ЛЕСНОЙ ВЕСТНИК / FORESTRY BULLETIN

Научно-информационный журнал

№ 4 ʹ 2023 Том 27

Главный редактор

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

Редакционный совет журнала

Артамонов Дмитрий Владимирович, д-р техн. наук, профессор, Пензенский ГУ, Пенза
Ашраф Дарвиш, ассоциированный профессор, факультет компьютерных наук, Университет Хелуан, Каир, Египет, Исследовательские лаборатории Machine Intelligence (MIR Labs), США
Беляев Михаил Юрьевич, д-р техн. наук, начальник отдела, зам. руководителя НТЦ РКК «Энергия» им. С.П. Королёва, Москва
Бемманн Альбрехт, профессор, Дрезденский технический университет, Институт профессуры для стран Восточной Европы, Германия
Бессчетнов Владимир Петрович, д-р биол. наук, профессор, Нижегородская государственная сельскохозяйственная академия, Нижний Новгород
Бугаёв Александр Степанович, академик РАН, д-р физ.-мат. наук, Московский физико-технический институт (национальный исследовательский университет), Москва
Бурмистрова Ольга Николаевна, д-р техн. наук, профессор, Ухтинский государственный технический университет
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, Лесотехнический университет, Болгария, Варна
Кожухов Николай Иванович, д-р экон. наук, профессор, академик РАН, Мытищинский филиал МГТУ им. Н.Э. Баумана, Москва
Козлов Александр Ильич, канд. техн. наук, ученый секретарь Совета ОАО «НПО ИТ», Королёв
Комаров Евгений Геннадиевич, д-р техн. наук, профессор, Мытищинский филиал МГТУ им. Н.Э. Баумана, Москва
Корольков Анатолий Владимирович, д-р физ.-мат. наук, профессор, Мытищинский филиал МГТУ им. Н.Э. Баумана, Москва
Котиев Георгий Олегович, д-р техн. наук, профессор, кафедра «Колесные машины» МГТУ им. Н.Э. Баумана, Москва
Кох Нильс Элерс, д-р агрономии в области лесной политики, профессор, Президент IUFRO, Центр лесного и ландшафтного планирования университета, Копенгаген, Дания
Кротт Макс, профессор, специализация «Лесная политика», Георг-Аугуст-Университет, Геттинген, Германия
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
Щепащенко Дмитрий Геннадьевич, д-р биол. наук, доцент, старший научный сотрудник Международного института прикладного системного анализа (IIASA), Австрия

Ответственный секретарь Расева Елена Александровна

Редактор Л.В. Сивай
Перевод М.А. Карпухиной
Электронная версия Ю.А. Ряжской

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 21.07.2023
Тираж 600 экз.
Заказ №
Объем 23,0 п. л.
Цена свободная

© МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2023

LESNOY VESTNIK / FORESTRY BULLETIN

Scientific Information journal
No. 4 ʹ 2023 Vol. 27

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
Zalesov Sergey Veniaminovich, Professor, Dr. Sci. (Agric.), USFEU, Ekaterinburg
Zaprudnov Vyacheslav Il'ich, Professor, Dr. Sci. (Tech.), BMSTU (Mytishchi branch), Moscow
Ivankin Andrey Nikolaevich, Professor, Dr. Sci. (Chemical), BMSTU (Mytishchi branch), Moscow
Kiryukhin Dmitriy Pavlovich, Dr. Sci. (Chemical), IPCP RAS, Chernogolovka
Klassen Nikolay Vladimirovich, Ph. D. (Phys.-Math.), ISSP RAS, Chernogolovka
Kovachev Atanas, Corresponding Member of the Bulgarian Academy of Sciences, Dr. Sci., Professor, University of Forestry, Bulgaria, Sofia
Kokh Nil's Elers, Professor, the Dr. of agronomics in the field of forest policy, the President of IUFRO, the Center of forest and landscape planning of university Copenhagen, Denmark
Komarov Evgeniy Gennadievich, Professor, Dr. Sci. (Tech.), BMSTU (Mytishchi branch), Moscow
Korol'kov Anatoliy Vladimirovich, Professor, Dr. Sci. (Phys.-Math.), BMSTU (Mytishchi branch), Moscow
Kotiev George Olegovich, Professor, Dr. Sci. (Tech.), BMSTU (Mytishchi branch), Moscow
Kozlov Aleksandr Il'ich, Ph. D. (Tech.), Scientific Secretary of the Board of «NPO IT», Korolev
Kozhukhov Nikolay Ivanovich, Professor, Academician of the Russian Academy of Sciences, Dr. Sci. (Econ.), BMSTU (Mytishchi branch), Moscow
Krott Maks, Professor of Forest politicy 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 TSNIIMASH, Korolev
Trichkov Neno Ivanov, professor, Dr., Vice-Rector for Research, Forestry University, Sofia, Bulgaria
Fedotov Gennadiy Nikolaevich, Dr. Sci. (Biol.), Lomonosov Moscow State University, Moscow

Assistant Editor Raseva Elena Aleksandrovna

Editor L.V. Sivay
Translation by M.A. Karpukhina
Electronic version by Yu.A. Ryazhskaya

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

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

It is sent for the press 21.07.2023
Circulation 600 copies
Order №
Volume 23,0 p. p.
Price free

© Bauman Moscow State Technical University, 2023

СОДЕРЖАНИЕ

БИОЛОГИЧЕСКИЕ И ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЕ АСПЕКТЫ ЛЕСНОГО ХОЗЯЙСТВА

Рыбакова Н.А., Глазунов Ю.Б.
Динамика радиальных приростов лиственницы европейской (*Larix decidua* Mill.) в условиях антропогенной нагрузки 5

Иванова Н.С.
Влияние древостоя на фитомассу и видовое разнообразие травяно-кустарничкового яруса в горных лесах Южного Урала 14

Федина Л.А., Малышева С.К., Репин Е.Н.
Новые данные о распространении триллиума Комарова (*Trillium komarovii* (Trilliaceae DC.) на северной границе ареала (Приморский край, Россия) 23

Федорков А.Л.
Оценка качественных признаков древесины в селекционных программах (краткий обзор современной литературы) 30

Наквасина Е.Н., Прожерина Н.А., Чупров А.В.
Формирование шишек сосны обыкновенной (*Pinus sylvestris* L.) в условиях изменения климата 36

Шхапацев А.К., Казеев К.Ш., Козунь Ю.С., Солдатов В.П., Федоренко А.Н., Колесников С.И.
Биологическая активность буроземов старовозрастных вырубок Западного Кавказа 47

Коршунов Н.А., Савченкова В.А., Перминов А.В., Конюшенков М.Е.
Оценка современного состояния авиалесоохранных работ на землях особо охраняемых природных территорий федерального значения 60

Ерицов А.М., Секерин И.М., Кректунов А.А., Залесов С.В.
Особенности пожароопасного сезона 2022 года в Курганской области 73

ЛАНДШАФТНАЯ АРХИТЕКТУРА

Лаврова О.П.
Группы декоративных травянистых растений многолетней культуры по степени вегетативной подвижности 81

Кабанов А.В., Мамаева Н.А., Хохлачева Ю.А.
Изучение фенотипических характеристик ретросортов *Hemerocallis x hybrida* hort. для их использования в образовательных и просветительских целях 91

Лебедев А.В., Кочнев Я.В.
Усадьба Виц-Григорьевых (Костромская область): история создания и современное состояние 104

ДЕРЕВООБРАБОТКА И ХИМИЧЕСКАЯ ПЕРЕРАБОТКА ДРЕВЕСИНЫ

Сафин Р.Г., Родионов А.С., Сотников В.Г., Зиатдинова Д.Ф., Тимербаев Н.Ф.
Моделирование процесса сушки вторичного сырья в технологической линии производства активированного угля 117

Запруднов В.И., Серегин Н.Г., Потехин Н.И.
Перспективы строительства уникальных зданий и сооружений из древесины 128

Ходосова Н.А., Томина Е.В., Новикова Л.А., Дмитренков А.И.
Улучшение физико-механических свойств натуральной древесины допированием наночастицами оксида цинка 137

Евдокимов Ю.М., Фиговский О.Л.
Развитие исследований генерирования электромагнитных излучений при нарушении адгезионного контакта (обзор) 147

ЛЕСОИНЖЕНЕРНОЕ ДЕЛО

Тихомиров П.В., Скрыпников А.А., Володина Ю.Ю., Боровлев Ю.А., Картавцев О.Л., Мирзоев Д.Д.
Определение видимости в плане лесовозной автомобильной дороги методом наземной стереофотограмметрии 159

Заикин А.Н., Сиваков В.В., Никитин В.В., Брионес А.А.
Программное обеспечение в лесном хозяйстве и при лесозаготовках 172

CONTENTS

BIOLOGICAL AND TECHNOLOGICAL ASPECTS OF FORESTRY

Rybakova N.A., Glazunov Yu.B.
Larix decidua radial increments dynamics under anthropogenic impact 5

Ivanova N.S.
Impact of stand on biomass and species diversity of herb layer in mountain forests of Southern Urals 14

Fedina L.A., Malysheva S.K., Repin E.N.
New data on *Trillium komarovii* (Trilliaceae DC.) distribution on habitat northern border (Primorsky Krai, Russia) 23

Fedorkov A.L.
Wood quality estimation in tree breeding programmes (short literature review) 30

Nakvasina E.N., Prozherina N.A., Chuprov A.V.
Scots pine (*Pinus sylvestris* L.) cone formation under changing climate 36

Shkhapatsev A.K., Kazeev K.Sh., Kozun Yu.S.,
Soldatov V.P., Fedorenko A.N., Kolesnikov S.I.
Biological activity of old-age cuttings cambisols in Western Caucasus 47

Korshunov N.A., Savchenkova V.A., Perminov A.V., Konyushenkov M.E.
Assessment of aviation protection works on lands of protected areas of Federal significance 60

Eritsov A.M., Sekerin D.M., Krektunov A.A., Zalesov S.V.
Features of fire season 2022 in Kurgan region 73

LANDSCAPE ARCHITECTURE

Lavrova O.P.
Groups of ornamental perennial culture herbaceous plants according to vegetative mobility degree 81

Kabanov A.V., Mamaeva N.A., Khokhlacheva Yu.A.
Phenotypic characteristics of retro cultivars of *Hemerocallis x hybrida* hort. study
for their use in educational and educational purposes 91

Lebedev A.V., Kochnev Ya.V.
Noble estate of Vits-Grigoryevs (Kostroma region): history of creation and current state 104

WOODWORKING AND CHEMICAL WOOD PROCESSING

Safin R.G., Rodionov A.S., Sotnikov V.G.,
Ziatdinova D.F., Timerbayev N.F.
Mathematical modeling of secondary raw materials drying process in activated carbon production line 117

Zaprudnov B.I., Seregin N.G., Potekhin N.I.
Prospects for unique buildings construction and wood structures 128

Khodosova N.A., Tomina E.V., Novikova L.A., Dmitrenkov A.I.
Enhancement of physical-mechanical properties of natural wood by doping with nanoparticles of zinc oxide 137

Evdokimov Yu.M., Figovskiy O.F.
Research development by generation of electromagnetic radiation under adhesion contact breach (review) 147

