов В.В., Тихомиров П.В., Никитин В.В., Болтнев Д.Е., Мацнев М.В. Анализ влияния погодноклиматических факторов на системы комплекса водитель — автомобиль — дорога — среда // Молодежный вектор развития аграрной науки. Воронеж: Изд-во Воронежского государственного аграрного университета имени императора Петра I, 2019. С. 125–132
- [20] Золотарь И.А. Экономико-математические методы в дорожном строительстве. М.: Транспорт, 1974. 248 с.
- [21] Белецкий Б.Ф. Технология и механизация строительного производства. Санкт-Петербург: Лань, 2021. 752 с.
- [22] Бойков В.Н., Федотов Г.А., Пуркин В.И. Автоматизированное проектирование автомобильных дорог (на примере IndorCAD/Road). М.: Изд-во МАДИ (ГТУ), 2005. 224 с.
- [23] Бурмистрова О.Н., Пильник Ю.Н., Сушков С.И. Проектирование лесных автомобильных дорог в системе CREDO ДОРОГИ. Ухта: Изд-во УГТУ, 2016. 103 с.
- [24] Дорохин С.В. Повышение эффективности автомобильных дорог лесного комплекса: автореф. дис. ... д-ра техн. наук. Москва, 2015. 40 с.
- [25] Дрю Д. Теория транспортных потоков и управление ими. М.: Транспорт, 2012. 424 с.
- [26] Козлов В.Г. Анализ существующих методов проектирования трассы лесных автомобильных дорог // Фундаментальные исследования, 2017. № 3. С. 35–39.
- [27] Чернышова Е.В. Алгоритм решения задачи оптимального трассирования лесовозной автомобильной дороги на неоднородной местности // Вестник ВГУИТ, 2017. Т. 79. № 2 (72). С. 113–120.
- [28] Кондрашова Е.В., Скворцова Т.В. Совершенствование организации дорожного движения в транспортных системах лесного комплекса // Системы управления и информационные технологии, 2008. № 3.2(33). С. 272–275.
- [29] Прокопец В.С. Совершенствование методов оценки транспортно-эксплуатационных качеств лесовозных автомобильных дорог: автореф. дис. ... канд. техн. наук. Архангельск, 2022. 22 с.
- [30] Пуркин В.И. Основы автоматизированного проектирования автомобильных дорог. М.: Изд-во МАДИ, 2000. 141 с.
- [31] Berestnev O, Soliterman Y, Goman A Development of Scientific Bases of Forecasting and Reliability Increase of Mechanisms and Machines — One of the Key Problems of Engineering Science // Int. Symp. on History of Machines and Mechanisms Proceedings, 2000, pp. 325–332.

- [32] Высоцкая И.А., Зиновьев Д.А., Лотков М.А. Дискретная стохастическая задача управления запасами в рамках модернизации производства // Актуальные направления научных исследований XXI века: теория и практика, 2019. Т. 7. № 1 (44). С. 96-100.
- [33] Григорьев В.В., Сафиуллин Р.Р., Сафиуллина С.А. Оптимизация структуры организации грузовой работы // Транспорт Урала, 2005. № 2 (5). С. 23–26.
- [34] Skrypnikov A.V., Dorokhin S.V., Kozlov V.G., Chernyshova E.V. Mathematical Model of Statistical Identification of Car Transport Informational Provision // J. Engineering and Applied Sciences, 2017, v. 12, no. 2, pp. 511–515.
- [35] Kozlov V.G. Mathematical modeling of damage function when attacking file server // J. Physics: Conference Series, 2018, v. 1015, pp. 032–069.
- [36] Брехман А.И. Системотехнические основы организации труда строительных бригад. М.: Изд-во Фонда «Новое тысячелетие», 2002. 768 с.
- [37] Афанасьев В.А. Поточная организация строительства. Л.: Стройиздат, 1990. 292 с.