FOREST ENGINEERING

Tikhomirov P.V., Skrypnikov A.A., Volodina Yu.Yu.,
Borovlev Yu.A., Kartavtsev O.L., Mirzoev D.D.
Determination of forest logging road visibility by ground-based stereophotogrammetry 159

Zaikin A.N., Sivakov V.V., Nikitin V.V., Briones A.A.
Software in forestry and logging 172

УДК 630*181:581.52
DOI: 10.18698/2542-1468-2023-4-5-13
Шифр ВАК 4.1.6

ДИНАМИКА РАДИАЛЬНЫХ ПРИРОСТОВ ЛИСТВЕННИЦЫ ЕВРОПЕЙСКОЙ (*LARIX DECIDUA* MILL.) В УСЛОВИЯХ АНТРОПОГЕННОЙ НАГРУЗКИ

Н.А. Рыбакова✉, Ю.Б. Глазунов

ФГБУН «Институт лесоведения РАН» (ИЛАН РАН), Россия, 143030, Московская обл., Одинцовский г. о., с. Успенское, ул. Советская, д. 21

1986620@gmail.com

Приведены результаты дендрохронологического анализа роста лесных культур лиственницы европейской (*Larix decidua* Mill.) в зоне влияния автотранспортного загрязнения территории вблизи Московской кольцевой автомобильной дороги на расстоянии 8 и 18 м от полотна автотрассы и в рекреационном насаждении в третьей стадии дигрессии. Выявлено влияние этих факторов на рост лиственницы европейской в возрасте от 5 до 65 лет. Установлено, что в насаждениях вблизи МКАД ежегодный радиальный прирост древесины лиственницы европейской составляет в среднем 45 % прироста на контрольном участке, удаленном от автомагистралей и населенных пунктов, в насаждении с рекреационной нагрузкой — 62 %. Различия ежегодного прироста статистически достоверны в течение всего периода наблюдений. Средний многолетний прирост древесины на расстоянии 8 м от МКАД на 34 % ниже, чем на расстоянии 18 м. При увеличении расстояния от полотна автотрассы на 1 м происходит увеличение годичного прироста древесины на 0,2 мм. В лесных культурах лиственницы европейской на участках с антропогенной нагрузкой преобладают приросты ранней древесины: на участках вблизи МКАД — в среднем 68 % годичного прироста, в насаждении с рекреационной нагрузкой — 63 %, на контрольном участке — лишь 49 %.
Ключевые слова: лесные культуры, *Larix decidua* Mill., автотранспортное загрязнение, рекреация, дендрохронологический анализ, радиальный прирост древесины

Ссылка для цитирования: Рыбакова Н.А., Глазунов Ю.Б. Динамика радиальных приростов лиственницы европейской (*Larix decidua* Mill.) в условиях антропогенной нагрузки // Лесной вестник / Forestry Bulletin, 2023. Т. 27. № 4. С. 5–13. DOI: 10.18698/2542-1468-2023-4-5-13

Искусственные насаждения лиственницы европейской в лесной зоне европейской части России образуют высокопродуктивные древостои, как правило, превосходящие по производительности насаждения аборигенных пород [1]. В условиях антропогенного воздействия культуры лиственницы более устойчивы, чем насаждения сосны и особенно ели [2].

Основными антропогенными факторами, негативно влияющими на зеленые насаждения в условиях урбанизированной среды, являются выбросы в атмосферу выхлопных газов автотранспорта, использование твердых и жидких противогололедных материалов, широко применяемых в зимний период [3–10], а также рекреационное воздействие [11–20].

В некоторых исследованиях показано влияние антропогенных факторов на лиственницу сибирскую (*Larix sibirica* L.), растущую в условиях естественного ареала [21–26]. Недостаточная изученность устойчивости интродуцированной лиственницы европейской определяет необходимость проведения таких исследований, оценки перспективы дальнейшего ее применения, оптимизации структуры и видового состава городских насаждений.

Цель работы

Цель работы — оценка негативного влияния загрязнения атмосферы автотранспортом и рекреационного использования урбанизированных территорий на радиальный прирост древесины лиственницы европейской.

Объекты исследования

Для изучения влияния автотранспортного загрязнения на радиальные приросты древесины лиственницы европейской (*L. decidua*) заложены две пробные площади (ПП-1, ПП-2) на территории, примыкающей к Московской кольцевой автодороге (МКАД), являющейся одной из крупнейших автомагистралей Москвы с загруженностью около 9 тыс. автомобилей в 1 ч. Такие экстремальные условия загрязнения позволяют получить наиболее репрезентативные данные. Исследования проведены с использованием дендрохронологического метода, позволяющего оценить влияние этих факторов за длительный промежуток времени [27, 28].

ПП-1 заложена в однорядных лесных культурах лиственницы европейской на внешней стороне

© Автор(ы), 2023

Таблица 1

Характеристика пробных площадей

Characteristics of trial plots

Номер пробной площади	Год отбора керна	Площадь, м^2	Схема* размещения деревьев,м	Ряд лесных культур	Средние показатели древостоя			
					густота, тыс. экз./га	возраст, лет	высота, м	диаметр ствола на высоте 1,3 м, см
1	2020	240	2,5×2,0	1	1,65	54	17,0	36,2
2	2020	225	2,5×1,5	1	0,18	62	18,8	30,3
				2	0,31	–	20,3	26,5
				3	0,84	–	21,9	27,6
3	2021	225	4,0×1,5	–	0,67	55	25,9	27,1
4	2014	660	2,0×2,0	–	0,29	146	45,7	50,5

*Схема размещения деревьев *a*×*b*: *a* — ширина междурядья, *b* — расстояние между деревьями в ряду.

МКАД на расстоянии 18 м от полосы движения транспорта, ПП-2 — в трехрядных культурах на расстоянии 8 м. Почва на пробных площадях дерново-слабоподзолистая среднесуглинистая на покровных суглинках.

На ПП-1 средняя высота лиственницы европейской в возрасте 55 лет составляет 17,0 м, диаметр ствола 36,2 см (табл. 1). Густота лесных культур 1,65 тыс. экз./га. Подлесок редкий из бересклета бородавчатого (*Euonimus verrucosa* Scop.) и розы собачьей (*Rosa canina* L.), подрост отсутствует.

На ПП-2 возраст лиственницы европейской 62 года, густота насаждения при удалении рядов лесных культур от автотрассы увеличивается с 0,18 до 0,84 тыс. экз./га. Одновременно отмечено увеличение высоты деревьев с 20,3 до 21,9 м. Редкий подлесок из клена ясенелистного (*Acer negundo* L.), клена остролистного (*Acer platanoides* L.), розы собачьей (*Rosa canina* L.). Для сравнения роста лиственницы европейской на ПП-2 использованы данные измерения деревьев из первого ряда лесных культур.

Для определения влияния рекреации на рост культур лиственницы европейской в лесном массиве Серебряноборского опытного лесничества ИЛАН РАН заложена ПП-3. Насаждение примыкает к густонаселенному району жилой застройки г. Москвы (Муниципальный округ Крылатское, Западный административный округ) и является рекреационной зоной.

Лесные культуры лиственницы на ПП-3 расположены в естественном насаждении березы повислой (*Betula pendula* Roth) со вторым ярусом клена остролистного (*Acer platanoides* L.) и ясеня персильванского (*Fraxinus pennsylvanica* Marsh.). Участок лесных культур лиственницы европейской окружен прогулочными тропами с высокой транзитной нагрузкой, образующими замкнутую полигональную сеть. Транзитное движение через культуры лиственницы европейской отсутствует. Тропы со сбитыми почвами при высоких антропогенных нагрузках становятся очагами развития деградации почвенного покрова в насаждении, что оказывает негативное влияние на рост древостоя и приводит к ослаблению устойчивости насаждения [29]. В березняке, окружающем ПП-3, участки со сбитой почвой, отсутствием напочвенной растительности составляют около 18 %, средняя площадь отдельных участков полигональной структуры — около 70 м^2 (от 20 до 270 м^2) [30]. По классификации Л.П. Рысина [14], березовое насаждение находится в третьей стадии дигрессии, при которой площадь троп составляет до 20 %, площадь с типичной лесной растительностью — не менее 50–60 %. Стадия дигрессии березняка вблизи ПП-3 служит для оценки влияния рекреационной нагрузки, которую испытывает насаждение лиственницы, окруженное сетью троп.

Культуры лиственницы европейской на ПП-3 созданы рядовой посадкой с расстоянием между рядами 4 м, в ряду — 1,5 м. Возраст лиственницы 55 лет, средняя высота 25,9 м. Подрост клена остролистного (*Acer platanoides* L.) и ясеня пенсильванского (*Fraxinus pennsylvanica* Marsh.). Подлесок средней густоты: рябина обыкновенная (*Sorbus aucuparia* L.), роза собачья (*Rosa canina* L.), бузина кистистая (*Sambucus racemose* L.), лещина обыкновенная (*Corylus avellana* L.), клен ясенелистный (*Acer negundo* L.). Почва в насаждении, как на ПП-1 и ПП-2, дерново-слабоподзолистая легкосуглинистая.

В качестве контроля использована ПП-4, расположенная на большом расстоянии от автодорог и населенных пунктов на одном из участков лесных культур лиственницы европейской, созданных в конце 1850 — начале 1860 гг. под руководством известного лесовода К.Ф. Тюрмера (Московская обл., Можайский район) [1].

Древостои К.Ф. Тюрмера являются уникальным лесокультурным объектом, не имеющим аналогов не только в России, но и в европейских странах. Культуры лиственницы европейской созданы посадкой с расстоянием между рядами 3,0 м, в ряду 1,5 м на пашне двулетними саженцами. В культурах сформировался второй ярус из ели обыкновенной (*Picea abies* L.) естественного происхождения. Возраст лиственницы европейской в момент проведения работ 146 лет. Почва на ПП-4 дерново-подзолистая легкосуглинистая.

Материалы и методы

На пробных площадях определены морфометрические показатели у 25 деревьев: высота (с использованием электронного высотомера Vertex III), возраст (при отборе кернов возрастным буравом Пресслера на высоте 0,2…0,3 м), диаметр ствола на высоте 1,3 м.

Для анализа радиальных приростов древесины осенью 2020 г. были отобраны дендрохронологические образцы буравом Пресслера. Отбор кернов проводился с 6–8 деревьев на каждой пробной площади с максимальным и средним диаметром ствола на высоте 1,3 м в направлении четырех сторон света. Изучение роста деревьев, имеющих максимальные в насаждении морфометрические показатели, позволяет лучше оценить степень влияния внешних негативных факторов.

Керны сканировали с разрешением 1200 dpi. Ширину радиальных годичных приростов ранней и поздней древесины измеряли с точностью до ±0,05 мм с использованием программы GetData Graph Digitizer 2.26 [31]. Проведена статистическая обработка материалов с помощью программ Microsoft Excel 2007 и Statistica 8.0.

Результаты и обсуждение

При дендрохронологическом анализе проведено сравнение радиального прироста древесины в течение периода роста насаждения для деревьев максимального и среднего диаметра (табл. 2). Для сравнения всех пробных площадей результаты измерений приведены до 65 лет.