Сведения об авторах

Высоцкая Ирина Алевтиновна — канд. физ.-мат. наук, доцент кафедры информационной безопасности, ФГБОУ ВО «Воронежский государственный университет инженерных технологий» (ФГБОУ ВО «ВГУИТ»), i.a.trishina@gmail.com

Скрыпников Алексей Васильевич — д-р. тех. наук, профессор, декан факультета управления и информатики в технологических системах, ФГБОУ ВО «Воронежский государственный университет инженерных технологий» (ФГБОУ ВО «ВГУИТ»), skrypnikovvsafe@mail.ru

Боровлев Юрий Алексеевич — канд. тех. наук, соискатель кафедры информационной безопасности, ФГБОУ ВО «Воронежский государственный университет инженерных технологий» (ФГБОУ ВО «ВГУИТ»), borovlevAOI@mail.ru

Самцов Вадим Викторович — канд. тех. наук, соискатель кафедры информационной безопасности, ФГБОУ ВО «Воронежский государственный университет инженерных технологий» (ФГБОУ ВО «ВГУИТ»), Samcovv@mail.ru

Романов Павел Олегович — соискатель кафедры информационной безопасности, ФГБОУ ВО «Воронежский государственный университет инженерных технологий» (ФГБОУ ВО «ВГУИТ»), romanovpavel@rambler.ru

Поступила в редакцию 06.12.2023.

Одобрено после рецензирования 04.03.2024.

Принята к публикации 15.05.2024.

ORGANISATIONAL SYSTEMS RELIABILITY THEORY APPLICATION IN SOLVING PARTICULAR PROBLEMS OF DESIGNING MAIN TRUCK HAULROADS

I.A. Vysotskaya, A.V. Skrypnikov[✉], Y.A. Borovlev, V.V. Samtsov, P.O. Romanov

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

skrypnikovvsafe@mail.ru

The analysis of the modern methods is carried out and the classification of particular tasks of construction organisation design is given. The understanding of the term ‘reliability’ within the framework of organisational system, particularly in construction production is considered. The analysis of reliability theory is carried out, four approaches to the study of organisational systems reliability are formulated. In each of the approaches the features and disadvantages of their use as a criterion of optimality or in constraints are highlighted. The conclusions about the concept of the organisational system reliability level in solving the problems of designing the main truck haulroads have been drawn.

Keywords: truck haulroads, construction, design, reliability theory

Suggested citation: Vysotskaya I.A., Skrypnikov A.V., Borovlev Yu.A., Samtsov V.V., Romanov P.O. *Primenenie teorii nadezhnosti organizatsionnykh sistem pri reshenii chastnykh zadach proektirovaniya organizatsii stroitel'stva magistral'nykh lesovoznykh avtomobil'nykh dorog* [Organisational systems reliability theory application in solving particular problems of designing main truck haulroads]. *Lesnoy vestnik / Forestry Bulletin*, 2024, vol. 28, no. 4, pp. 157–166. DOI: 10.18698/2542-1468-2024-4-157-166

References

- [1] Kantor I.I. *Izyskanie i proektirovanie zheleznykh dorog* [Survey and design of railways] Moscow: Akademkniga, 2003, 288 p.
- [2] Optner S. *Sistemnyy analiz dlya resheniya delovykh i promyshlennykh problem* [System analysis for solving business and industrial problems]. Moscow: Sovetskoe radio, 1969, 216 p.