Таблица 2

Радиальный прирост годичных колец лиственницы европейской у деревьев среднего и максимального диаметра, мм

Radial growth of European larch annual rings in trees of average and maximum diameter, mm

Возраст дерева, лет	ПП-1		ПП-2		ПП-3		ПП-4	
	1	2	1	2	1	2	1	2
3	–	–	6,48 ± 1,82	5,4 ± 1,42	–	–	–	–
4	–	–	5,31 ± 0,79	5,99 ± 1,84	–	–	–	–
5	7,52 ± 0,53	6,45 ± 1,52	5,18 ± 0,93	5,16 ± 1,2	–	–	–	–
6	7,3 ± 0,53	5,36 ± 0,93	5,36 ± 1,95	4,82 ± 1,52	–	–	–	–
7	7,19 ± 2,0	5,12 ± 0,93	5,06 ± 1,18	4,86 ± 1,34	–	–	–	–
8	7,24 ± 2,28	5,32 ± 0,56	5,06 ± 1,27	4,29 ± 0,31	–	–	–	–
9	7,09 ± 1,54	6,35 ± 0,99	4,64 ± 1,24	4,31 ± 1,24	–	–	–	–
10	7,94 ± 1,49	6,13 ± 1,40	3,83 ± 1,22	3,98 ± 1,26	–	–	–	–
11	7,6 ± 1,13	6,25 ± 1,18	4,41 ± 0,94	3,43 ± 1,10	–	9,72 ± 0,13	–	–
12	7,42 ± 1,74	6,33 ± 0,8	4,52 ± 0,92	3,65 ± 1,11	9,25 ± 0,12	8,47 ± 1,75	–	–
13	5,98 ± 1,01	5,54 ± 0,94	3,89 ± 0,88	3,72 ± 1,12	10,02 ± 0,37	8,55 ± 1,09	–	–
14	5,07 ± 0,88	4,52 ± 1,15	3,67 ± 0,71	2,87 ± 0,95	10,260 ± ,89	8,93 ± 1,15	–	–
15	5,05 ± 1,47	4,76 ± 0,85	3,97 ± 0,95	2,52 ± 0,85	12,08 ± 1,25	7,72 ± 1,98	–	–
16	5,49 ± 1,74	4,88 ± 0,57	3,29 ± 0,85	2,38 ± 0,77	10,30 ± 1,56	6,63 ± 2,13	–	–
17	4,47 ± 1,86	4,35 ± 0,84	2,95 ± 0,18	2,37 ± 0,14	9,331 ± ,47	6,56 ± 1,67	–	–
18	4,13 ± 0,91	4,1 ± 1,03	2,69 ± 0,72	2,37 ± 0,56	8,75 ± 1,31	6,22 ± 1,26	–	–
19	3,43 ± 1,44	3,02 ± 0,95	2,59 ± 0,86	2,06 ± 0,68	8,37 ± 1,66	5,14 ± 0,99	–	–
20	3,43 ± 0,8	3,43 ± 0,79	2,54 ± 0,92	1,92 ± 0,73	6,76 ± 2,16	4,85 ± 0,94	9,77 ± 0,8	7,70 ± 0,86
21	3,06 ± 0,74	3,17 ± 0,51	2,57 ± 0,82	1,68 ± 0,52	6,24 ± 1,01	4,64 ± 0,91	9,31 ± 0,8	7,13 ± 0,83
22	2,53 ± 1,14	2,66 ± 0,57	2,43 ± 0,73	1,42 ± 0,44	5,25 ± 1,15	3,80 ± 1,05	7,52 ± 0,8	6,49 ± 0,47
23	2,8 ± 1,1	1,85 ± 0,66	2,72 ± 0,19	1,74 ± 0,14	4,23 ± 1,12	3,20 ± 0,80	7,10 ± 0,44	4,85 ± 0,88
24	2,59 ± 1,58	1,74 ± 0,68	2,23 ± 0,18	1,77 ± 0,16	4,44 ± 0,53	3,10 ± 0,80	7,00 ± 0,14	4,93 ± 45
25	2,72 ± 1,68	1,89 ± 0,67	2,12 ± 0,16	1,62 ± 0,11	4,360 ± ,86	2,94 ± 0,56	7,00 ± 0,37	5,72 ± 0,74
26	2,82 ± 1,23	2,22 ± 0,64	2,25 ± 0,18	1,3 ± 0,09	2,88 ± 1,25	2,21 ± 0,94	7,79 ± 0,36	4,58 ± 1,23
27	2,78 ± 1,31	2,05 ± 0,55	2,14 ± 0,64	1,3 ± 0,35	1,54 ± 0,29	1,95 ± 0,61	6,67 ± 1,25	5,23 ± 0,58
28	2,78 ± 1,18	2,37 ± 0,83	1,76 ± 0,51	1,36 ± 0,45	1,68 ± 0,45	1,45 ± 0,42	5,76 ± 0,30	4,14 ± 0,55

Окончание табл. 2

Возраст дерева, лет	ПП-1		ПП-2		ПП-3		ПП-4	
	1	2	1	2	1	2	1	2
29	2,17 ± 1,46	2,66 ± 0,58	1,55 ± 0,52	1,21 ± 0,36	2,28 ± 0,55	1,56 ± 0,67	4,53 ± 0,8	3,86 ± 0,57
30	2,11 ± 1,0	1,59 ± 0,42	1,63 ± 0,64	1,01 ± 0,30	2,02 ± 0,36	1,37 ± 0,59	4,20 ± 0,24	3,70 ± 0,86
31	1,38 ± 0,39	1,54 ± 0.42	1,64 ± 0,62	0,97 ± 0,29	2,18 ± 0,49	1,25 ± 0,61	3,61 ± 0,90	3,17 ± 0,51
32	1,74 ± 0,42	1,82 ± 0,43	1,77 ± 0,66	1,15 ± 0,33	2,9 ± 2,01	1,54 ± 0,47	3,36 ± 0,67	3,08 ± 0,64
33	1,89 ± 0,61	1,53 ± 0,54	1,37 ± 0,51	1,06 ± 0,42	2,69 ± 0,81	1,40 ± 0,34	3,76 ± 0,80	2,68 ± 0,40
34	1,39 ± 0,66	1,08 ± 0,46	1,24 ± 0,25	1,19 ± 0,58	2,39 ± 0,47	1,43 ± 0,57	3,85 ± 1,07	2,81 ± 0,36
35	1,26 ± 0,69	0,8 ± 0,46	1,23 ± 0,31	0,9 ± 0,32	3,421 ± 0,12	1,61 ± 0,43	3,20 ± 1,36	2,54 ± 0,21
36	1,49 ± 0,56	1,18 ± 0,52	1,46 ± 0,63	0,72 ± 0,21	2,91 ± 0,9	1,49 ± 0,52	3,61 ± 0,36	2,57 ± 0,54
37	1,43 ± 0,59	1,11 ± 0,34	1,21 ± 0,35	0,65 ± 0,21	2,55 ± 0,85	1,68 ± 0,70	4,09 ± 0,73	2,75 ± 0,50
38	1,45 ± 0,82	0,79 ± 0,28	1,24 ± 0,57	0,73 ± 0,25	1,83 ± 0,65	1,14 ± 0,47	4,08 ± 0,47	2,95 ± 0,72
39	1,73 ± 1,01	1,14 ± 0,39	1,22 ± 0,52	0,58 ± 0,20	2,11 ± 0,85	0,98 ± 0,32	2,79 ± 0,35	1,96 ± 0,63
40	1,89 ± 0,67	1,58 ± 0,51	1,12 ± 0,49	0,6 ± 0,24	2,31 ± 0,78	1,21 ± 0,43	2,69 ± 0,35	1,72 ± 0,37
41	1,39 ± 0,49	1,42 ± 0,6	0,87 ± 0,43	0,87 ± 0,40	1,98 ± 0,68	0,86 ± 0,38	2,33 ± 0,36	1,5 ± 0,44
42	1,14 ± 0,61	1,38 ± 0,49	0,8 ± 0,27	0,81 ± 0,30	1,76 ± 0,38	0,85 ± 0,32	2,25 ± 0,21	1,66 ± 0,41
43	1,22 ± 0,63	0,96 ± 0,39	0,9 ± 0,20	0,70 ± 0,19	1,97 ± 0,47	0,89 ± 0,19	2,13 ± 0,40	1,94 ± 0,38
44	1,37 ± 0,85	0,94 ± 0,37	0,84 ± 0,27	0,7 ± 0,22	2,08 ± 0,94	0,86 ± 0,29	2,55 ± 0,36	2,07 ± 0,61
45	1,45 ± 0,62	1,18 ± 0,38	0,69 ± 0,29	0,62 ± 0,27	1,570 ± 0,76	0,680 ± 0,17	2,27 ± 0,48	1,85 ± 0,51
46	1,3 ± 0,56	1,14 ± 0,32	0,70 ± 0,36	0,44 ± 0,16	1,970 ± 0,61	0,86 ± 0,37	2,79 ± 0,41	2,09 ± 0,27
47	1,36 ± 0,56	0,99 ± 0,29	0,64 ± 0,22	0,35 ± 0,21	2,190 ± 0,87	0,78 ± 0,28	2,35 ± 0,70	1,77 ± 0,71
48	1,61 ± 0,7	1,19 ± 0,44	0,67 ± 0,26	0,54 ± 0,24	1,930 ± 0,67	0,84 ± 0,15	3,43 ± 0,60	1,71 ± 0,28
49	1,97 ± 0,75	1,37 ± 0,54	0,81 ± 0,39	0,55 ± 0,23	1,90 ± 0,71	0,67 ± 0,11	2,93 ± 0,51	1,81 ± 0,75
50	1,58 ± 0,85	1,11 ± 0,39	0,98 ± 0,33	0,59 ± 0,17	1,11 ± 0,32	0,56 ± 0,18	2,50 ± 0,64	1,21 ± 0,36
51	1,82 ± 0,77	1,29 ± 0,78	0,83 ± 0,37	0,79 ± 0,30	1,54 ± 0,57	0,69 ± 0,15	2,41 ± 0,73	1,42 ± 0,27
52	1,32 ± 0,71	0,82 ± 0,28	0,67 ± 0,32	0,84 ± 0,32	0,81 ± 0,32	0,45 ± 0,10	2,41 ± 0,83	1,88 ± 0,69
53	1,19 ± 0,53	0,8 ± 0,39	0,68 ± 0,25	0,8 ± 0,31	–	–	2,43 ± 0,33	1,50 ± 0,26
54	1,14 ± 0,83	0,77 ± 0,39	0,53 ± 0,31	0,55 ± 0,18	–	–	2,76 ± 0,65	1,35 ± 0,55
55	1,48 ± 0,74	0,89 ± 0,44	0,55 ± 0,32	0,51 ± 0,14	–	–	3,40 ± 0,67	1,90 ± 0,43
56	–	–	0,50 ± 0,23	0,48 ± 0,21	–	–	3,87 ± 0,70	1,72 ± 0,52
57	–	–	0,60 ± 0,26	0,51 ± 0,20	–	–	3,80 ± 0,67	1,65 ± 0,72
58	–	–	0,75 ± 0,28	0,49 ± 0,15	–	–	2,88 ± 0,92	1,76 ± 0,43
59	–	–	0,57 ± 0,23	0,43 ± 0,13	–	–	2,20 ± 0,65	1,45 ± 0,32
60	–	–	0,60 ± 0,27	0,41 ± 0,21	–	–	2,25 ± 0,26	1,26 ± 0,17
61	–	–	0,71 ± 0,42	0,39 ± 0,20	–	–	2,45 ± 0,27	1,41 ± 0,31
62	–	–	0,88 ± 0,31	0,51 ± 0,20	–	–	2,38 ± 0,15	1,18 ± 0,23
63	–	–	0,44 ± 0,15	0,49 ± 0,20	–	–	2,15 ± 0,67	1,53 ± 0,49
64	–	–	0,44 ± 0,12	0,55 ± 0,24	–	–	1,81 ± 0,39	1,35 ± 0,28

Примечание. 1 — стволы максимального диаметра; 2 — стволы среднего диаметра.