- [3] Isachenko A.G. *Landshaftovedenie i fiziko-geograficheskoe rayonirovanie* [Landscape science and physical-geographical zoning]. Moscow: Vysshaya shkola, 1991, 366 p.
- [4] Bobrova T.V., Bedrin E.A., Dubenkov A.A. *Modelirovanie proektnykh resheniy zemlyanogo polotna v usloviyakh kriolitozony: monografiya* [Modeling design solutions for subgrades in cryolithozone conditions]. Omsk: SibADI, 2016, 164 p.
- [5] Boltnev D.E., Vysotskaya I.A., Skrypnikov A.V., Levushkin D.M., Mikova E.Yu., Tveritnev O.N. *Otsenka ekonomicheskoy effektivnosti proektnykh resheniy avtomobil'nykh lesovoznykh dorog* [Assessing the economic efficiency of design solutions for automobile logging roads]. *Stroitel'nye i dorozhnye mashiny* [Construction and road machines], 2021, no. 5, pp. 49–53.
- [6] Orlov A.O., Matsnev M.V., Skrypnikov A.V., Kozlov V.G., Mogutnov R.V. *Obzor metodov optimizatsii sostava mashin pri stroitel'stve avtomobil'nykh dorog* [Review of methods for optimizing the composition of vehicles during the construction of highways]. *Byulleten' transportnoy informatsii* [Bulletin of Transport Information], 2019, no. 5 (287), pp. 14–17.
- [7] Nikitin V.V., Bryukhovetskiy A.N., Skrypnikov A.V., Vysotskaya I.A., Sapelkin R.S., Bondarev A.B. *Proektirovanie skhem transportnogo osvoeniya lesnykh massivov s primeneniem informatsionno-intellektual'nykh sistem* [Designing schemes for transport development of forest areas using information and intelligent systems]. *Avtomatizatsiya. Sovremennye tekhnologii* [Automation. Modern technologies], 2022, v. 76, no. 3, pp. 130–134.
- [8] Nikitin V.V., Skrypnikov A.V., Kozlov V.G., Mikhailenko E.V., Pilnik Yu.N., Kozlov D.G., Sapelkin R.S. *Matematicheskoe obosnovanie vliyaniya vida rubki glavnogo pol'zovaniya na udel'nye zatraty* [Influence of final felling on costs per unit and its mathematical justification]. *Lesnoy vestnik / Forestry Bulletin*, 2022, vol. 26, no. 2, pp. 110–119. DOI: 10.18698/2542-1468-2022-2-110-119
- [9] Logoyda V.S., Tikhomirov P.V., Nikitin V.V., Bukreev V.Yu., Sablin S.Yu. *Analiz tochnosti individual'nogo prognozirovaniya* [Analysis of the accuracy of individual forecasting]. *Innovatsionnye tekhnologii i tekhnicheskie sredstva dlya APK: materialy mezhdunarodnoy nauchno-prakticheskoy konferentsii molodykh uchennykh i spetsialistov* [Innovative technologies and technical means for the agro-industrial complex: materials of the international scientific and practical conference of young scientists and specialists], Voronezh, November 12–13, 2019, pp. 330–335.
- [10] Tomaev B.M. *Nadezhnost' stroitel'nogo potoka* [Reliability of the construction flow]. Moscow: Stroyizdat, 1983, 129 p.
- [11] Spektor M.D. *Sovremennaya teoriya zemleustroystva* [Modern theory of land management]. Moscow: RosNOU, 2019, 132 p.
- [12] Shklyarov A.F. *Nadezhnost' sistem upravleniya v stroitel'stve* [Reliability of control systems in construction]. Leningrad: Stroyizdat, 1974, 96 p.
- [13] Bystryantsev E.V. *Issledovanie tekhnologii ekspertnoy otsenki kachestva informatsionnogo obespecheniya avtomobil'nogo transporta* [Study of technology for expert assessment of the quality of information support for road transport]. *Avtomatizatsiya. Sovremennye tekhnologii* [Automation. Modern technologies], 2017, v. 71, no. 9, pp. 429–432.
- [14] Vaynkof P.F. *Sovershenstvovanie i razrabotka metodov obespecheniya nadezhnosti kalendarnykh planov stroitel'stv* [Improvement and development of methods for ensuring the reliability of construction calendar plans]. Moscow: Stroyizdat, 1971, 125 p.
- [15] Kanin A.P., Karay H.A. *Modelirovanie proizvodstvennykh protsessov stroitel'stva i remonta avtomobil'nykh dorog* [Modeling of production processes for construction and repair of highways]. Moscow: Transport, 1990, 102 p.