Статистический анализ показал, что различия между ежегодными приростами древесины у стволов максимального и среднего диаметра статистически достоверны в течение всего периода наблюдений (*t*-критерий Стьюдента $t_{факт.}$ от 6,9 до 12,0 при $t_{0,05}$ = 2,01).

Для сравнения пробных площадей рассчитан средний прирост древесины лиственницы по пятилетним возрастным периодам (табл. 3, рис. 1).

В лесных культурах лиственницы европейской, расположенных вблизи МКАД, наименьшая величина прироста древесины в период от 5 до 55 лет наблюдается на ПП-2, расположенной в 8 м от трассы, составляя у деревьев с максимальным диаметром ствола — 2,09 мм, со средним диаметром ствола — 1,64 мм. На ПП-1, расположенной в 18 м годичный прирост соответственно 3,04 и 2,52 мм. В среднем радиальный прирост древесины на ПП-2 составляет 65–69 % прироста на ПП-1. Различия статистически достоверны по *t*-критерию Стьюдента в течение всего периода роста ($t_{факт.}$ от 3,99 до 4,53 при $t_{0,05}$ = 2,07) и определяются расстоянием от автомагистрали до лесных культур. При увеличении расстояния от МКАД на 1 м происходит увеличение годичного прироста древесины на 0,2 мм.

На ПП-2 в лесных культурах лиственницы европейской, созданных в три ряда, отмечается различие прироста древесины в зависимости от удаленности рядов от автомагистрали. В первом ряду культур средний многолетний прирост составляет 1,68 мм, во втором — уменьшается до 1,36 мм, в третьем ряду, находящемся на расстоянии 15 м от трассы — увеличивается до 1,81 мм. Различия прироста по рядам согласуются с величиной диаметра ствола на высоте 1,3 м (см. табл. 1). Различия в приросте нельзя отнести только к снижению автотранспортного загрязнения по мере удаления от трассы, но и к снижению освещенности в направлении от опушки в глубь посадок. Ранее нами было установлено, что негативное воздействие МКАД на лесные культуры лиственницы европейской в возрасте от 4 до 28 лет проявляется на расстоянии до 40 м от трассы [32].

Сравнение ширины годичных колец лиственницы европейской на участках вблизи МКАД (ПП-1 и ПП-2) и на контрольном (ПП-4) показывает, что в возрасте от 21 года до 55 лет прирост составляет на ПП-1 лишь 43 % величины прироста на контрольном участке, на ПП-2, более удаленной от источника загрязнения — 47 %.

Величина радиального прироста на всех пробных площадях плавно снижается до возраста около 20…30 лет. Наибольший прирост за весь период наблюдался на контрольном участке (рис. 2, 3).

Сравнение годичного прироста на ПП-1 и ПП-2 с контрольным участком показали, что прирост статистически достоверно различается в течение всего периода наблюдений по *t*-критерию Стьюдента (у деревьев с максимальным диаметром ствола $t_{факт.}$ = 7,4…9,5 при $t_{0,05}$ = 2,01, со средним — $t_{факт.}$ = 9,1…14,4, $t_{0,05}$ = 2,01).

На ПП-3 в рекреационном насаждении в третьей стадии дигрессии средний многолетний прирост лиственницы европейской в возрасте от 20 до 52 лет составляет у деревьев с максимальным диаметром ствола 62 % прироста на контрольном участке, среднего — 51 %. Различия в приросте статистически достоверны ($t_{факт.}$ = 11,8 при $t_{0,05}$ = 2,03).

Прирост на ПП-3 превышает прирост на пробных площадях вблизи МКАД (см. табл. 1, 3). В возрасте от 12 до 52 лет превышение составляет 20…55 %. Сравнение прироста показало, что различия на ПП-1, ПП-2 и ПП-3 у деревьев с максимальным и средним диаметром ствола достоверны.

В годичном кольце *Larix decidua* хорошо выражены различия между ранней и поздней древесиной. На ПП-1 и ПП-2 ранняя древесина занимает 67–69 % годичного прироста и не зависит от удаленности ПП от полотна автотрассы. В насаждении с рекреационной нагрузкой (ПП-3) в годичном приросте ранней древесины несколько меньше — в среднем 63 %.

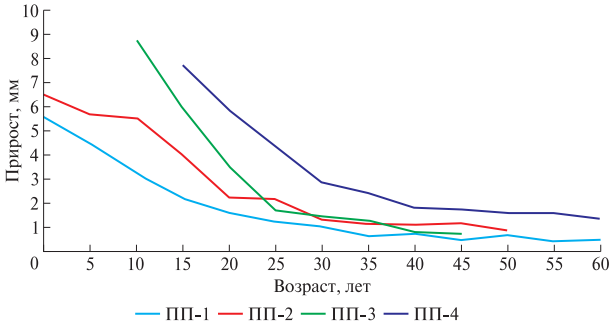


Рис. 1. Средний годичный прирост древесины у деревьев лиственницы европейской при максимальном диаметре ствола в пятилетние возрастные периоды

Fig. 1. Average annual wood growth in European larch trees at maximum trunk diameter at five-year ages

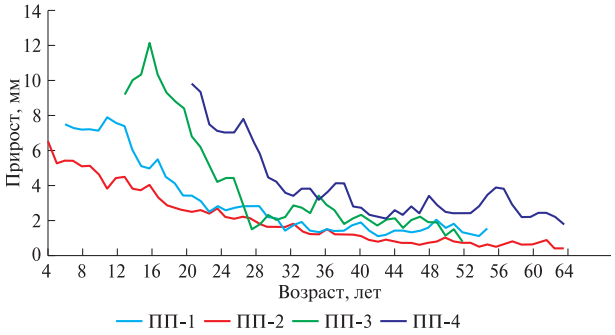


Рис. 2. Радиальный прирост лиственницы европейской у деревьев с максимальным диаметром ствола

Fig. 2. Радиальный приросаметром ствола Radial growth of European larch in trees with maximum trunk diameter

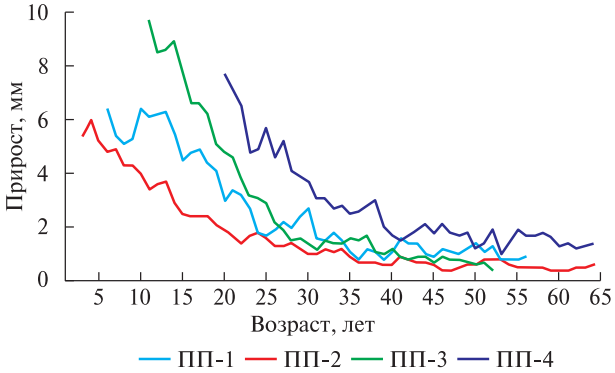


Рис. 3. Радиальный прирост лиственницы европейской у деревьев со средним диаметром ствола

Fig. 3. Radial growth of European larch in trees with average trunk diameter

Соотношение годичного прироста ранней и поздней древесины изменяется в течение жизни насаждения. На ПП-1 прирост ранней древесины лиственницы до 20-летнего возраста в среднем составляет 73 % годового прироста, постепенно снижаясь в возрасте до 55 лет до 59 %, на ПП-2 — соответственно с 69 % до 64 %, на ПП-3 — с 68 % до 58 % (рис. 4).

Таблица 3

Средний годичный прирост древесины лиственницы европейской с максимальным и средним диаметром ствола в пятилетние возрастные периоды

Average annual growth of European larch with the maximum and average diameter of the trunk in five-year age periods

Период роста, лет	Средний годичный радиальный прирост древесины, мм							
	Стволы максимального диаметра				Стволы среднего диаметра			
	ПП-1	ПП-2	ПП-3	ПП-4	ПП-1	ПП-2	ПП-3	ПП-4
До 5	5,66	7,52	–	–	5,52	6,45	–	–
6–10	4,79	7,35	–	–	4,45	5,66	–	–
11–15	4,09	6,22	10,15	–	3,24	5,48	8,68	–
16–20	2,81	4,19	8,70	9,77	2,22	3,96	5,88	7,70
21–25	2,41	2,74	4,90	7,59	1,65	2,26	3,53	5,83
26–30	1,87	2,53	2,48	5,79	1,24	2,17	1,71	4,30
31–35	1,45	1,53	2,53	3,56	1,05	1,35	1,44	2,85
36–40	1,25	1,60	2,34	3,45	0,66	1,16	1,30	2,39
41–45	0,82	1,31	1,87	2,31	0,74	1,13	0,83	1,80
46–50	0,76	1,57	1,82	2,80	0,49	1,16	0,74	1,72
51–55	0,65	1,39	–	2,68	0,70	0,91	–	1,61
56–60	0,61	–	–	3,00	0,46	–	–	1,57
61–65	0,66	–	–	2,16	0,50	–	–	1,35

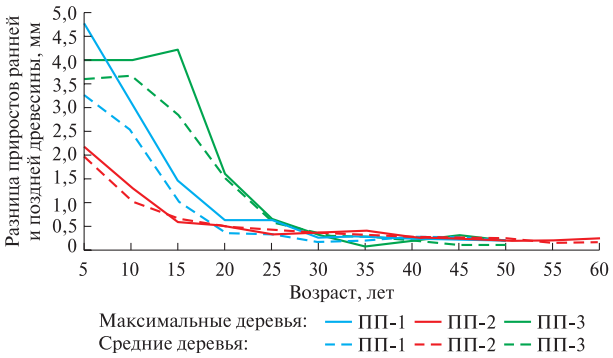


Рис. 4. Разница прироста ранней и поздней древесины у деревьев с максимальным и средним диаметрами стволов, мм

Fig. 4. Difference in early and late growth in trees with maximum and average trunk diameter, mm

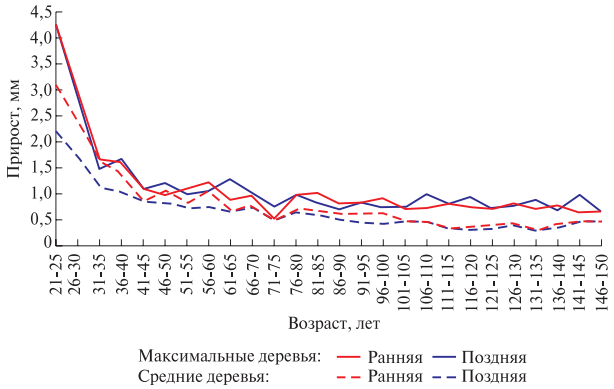


Рис. 5. Динамика прироста ранней и поздней древесины на ПП-4, мм

Fig. 5. Dynamics of early and late wood growth at TP-4, mm

На ПП-4, в насаждении без антропогенной нагрузки, ширина слоя ранней и поздней древесины близка (рис. 5). Ширина слоя ранней древесины за весь период наблюдений у деревьев с максимальным диаметром ствола составила 49 % средней ширины годичного кольца, у деревьев со средним диаметром — 56 %.