- [16] Gusakov A.A. *Organizatsionno-tekhnologicheskaya nadezhnost' stroitel'nogo proizvodstva (v usloviyakh avtomatizirovannykh sistem proektirovaniya)* [Organizational and technological reliability of construction production (in the conditions of automated design systems)]. Moscow: Stroyizdat, 1974, 252 p.
- [17] Glinskiy G.Ya. *Razrabotka metoda proektirovaniya proizvodstva godovoy programmy rabot s uchetom nadezhnosti* [Development of a method for designing the production of an annual work program taking into account reliability.]. Avtoref. Dis. Cand. Sci. (Tech.). Kiev, KADI, 1984, 23 p.
- [18] Burmistrov D.V., Vysotskaya I.A., Denisenko V.V., Bryukhovetskiy A.N., Nikitin V.V. *Kharakteristiki veroyatnostnykh zavisimostey i zakony razvitiya parametrov modeli organizatsii i planirovaniya ritmichnogo stroitel'stva lesovoznykh avtomobil'nykh dorog* [Characteristics of probabilistic dependencies and laws of development of the parameters of the model for organizing and planning the rhythmic construction of logging roads]. *Nauka i obrazovanie na sovremennom etape razvitiya: opyt, problemy i puti ikh resheniya. Materialy mezhdunarodnoy nauchno-prakticheskoy konferentsii* [Science and education at the present stage of development: experience, problems and ways to solve them. Proceedings of the international scientific and practical conference], Voronezh, November 24–25, 2020, 2020, pp. 281–285.
- [19] Kravchenko V.E., Samtsov V.V., Tikhomirov P.V., Nikitin V.V., Boltnev D.E., Matsnev M.V. *Analiz vliyaniya pogodno-klimaticheskikh faktorov na sistemy kompleksa voditel' — avtomobil' — doroga — sreda* [Analysis of the influence of weather and climate factors on the systems of the complex driver — car — road — environment]. *Molodezhnyy vektor razvitiya agrarnoy nauki* [Youth vector of development of agrarian science]. Voronezh: Voronezh State Agrarian University, 2019, pp. 125–132.
- [20] Zolotar' I.A. *Ekonomiko-matematicheskie metody v dorozhnom stroitel'stve* [Economic and mathematical methods in road construction]. Moscow: Transport, 1974, 248 p.
- [21] Beletskiy B.F. *Tekhnologiya i mekhanizatsiya stroitel'nogo proizvodstva* [Technology and mechanization of construction production]. Sankt-Peterburg: Lan', 2021, 752 p.
- [22] Boykov V.N., Fedotov G.A., Purkin V.I. *Avtomatizirovannoe proektirovanie avtomobil'nykh dorog (na primere IndorCAD/Road)* [Automated design of highways (using the example of IndorCAD/Road)]. Moscow: MADI (GTU), 2005, 224 p.
- [23] Burmistrova O.N., Pil'nik Yu.N., Sushkov S.I. *Proektirovanie lesnykh avtomobil'nykh dorog v sisteme CREDO DOROGI* [Design of forest roads in the CREDO ROADS system]. Ukhta: UGTU, 2016, 103 p.
- [24] Dorokhin S.V. *Povyshenie effektivnosti avtomobil'nykh dorog lesnogo kompleksa* [Increasing the efficiency of forestry roads]. Avtoref. Dis. Dr. Sci. (Tech.). Mytishchi, 2015, 40 p.
- [25] Dryu D. *Teoriya transportnykh potokov i upravlenie imi* [Theory of traffic flows and their management]. Moscow: Transport, 2012, 424 p.
- [26] Kozlov V.G. *Analiz sushchestvuyushchikh metodov proektirovaniya trassy lesnykh avtomobil'nykh dorog* [Analysis of existing methods for designing forest highways]. *Fundamental'nye issledovaniya* [Fundamental Research], 2017, v. 3, pp. 35–39.
- [27] Chernyshova E.V. *Algoritm resheniya zadachi optimal'nogo trassirovaniya lesovoznoy avtomobil'noy dorogi na neodnorodnoy mestnosti* [Algorithm for solving the problem of optimal routing of a logging road on heterogeneous terrain]. *Vestnik VGUIT*, 2017, t. 79, no. 2 (72), pp. 113–120.