Исследования роста лесных культур лиственницы европейской в возрасте от 4 до 28 лет вблизи МКАД показали, что ширина прироста ранней древесины наиболее тесно связана с количеством осадков в мае, июне и июле (коэффициент корреляции $r = 0{,}33$), ширина прироста поздней древесины — с количеством тепла в августе и сентябре ($r = -0{,}44$) [32].

Выводы

1. Ежегодный радиальный прирост древесины лиственницы европейской (*Larix decidua*) на всех участках с антропогенной нагрузкой и на контрольном плавно снижается до возраста около 20…30 лет, затем колебание прироста незначительно.

2. В возрасте от 20 до 55 лет прирост вблизи МКАД составляет 43…47 % прироста на контрольном участке.

3. Радиальный прирост древесины на расстоянии 8 м от полотна автотрассы на 34 % ниже, чем на расстоянии 18 м от нее. При увеличении расстояния на 1 м происходит рост годичного прироста на 0,2 мм.

4. Радиальный прирост древесины в насаждении с рекреационной нагрузкой в возрасте от 20 до 52 лет составляет 62 % прироста на контрольном участке у деревьев с максимальным диаметром ствола и 51 % у деревьев с максимальным и средним диаметрами стволов.

5. В лесных культурах преобладает прирост ранней древесины. На участках вблизи МКАД ранняя древесина составляет в среднем 68 % годичного прироста, в насаждении с рекреационной нагрузкой — 63 %. В насаждении без антропогенной нагрузки (контрольный) прирост ранней древесины составляет лишь 49 % годичного прироста.

Список литературы

[1] Мерзленко М.Д., Мельник П.Г., Глазунов Ю.Б., Кузнецова С.Л. Лесоводственный опыт выращивания культур лиственницы в центре русской равнины // Лесохозяйственная информация, 2019, № 4. С. 55–66.

[2] Рубцов М.В., Глазунов Ю.Б., Николаев Д.К. Лиственница европейская в центре Русской равнины // Лесное хозяйство, 2011. № 5. С. 26–29.

[3] Влияние загрязнителей воздуха на растительность / Под ред. Х.Г. Десслера. М.: Лесная пром-сть, 1981. 184 с.

[4] Кулагин Ю.З. Древесные растения и промышленная среда. М.: Наука, 1997. 125 с.

[5] Николаевский В.С. Экологическая оценка загрязнения среды и состояния наземных экосистем методами фитоиндикации. М: МГУЛ, 1998. 191 с.

[6] Павлов И.Н. Древесные растения в условиях техногенного загрязнения. Улан-Удэ: Изд-во БНЦ СО РАН, 2005. 370 с.

[7] Устойчивость растений к химическому загрязнению / сост. Р.В. Кайгородов. Пермь: Изд-во ПГУ, 2010. 151 с.

[8] Einfluss von Luftverunreinigungen auf die Vegetation. Ursachen-Wirkungn-Gegenmassnahmen. Jena: Fischer, 1991, 266 p.

[9] Yang J., McBride J., Zhou J., Sun Z. The urban forest in Beijing and its role in air pollution reduction // Urban Forestry & Urban Greening, 2004, v. 3, iss. 2, pp. 65–78.

[10] Nowak D.J., Hirabayashi S., Bodine A., Greenfield E. Tree and forest effects on air quality and human health in the United States // Environ Pollut., 2014, v. 193, pp. 119–129.

[11] Влияние рекреации на лесные экосистемы и их компоненты. М.: Изд-во РАН, 2004. 287 с.

[12] Казанская Н.С., Ланина В.В., Марфенин Н.Н. Рекреационные леса. М.: Лесная пром-сть,1977. 96 с.

[13] Пронин М.И. Влияние рекреации на насаждения. М.: [б. и.], 1979. 186 с.

[14] Рысин Л.П., Абатуров А.В., Меланхолин П.Н., Полякова Г.А., Рысин С.Л. Динамика и устойчивость рекреационных лесов. М.: Т-во науч. изданий КМК, 2006. 165 с.

[15] Cole D.N. Recreational Trampling Effects on Six Habitat Types in Western Montana // USDA Forest Service Research Paper INT-350, Intermountain Research Station, Ogden, Utah, 1985. 43 p.

[16] Hamberg L. The effects of habitat edges and trampling intensity on vegetation in urban forests // Department of Biological and Environmental Sciences, Faculty of Biosciences, University of Helsinki, 2009, 32 p.

[17] Kutiel P., Zhevelev Y. Recreational use impact on soil and vegetation at picnic sites in Aleppo pine forests on Mount Carmel, Israel // Israel J. of Plant Sciences, 2001, v. 49, pp. 49–56.

[18] Mariella M., Norman D. Recreationist behaviour in forests and the disturbance of wildlife // Biodiversity and Conservation, 2012(6), v. 21, pp. 2967–2986.

[19] Авдеева Е.В. Анализ роста древесных растений в условиях городской среды: автореф. дис. ... канд. с.-х. наук: 06.03.01. Красноярск: Изд-во КГТА, 1994. 19 с.

[20] Кузнецов В.А. Почвы и растительность парково-рекреационных ландшафтов Москвы: автореф. дис. ... канд. биол. наук: 03.02.13. М.: Изд-во МГУ, 2015. 170 с.

[21] Абраменко О.В. Использование лиственницы сибирской (*Larix sibirica* Ledeb.) как биоиндикатора состояния городских насаждений в условиях лесостепной зоны Хакасско-Минусинской котловины // Вестник КрасГАУ, 2015. № 1. С. 184–188.

[22] Автухович И.Е. Влияние антропогенных нагрузок на состояние лиственницы и каштана в условиях города // Изучение влияния тяжелых металлов на рост деревьев в условиях г. Москвы: науч. тр. МГУЛ, 2002. Вып. 303. С. 106–111.

[23] Афанасьева Л.В. Физиолого-биохимическая адаптация лиственницы сибирской (*Larix sibirica* Ledeb.) к условиям городской среды // Сибирский лесной журнал, 2018. № 3. С. 21–29.

[24] Кузмичев В.В., Авдеева Е.В. Реакция лиственницы сибирской (*Larix sibirica* Ledeb.) на техногенные воздействия городской среды // Хвойные бореальной зоны, 2007. Вып. XXIV. № 1. С. 36–42.

[25] Муратова Е.Н., Карпюк Т.В., Владимирова О.С., Сизых О.А., Квитко О.В. Цитологическое изучение лиственницы сибирской в антропогенно нарушенных районах г. Красноярска и его окрестностей // Вестник экологии, лесоведения и ландшафтоведения, 2009. № 9. С. 99–108.

[26] Романова Л.И. Структурно-функциональные особенности лиственницы сибирской в зеленых насаждениях г. Красноярска и его окрестностей: автореф. дис. ... канд. биол. наук: 03.00.05. Ботаника. Красноярск, Институт леса им. В. Н. Сукачева СО РАН, 2005. 24 с.

[27] Ловелиус Н.В. Изменчивость прироста деревьев. Дендроиндикация природных процессов и антропогенных воздействий. Ленинград: Наука, 1979. 232 с.

[28] Румянцев Д.Е. История и методология лесоводственной дендрохронологии. М.: МГУЛ, 2010. 109 с.

[29] Лысиков А.Б., Судницына Т.Н. Влияние рекреации на почву лиственных насаждений Серебряноборского опытного лесничества // Лесоведение, 2008. № 3. С. 47–56.

[30] Лысиков А.Б. Влияние рекреации на состояние почв в городских лиственных лесах // Лесоведение, 2011. № 4. С. 11–20.

[31] Рыбакова Н.А., Глазунов Ю.Б. Влияние автотранспортного загрязнения на рост лесных культур лиственницы европейской // Лесотехнический журнал, 2020. Т. 10. № 2(38). С. 70–80.

[32] Рыбакова Н.А., Глазунов Ю.Б. Рост культур лиственницы европейской в зоне влияния Московской кольцевой автодороги (МКАД) // Лесной вестник / Forestry Bulletin, 2019. Т. 23. № 5. С. 54–61. DOI: 10.18698/2542-1468-2019-5-54-61

Сведения об авторах

Рыбакова Наталья Алексеевна✉ — канд. с.-х. наук, ст. науч. сотр. ФГБУН «Институт лесоведения РАН» (ИЛАН РАН), 1986620@gmail.com

Глазунов Юрий Борисович — канд. с.-х. наук, вед. науч. сотр. ФГБУН «Институт лесоведения РАН» (ИЛАН РАН), yu.b.glazunov@mail.ru

Поступила в редакцию 09.12.2022.
Одобрено после рецензирования 24.03.2023.
Принята к публикации 25.05.2023.

LARIX DECIDUA RADIAL INCREMENTS DYNAMICS UNDER ANTHROPOGENIC IMPACT

N.A. Rybakova✉**, Yu.B. Glazunov**

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

1986620@gmail.com

The results of a dendrochronological analysis of the European larch (Larix decidua Mill.) forest plantations growth in the zone of influence of motor transport pollution in the territory near the Moscow Ring Road at a distance of 8 and 18 m from the roadbed and in a recreational plantation in the third stage of digression are presented. The influence of these factors at the age of European larch from 5 to 65 years was revealed. It has been established that in plantations near the Moscow Ring Road, the annual radial growth of European larch wood is on average 45 %, in a plantation with a recreational load it makes up 62 % of the increase in the control plot, remote from highways and settlements. Differences in annual increments are statistically significant throughout the entire observation period. The average long-term growth of wood at a distance of 8 m from the Moscow Ring Road is 34 % lower than at a distance of 18 m. With an increase in the distance from the roadbed by 1 m, the annual growth of wood increases by 0,2 mm. In forest plantations of European larch, growths of early wood predominate: in areas near the Moscow Ring Road — an average of 68 % of the annual growth, in a plantation with a recreational load — 63 %, in the control plot — only 49 %.