- [28] Kondrashova E.V., Skvortsova T.V. *Sovershenstvovanie organizatsii dorozhnogo dvizheniya v transportnykh sistemakh lesnogo kompleksa* [Improving the organization of road traffic in transport systems of the forestry complex]. *Sistemy upravleniya i informatsionnye tekhnologii* [Control systems and information technologies], 2008, no. 3.2(33), pp. 272–275.
- [29] Prokopets V.S. *Sovershenstvovanie metodov otsenki transportno-ekspluatatsionnykh kachestv lesovoznykh avtomobil'nykh dorog* [Improving methods for assessing the transport and operational qualities of logging roads] Avtoref. Dis. Cand. Sci. (Tech.). Arkhangel'sk, 2022, 22 p.
- [30] Purkin V.I. *Osnovy avtomatizirovannogo proektirovaniya avtomobil'nykh dorog* [Fundamentals of computer-aided highway design]. Moscow: MADI, 2000, 141 p.
- [31] Berestnev O, Soliterman Y, Goman A Development of Scientific Bases of Forecasting and Reliability Increase of Mechanisms and Machines — One of the Key Problems of Engineering Science. *Int. Symp. on History of Machines and Mechanisms Proceedings*, 2000, pp. 325–332.
- [32] Vysotskaya I.A., Zinov'ev D.A., Lotkov M.A. *Diskretnaya stokhasticheskaya zadacha upravleniya zapasami v ramkakh modernizatsii proizvodstva* [Discrete stochastic problem of inventory management within the framework of production modernization]. *Aktual'nye napravleniya nauchnykh issledovaniy XXI veka: teoriya i praktika* [Current directions of scientific research of the XXI century: theory and practice], 2019, v. 7, no. 1(44), pp. 96–100.
- [33] Grigor'ev V.V., Safiullin R.R., Safiullina S.A. *Optimizatsiya struktury organizatsii gruzovoy raboty* [Optimization of the structure of organizing cargo work]. *Transport Urala* [Transport of the Urals], 2005, v. 2(5), pp. 23–26.
- [34] Skrypnikov A.V., Dorokhin S.V., Kozlov V.G., Chernyshova E.V. *Mathematical Model of Statistical Identification of Car Transport Informational Provision*. *J. Engineering and Applied Sciences*, 2017, v. 12, no. 2, pp. 511–515.
- [35] Kozlov V.G. *Mathematical modeling of damage function when attacking file server*. *J. Physics: Conference Series*, 2018, v. 1015, pp. 032–069.
- [36] Brehman A.I. *Sistemotekhnicheskie osnovy organizatsii truda stroitel'nykh brigad* [Systematic fundamentals of labor organization for construction crews]. Moscow: Novoe tysyacheletie, 2002, 768 p.
- [37] Afanas'ev V.A. *Potochnaya organizatsiya stroitel'stva* [Flow organization of construction]. Leningrad: Stroyizdat, 1990, 292 p.

Authors' information

Vysotskaya Irina Alevtinovna — Cand. Sci. (Phys.-Math), Associate Professor of the Department of Information Security, Voronezh State University of Engineering Technologies, i.a.trishina@gmail.com

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

Borovlev Yuri Alekseevich — Cand. Sci. (Tech.), applicant of the Department of Information Security, Voronezh State University of Engineering Technologies, borovlevAOI@mail.ru

Samtsov Vadim Viktorovich — Cand. Sci. (Tech.), applicant of the Department of Information Security Voronezh State University of Engineering Technologies, Samcovv@mail.ru

Romanov Pavel Olegovich — Cand. Sci. (Tech.), applicant for the Department of Information Security, Voronezh State University of Engineering Technologies, romanovpavel@rambler.ru

Received 06.12.2023.

Approved after review 04.03.2024.

Accepted for publication 15.05.2024.

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