Keywords: forest crops, *Larix decidua* Mill., motor pollution, dendrochronological analysis, radial wood increments

Suggested citation: Rybakova N.A., Glazunov Yu.B. *Dinamika radial'nykh prirostov listvennitsy evropeyskoy (Larix decidua Mill.) v usloviyakh antropogennoy nagruzki* [*Larix decidua* radial increments dynamics under anthropogenic impact]. Lesnoy vestnik / Forestry Bulletin, 2023, vol. 27, no. 4, pp. 5–13.
DOI: 10.18698/2542-1468-2023-4-5-13

References

[1] Merzlenko M.D., Mel'nik P.G., Glazunov Yu.B., Kuznetsova S.L. *Lesovodstvennyy opyt vyrashchivaniya kul'tur listvennitsy v tsentre russkoy ravniny* [Forestry experience in growing larch crops in the center of the Russian plain]. Lesokhozyaystvennaya informatsiya [Forestry Information], 2019, no. 4, pp. 55–66.
[2] Rubtsov M.V., Glazunov Yu.B., Nikolaev D.K. *Listvennitsa evropeyskaya v tsentre Russkoy ravniny* [European larch in the center of the Russian Plain]. Lesnoe khozyaystvo [Forestry], 2011, no. 5, pp. 26–29.
[3] *Vliyanie zagryazniteley vozdukha na rastitel'nost'* [Influence of air pollutants on vegetation]. Ed. H.G. Dessler. Moscow: Lesnaya promyshlennost', 1981, 184 p.
[4] Kulagin Yu.Z. *Drevesnye rasteniya i promyshlennaya sreda* [Woody plants and the industrial environment]. Moscow: Nauka, 1997, 125 p.
[5] Nikolaevskiy V.S. *Ekologicheskaya otsenka zagryazneniya sredy i sostoyaniya nazemnykh ekosistem metodami fitoindikatsii* [Ecological assessment of environmental pollution and the state of terrestrial ecosystems using phytoindication methods]. Moscow: MSFU, 1998, 191 p.
[6] Pavlov I.N. *Drevesnye rasteniya v usloviyakh tekhnogennogo zagryazneniya* [Woody plants in conditions of technogenic pollution]. Ulan-Ude: BNTs SO RAN, 2005, 370 p.
[7] *Ustoychivost' rasteniy k khimicheskomu zagryazneniyu* [Plant resistance to chemical pollution]. Comp. R.V. Kaigorodov. Perm': Perm State Technical University, 2010, 151 p.
[8] Einfluss von Luftverunreinigungen auf die Vegetation. Ursachen-Wirkungn-Gegenmassnahmen. Jena: Fischer, 1991, 266 p.
[9] Yang J., McBride J., Zhou J., Sun Z. The urban forest in Beijing and its role in air pollution reduction. Urban Forestry & Urban Greening, 2004, v. 3, iss. 2, pp. 65–78.
[10] Nowak D.J., Hirabayashi S., Bodine A., Greenfield E. Tree and forest effects on air quality and human health in the United States. Environ Pollut., 2014, v. 193, pp. 119–129.
[11] *Vliyanie rekreatsii na lesnye ekosistemy i ikh komponenty* [Influence of recreation on forest ecosystems and their components]. Moscow: Publishing House of the Russian Academy of Sciences, 2004, 287 p.

[12] Kazanskaya N.S., Lanina V.V., Marfenin N.N. *Rekreatsionnye lesa* [Recreational forests]. Moscow: Lesnaya promyshlennost' [Timber industry], 1977, 96 p.
[13] Pronin M.I. *Vliyanie rekreatsii na nasazhdeniya* [Influence of recreation on plantings]. Moscow, 1979, 186 p.
[14] Rysin L.P., Abaturov A.V., Melankholin P.N., Polyakova G.A., Rysin S.L. *Dinamika i ustoychivost' rekreatsionnykh lesov* [Dynamics and sustainability of recreational forests]. Moscow: T-vo scientific editions of KMK, 2006, 165 p.
[15] Cole D.N. Recreational Trampling Effects on Six Habitat Types in Western Montana. USDA Forest Service Research Paper INT-350, Intermountain Research Station, Ogden, Utah, 1985. 43 p.
[16] Hamberg L. The effects of habitat edges and trampling intensity on vegetation in urban forests. Department of Biological and Environmental Sciences, Faculty of Biosciences, University of Helsinki, 2009, 32 p.
[17] Kutiel P., Zhevelev Y. Recreational use impact on soil and vegetation at picnic sites in Aleppo pine forests on Mount Carmel, Israel. Israel J. of Plant Sciences, 2001, v. 49, pp. 49-56.
[18] Mariella M., Norman D. Recreationist behaviour in forests and the disturbance of wildlife. Biodiversity and Conservation, 2012(6), v. 21, pp. 2967–2986.
[19] Avdeeva E.V. *Analiz rosta drevesnykh rasteniy v usloviyakh gorodskoy sredy* [Analysis of the growth of woody plants in an urban environment]. Dis. Cand. Sci. (Agric.) 06.03.01. Krasnoyarsk: Krasnoyarsk State Technical Academy, 1994, 19 p.
[20] Kuznetsov V.A. *Pochvy i rastitel'nost' parkovo-rekreatsionnykh landshaftov Moskvy* [Soils and vegetation of park and recreational landscapes of Moscow]. Dis. Cand. Sci. (Biol.) 03.02.13. Moscow: MGU, 2015, 170 p.
[21] Abramenko O.V. *Ispol'zovanie listvennitsy sibirskoy (Larix sibirica Ledeb.) kak bioindikatora sostoyaniya gorodskikh nasazhdeniy v usloviyakh lesostepnoy zony Khakassko-Minusinskoy kotloviny* [The use of Siberian larch (Larix sibirica Ledeb.) as a bioindicator of the state of urban plantations in the forest-steppe zone of the Khakass-Minusinsk depression]. Vestnik KrasGAU, 2015, no. 1, pp. 184–188.
[22] Avtukhovich I.E. *Vliyanie antropogennykh nagruzok na sostoyanie listvennitsy i kashtana v usloviyakh goroda* [Influence of anthropogenic loads on the condition of larch and chestnut in the conditions of the city]. Izuchenie vliyaniya tyazhelykh metallov na rost derev'ev v usloviyakh g. Moskvy: nauchnye trudy MGUL [Study of the influence of heavy metals on the growth of trees in the conditions of Moscow: scientific works of the Moscow State Forest University], 2002, iss. 303, pp. 106–111.
[23] Afanas'eva L.V. *Fiziologo-biokhimicheskaya adaptatsiya listvennitsy sibirskoy (Larix sibirica Ledeb.) k usloviyam gorodskoy sredy* [Physiological and biochemical adaptation of Siberian larch (Larix sibirica Ledeb.) to the conditions of the urban environment]. Sibirskiy lesnoy zhurnal [Siberian Forest Journal], 2018, no. 3, pp. 21–29.
[24] Kuzmichev V.V., Avdeeva E.V. *Reaktsiya listvennitsy sibirskoy (Larix sibirica Ledeb.) na tekhnogennye vozdeystviya gorodskoy sredy* [The reaction of Siberian larch (Larix sibirica Ledeb.) to the technogenic impacts of the urban environment]. Khvoynye boreal'noy zony [Coniferous boreal zone], 2007, iss. XXIV, no. 1, pp. 36–42.
[25] Muratova E.N., Karpyuk T.V., Vladimirova O.S., Sizykh O.A., Kvitko O.V. *Tsitologicheskoe izuchenie listvennitsy sibirskoy v antropogenno narushennykh rayonakh g. Krasnoyarska i ego okrestnostey* [Cytological study of Siberian larch in anthropogenically disturbed areas of Krasnoyarsk and its environs]. Vestnik ekologii, lesovedeniya i landshaftovedeniya [Bulletin of Ecology, Forest Science and Landscape Science], 2009, no. 9, pp. 99–108.
[26] Romanova L.I. *Strukturno-funktsional'nye osobennosti listvennitsy sibirskoy v zelenykh nasazhdeniyakh g. Krasnoyarska i ego okrestnostey* [Structural and functional features of Siberian larch in green spaces of Krasnoyarsk and its environs] 03.00.05. «Botany». Dis. Cand. Sci. (Biol.). Krasnoyarsk: Forest Institute named after V.N. Sukachev SO RAN, 2005, 24 p.
[27] Lovelius N.V. *Izmenchivost' prirosta derev'ev. Dendroindikatsiya prirodnykh protsessov i antropogennykh vozdeystviy* [Variation in tree growth. Dendroindication of natural processes and anthropogenic impacts]. Leningrad: Science. Leningrad branch, 1979, 232 p.
[28] Rumyantsev D.E. *Istoriya i metodologiya lesovodstvennoy dendrokhronologii* [History and methodology of silvicultural dendrochronology]. Moscow: MSFU, 2010, 109 p.
[29] Lysikov A.B., Sudnitsyna T.N. *Vliyanie rekreatsii na pochvu listvennykh nasazhdeniy Serebryanoborskogo opytnogo lesnichestva* [Influence of recreation on the soil of deciduous plantations of the Serebryanobor experimental forestry]. Lesovedenie, 2008, no. 3, pp. 47–56.
[30] Lysikov A.B. *Vliyanie rekreatsii na sostoyanie pochv v gorodskikh listvennykh lesakh* [Influence of recreation on the state of soils in urban deciduous forests]. Lesovedenie, 2011, no. 4, pp. 11–20.
[31] Rybakova N.A., Glazunov Yu.B. *Vliyanie avtotransportnogo zagryazneniya na rost lesnykh kul'tur listvennitsy evropeyskoy* [Influence of road pollution on the growth of European larch forest crops]. Lesotekhnicheskiy zhurnal [Forestry Engineering Journal], 2020, v. 10, no. 2(38), pp. 70–80.
[32] Rybakova N.A., Glazunov Yu.B. *Rost kul'tur listvennitsy evropeyskoy v zone vliyaniya Moskovskoy kol'tsevoy avtodorogi* (*MKAD*) [Growth of larix decidua forest culture in influenced by Moscow ring road]. Lesnoy vestnik / Forestry Bulletin, 2019, vol. 23, no. 5, pp. 54–61. DOI: 10.18698/2542-1468-2019-5-54-61

Authors' information

Rybakova Natalia Alekseevna✉ — Cand. Sci. (Agriculture), Senior Researcher, Institute of Forestry Russian Academy of Sciences, 1986620@gmail.com

Glazunov Yuri Borisovich — Cand. Sci. (Agriculture), Leading Researcher, Institute of Forestry Russian Academy of Sciences, yu.b.glazunov@mail.ru

Received 09.12.2022.
Approved after review 24.03.2023.
Accepted for publication 25.05.2023.

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

УДК 630.182
DOI: 10.18698/2542-1468-2023-4-14-22
Шифр ВАК 4.1.2

ВЛИЯНИЕ ДРЕВОСТОЯ НА ФИТОМАССУ И ВИДОВОЕ РАЗНООБРАЗИЕ ТРАВЯНО-КУСТАРНИЧКОВОГО ЯРУСА В ГОРНЫХ ЛЕСАХ ЮЖНОГО УРАЛА

Н.С. Иванова

ФГБУН Ботанический сад Уральского отделения Российской академии наук (Ботанический сад УрО РАН), Россия, 620144, г. Екатеринбург, ул. 8 Марта, д. 202а

i.n.s@bk.ru

Проведено исследование влияния состава и возраста древостоя условно-коренных и производных лесов на фитомассу и видовое разнообразие травяно-кустарничкового яруса в наиболее распространенном типе леса западных низкогорий Южного Урала ельниках мелкотравно-зеленомошных. Установлено, что все исследованные критерии: видовое богатство фитоценоза, фитомасса травяно-кустарничкового яруса и биоразнообразие, оцененное на основе индексов Шеннона, Пиелу, Симпсона проявляют высокую чувствительность к возрасту и составу древостоя. Выявлено, что разработанные нами графические модели могут быть использованы для совмещения с данными лесоустройства с целью получения широкомасштабных данных о фитомассе и биоразнообразии подчиненных ярусов условно-коренных и производных лесов в типе леса ельники мелкотравно-зеленомошные западных низкогорий Южного Урала.
Ключевые слова: Южный Урал, горные леса, фитомасса, индексы разнообразия

Ссылка для цитирования: Иванова Н.С. Влияние древостоя на фитомассу и видовое разнообразие травяно-кустарничкового яруса в горных лесах Южного Урала // Лесной вестник / Forestry Bulletin, 2023. Т. 27. № 4. С. 14–22. DOI: 10.18698/2542-1468-2023-4-14-22

Для понимания ресурсного потенциала лесной растительности и его регионального и глобального значения, в том числе для смягчения последствий потепления климата и сохранения водных ресурсов, необходимы углубленные исследования структуры, биоразнообразия, продуктивности и динамики лесной растительности. Данное направление исследований относится к приоритетным для лесной экологии и лесоведения во многих странах [1–5], в том числе и Российской Федерации [6, 7].

Стремительно развивающиеся методы дистанционного зондирования Земли способствуют получению непрерывного потока информации о структуре древесного яруса лесонасаждений на больших площадях. При этом естественное возобновление древесных растений, подлесок, травяно-кустарничковый ярус остаются по-прежнему недостаточно изученными [6, 8]. Конкуренция всходов древесных растений с травяно-кустарничковым ярусом во многом определяет успех естественного возобновления древесных растений под пологом леса [9–11], а от интенсивности развития трав на вырубках и гарях может зависеть не только густота подроста древесных растений, но и направление восстановительных сукцессий [12, 13].

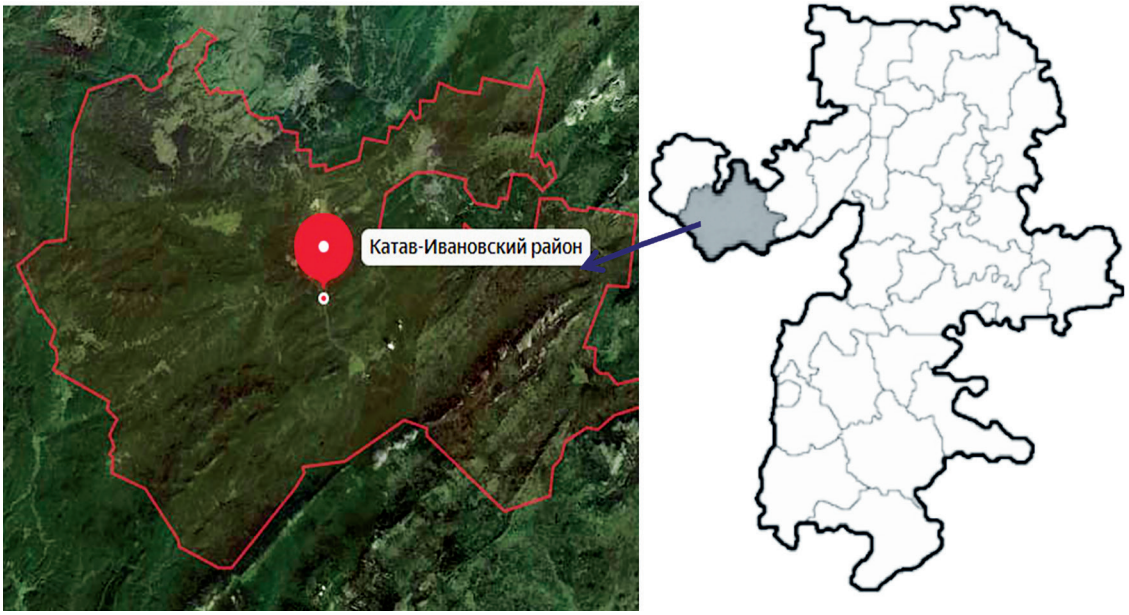
Видовое разнообразие таежных фитоценозов также во многом зависит от подчиненных ярусов, которые характеризуется существенно большим (по сравнению с древостоем) видовым разнообразием [10, 11, 14]. Подчиненные ярусы проявляют высокую чувствительность к внешним нарушениям (как естественным, так и антропогенным) и могут служить индикатором лесной деградации и лесовосстановления [14, 15], предоставить важную информацию о структуре и устойчивости лесных фитоценозов, в том числе о характере землепользования в прошлом [10, 16].

Подпологовая растительность вносит значимый вклад в лесную фитомассу и депонирование углерода [17], хотя существенно зависит от древостоя, поэтому для прогнозных моделей динамики лесной растительности и сохранения биоразнообразия необходима точная и достоверная информация о региональных и лесотипологических особенностях взаимосвязей древостоя и подчиненных ярусов [8, 10, 11, 18]. В связи с этим исследования по данной проблеме относятся к актуальным.

Леса Урала являются важным компонентом лесной зоны Северного полушария и признаны важными стабилизаторами климата [19]. Однако в течение почти 300 лет уральские леса подвергаются интенсивному лесопользованию. Климаксовые и близкие к ним леса сохранились только на особо охраняемых природных территориях.

На Южном Урале проводятся масштабные исследования растительности по различным направлениям. Геоботанические исследования выполнены Л.Н. Тюлиной [20], П.Л. Горчаковским [21],

© Автор(ы), 2023



а *б*

Рис. 1. Район исследований (*а*) на карте Челябинской области (*б*)
Fig. 1. Study area (*а*) on the map of the Chelyabinsk Region (*б*)

М.И. Котовым [22], В.Б. Мартыненко, А.И. Соломещ, Т.В. Жирновой, П.С. Широких, Н.И. Федоровым [15, 23, 24]. По лесоводственному направлению работали И.И. Левицкий и А.В. Письмеров [25], Е.М. Фильрозе [26–28], Г.В. Андреев [29, 30], Ю.П. Горичев, А.Н. Давыдычев, А.Ю. Кулагин [31], Б.Ф. Окишев [32]. Ввиду чрезвычайного разнообразия, динамичности и поливариантности развития лесных экосистем до конца не изучены механизмы поддержания уровня биоразнообразия, устойчивости и тенденции динамики. По-прежнему ощущается недостаток информации о взаимосвязях древостоя и подчиненных ярусов, корреляции их динамики в процессе дигрессивных и восстановительных смен.

Цель работы

Цель работы — исследование влияния состава и возраста древостоя условно-коренных и производных лесов на фитомассу и видового разнообразия травяно-кустарничкового яруса в наиболее распространенном типе леса западных низкогорий Южного Урала — ельниках мелкотравно-зеленомошных.

Объекты и методы

Методической основой выбраны генетическая лесная типология [33], метод пробных площадей и общепринятые методики лесогеоботанических и почвенных исследований [34]. В целях классификации объектов использованы схемы типов леса, составленные согласно принципам генетической лесной типологии [26, 27].

Изучение южно-уральских лесов начато в 1991 г. и является продолжением многолетних лесотипологических исследований Е.М. Фильрозе [26, 27]. В настоящее время район исследований расширен на регионы Среднего и Северного Урала, где по аналогичным методикам исследуются лесотипологические особенности структуры, биоразнообразия и динамики лесных фитоценозов. Широкомасштабные многолетние исследования позволят выполнить сравнительный анализ между регионами и типами леса. В настоящей статье рассматривается один тип — леса Южного Урала. Исследования проведены в западных низкогорьях Южного Урала в пределах Челябинской обл., а также на территории бывшего Челябинского областного бюджетного учреждения (ЧОБУ) «Катав-Ивановское лесничество» (рис. 1).

Объектом исследования служил наиболее распространенный и продуктивный тип леса ельники мелкотравно-зеленомошные на нижних частях пологих склонов с мощными дренированными бурыми горно-лесными почвами. Всего заложено 35 пробных площадей (ПП) в субкоренных ельниках, послерубочных пихтарниках, березняках и осинниках (коротко-, длительно- и устойчиво-производных) различного состава и возраста. Размер пробных площадей подбирался таким образом, чтобы на них произрастало не менее 200 деревьев основного поколения преобладающего лесообразователя и в большинстве случаев составлял 0,5 га. Каждая из ПП разбита на четыре секции для объективной оценки показателей подчиненных ярусов.

$$H = -\sum_{i=1}^{S} p_i \cdot \ln p_i$$

Индекс Шеннона

$$e = \frac{H}{\ln S}$$

Индекс выравненности Пиелу

$$C = \sum_{i=1}^{S} p_i^2$$

Индекс Симпсона

Рис. 2. Индексы разнообразия: N — общая фитомасса травяно-кустарничкового яруса; S — количество видов травяно-кустарничкового яруса, p_i — относительное обилие

Fig. 2. Indices of diversity: N — total phytomass of grass and shrub layer; S — number of species of grass and shrub layer; p_i — relative abundance

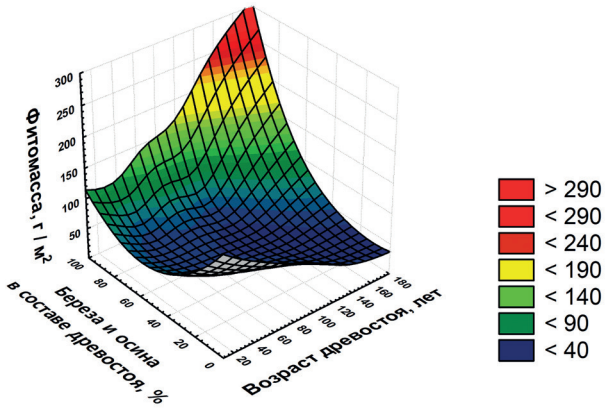


Рис. 3. Зависимость фитомассы травяно-кустарничкового яруса от возраста и состава древостоя

Fig. 3. Dependence of the phytomass of herbaceous-shrubby layer on the age and composition of growing stock

Древостой, естественное возобновление древесных растений, травяно-кустарничковый ярус изучались по апробированным методикам [34, 35]. На ПП древостой исследован Г.В. Андреевым [29, 30]. Материалы исследования древостоя и подроста древесных растений изложены в более ранних совместных публикациях [36–38]. Для определения видовой насыщенности и фитомассы в каждой секции была заложена серия из 15…20 учетных площадок размером 1×1 м, расположенных двумя параллельными рядами. Для определения фитомассы все произрастающие на учетных площадках растения срезались на уровне почвы. Укосы трав разбирались по видовой принадлежности и высушивались до абсолютно сухого состояния (до постоянной массы) при температуре 105 °С. Для уточнения видовой принадлежности растений был использован гербарий Ботанического сада УрО РАН. В наиболее сложных случаях идентификации растений за помощью обращались к М.С. Князеву.

Для оценки видового разнообразия использовали видовое богатство фитоценоза и индексы разнообразия [39] (рис. 2), которые широко используются в современных исследованиях [40–43]. В расчете индексов разнообразия оказал помощь В.В. Евдокимов. Анализ данных выполнен с помощью программного обеспечения Statistca 6.0 [44]. Для разработки трехмерных графических моделей использовано экспоненциальное сглаживание [45].

Результаты и обсуждение

Важным и наиболее сложным для определения показателем является фитомасса. Установлено, что минимальные значения фитомассы отмечены в старовозрастных (условно-коренных) темнохвойных лесах (рис. 3). С увеличением участия лиственных древесных растений в составе древостоя фитомасса травяно-кустарничкового яруса увеличивается. Также на фитомасу данного яруса оказывает влияния возраст древостоя. Более молодые хвойно-лиственные и лиственно-хвойные леса имеют повышенную фитомассу трав и кустарничков. Темнохвойные молодняки и коротко-производные леса вне зависимости от возраста имеют близкие значения фитомассы травяно-кустарничкового яруса. Максимальных значений фитомасса трав и кустарничков достигает в старо-возрастных устойчиво-производных березняках и осинниках.

Другой важной характеристикой лесного фитоценоза является биоразнообразие, которое определяет устойчивость лесов и направление восстановительно-возрастных смен после разрушающих воздействий. Видовое разнообразие (количество видов сосудистых растений на ПП размером 0,5 га) также проявляет высокую чувствительность к возрасту и составу древесного яруса. Минимальное видовое разнообразие выявлено в условно-коренных темнохвойных лесах (рис. 4). С увеличением в составе древостоя березы и осины видовое богатство увеличивается. Этот критерий достигает максимальных значений в молодых березовых лесах с небольшим количеством хвойных древесных растений (15…35 % общего состава) (см. рис. 4). Кроме того, локальный максимум отмечен для темнохвойных лесов возрастом 100…120 лет и, вероятно, связан с восстановительно-возрастными сменами, перестройкой структуры древостоя в связи с массовым вывалом березы, сопровождаемым появлением окон в пологе древостоя и изменением однородности освещения под пологом леса. В целом темнохвойные леса всех возрастов характеризуются более низким видовым богатством, а производные березняки и осинники (как коротко-производные,

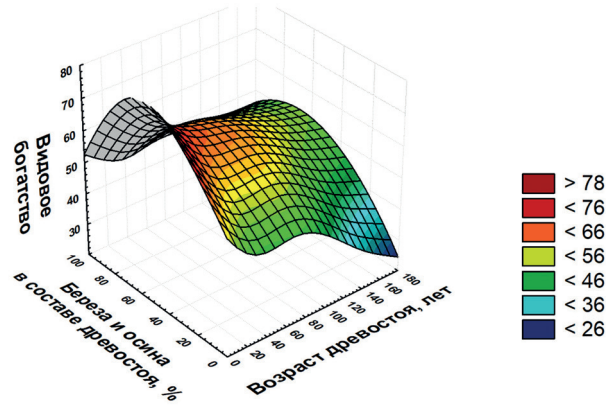


Рис. 4. Зависимость видового богатства фитоценоза от возраста и состава древостоя

Fig. 4. The dependence of the species richness of a phytocenosis on the age and composition of a stand

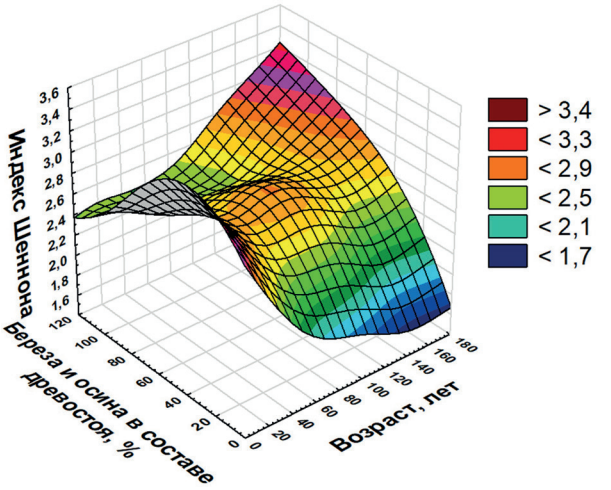


Рис. 5. Зависимость индекса Шеннона от возраста и состава древостоя

Fig. 5. The dependence of the Shannon index on the age and composition of the stand

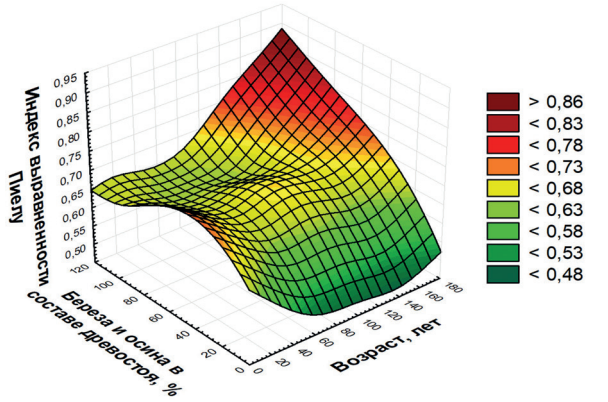


Рис. 6. Зависимость индекса Пиелу от возраста и состава древостоя

Fig. 6. The dependence of the Pielu index on the age and composition of the stand

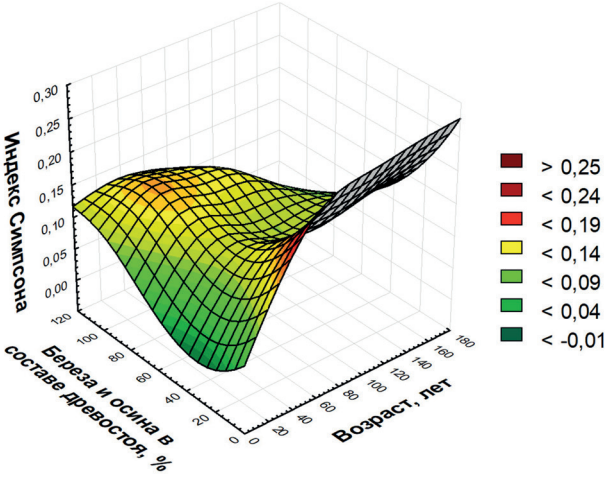


Рис. 7. Зависимость индекса Симпсона от возраста и состава древостоя

Fig. 7. Dependence of the Simpson index on age and composition of growing stock

так и длительно-производные) — повышенным. В итоге форма полученной поверхности, отражающая взаимосвязь древостоя и видового разнообразия растений, характеризуется как достаточно сложная с несколькими максимумами.

Более углубленный анализ зависимости видовой структуры подчиненных ярусов от возраста и состава древостоя проведен на основе индексов разнообразия, рассчитанных на основе значений надземной фитомассы растений в абсолютно сухом состоянии. Нами использованы три индекса разнообразия. Зависимости, полученные на основе индексов Шеннона (рис. 5) и Пиелу (рис. 6) достаточно сложные, с несколькими максимумами и минимумами. При этом по внешнему виду графики очень сходны между собой. Отметим, что интервал варьирования индекса Пиелу лежит между 0 и 1 и является нормировкой индекса Шеннона, поэтому данный индекс более удобен в интерпретации, чем индекс Шеннона. Индекс Шеннона для фитоценозов в большинстве случаев принимает значения от 1,5 до 3,5 и редко превышает 4,5. Интерпретировать результаты можно следующим образом: чем больше в фитоценозе видов и чем меньше отличается их обилие (в данном случае фитомасса), тем выше значения индексов Шеннона и Пиелу. Данные индексы в большей степени характеризуют выравненность обилия видов, чем само разнообразие. Результаты наших исследований показали, что данные индексы являются информативными для исследования взаимосвязей между древостоем и травяно-кустарничковым ярусом, а их минимальные значения отмечены в темнохвойных лесах. Локальные максимумы отмечены в хвойно-лиственных молодняках, хвойно-лиственных лесах 100…130-летнего возраста и в чистых (устойчиво-производных) березняках

и осинниках возрастом более 100 лет. Таким образом, данные индексы не только выявляют выравненность обилия видов в травяно-кустарничковом ярусе, но и индицируют стадии дигрессивных и восстановительно-возрастных смен древостоев.

Из различных мер доминирования был выбран индекс Симпсона, который является наиболее популярным у исследователей. При его расчете больше внимания уделяется обилию наиболее распространенных видов, чем редких. Данный индекс характеризует вероятность принадлежности случайно выбранных экземпляров растений к одному и тому же виду. Результаты наших исследований показали сложность зависимости между древостоем и травяно-кустарничковым ярусом на основе индекса Симпсона (рис. 7).

Минимальные значения индекс Симпсона принимает в хвойно-лиственных молодняках, а также в темнохвойно-лиственных древостоях (коротко-производных) в возрасте 90…120 лет и, видимо, связан с восстановительно-возрастными сменами и перестройкой структуры древостоя. Максимальные значения индекс Симпсона принимает в средне- и старовозрастных темнохвойных лесах. Кроме того, отмечается локальный максимум в средне- и старовозрастных чистых (устойчиво-производных) березняках и осинниках. Таким образом, индекс Симпсона не только выявляет степень доминирования в травяно-кустарничковом ярусе, но также индицирует стадии дигрессивных и восстановительно-возрастных смен древостоев.

Выводы

Исследования, проведенные в наиболее распространенном типе леса западных низкогорий — на Южном Урале, подтвердили нашу нулевую гипотезу о возможности моделирования фитомассы и видового разнообразия травяно-кустарничкового яруса по структуре древостоя. Все исследованные критерии: видовое богатство фитоценоза, фитомасса травяно-кустарничкового яруса, биоразнообразие, оцененное на основе индексов Шеннона, Пиелу и Симпсона проявили высокую чувствительность к возрасту и составу древостоя. Разработанные нами графические модели можно использовать для совмещения с данными лесоустройства в целях получения широкомасштабных данных о фитомассе и биоразнообразии травяно-кустарничкового яруса условно-коренных и производных лесов в типе леса ельники мелкотравно-зеленомошные в западных низкогорьях Южного Урала. Для расширения области применения разработанных моделей планируется проведение дополнительных исследований для других типов леса Урала.

Работа выполнена в рамках государственного задания Федерального государственного бюджетного учреждения науки Ботанический сад УрО РАН.

Список литературы

[1] Bonan G.B. Forests and climate change: Forcings, feedbacks, and the climate benefits of forests // Science, 2008, v. 320(5882), p. 1444–1449. https://doi.org/10.1126/science.1155121

[2] Albrich K., Rammer W., Seidl R. Climate change causes critical transitions and irreversible alterations of mountain forests // Global Change Biology, 2020, no. 26(7), pp. 4013–4027. https://doi.org/10.1111/gcb.15118

[3] Williams C.A., Gu H., Jiao T. Climate impacts of U.S. forest loss span net warming to net cooling // Science Advances, 2021, no. *7*(7). https://doi.org/10.1126/sciadv.aax8859

[4] Lawrence D., Coe M., Walker W., Verchot L., Vandecar K. The Unseen Effects of Deforestation: Biophysical Effects on Climate // Frontiers in Forests and Global Change, 2022, no. 5. https://doi.org/10.3389/ffgc.2022.756115

[5] Yonghong S., Fandi L., Gaofeng Z., Zhang K., Qi Z. The biophysical climate mitigation potential of riparian forest ecosystems in arid Northwest China // Science of the Total Environment, 2023, no. 862. https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2022.160856

[6] Усольцев В.А. Биоразнообразие и биопродуктивность лесов в контексте климатогенной биогеографии // Эко-потенциал, 2019. № 1 (25). С. 48–115.

[7] Ivanova N., Fomin V, Kusbach A. Experience of Forest Ecological Classification in Assessment of Vegetation Dynamics // Sustainability, 2022, v. 14, no. 6, pp. 3384. https://doi.org/10.3390/su14063384

[8] Liang W., Wei X. Relationships between ecosystems above and below ground including forest structure, herb diversity and soil properties in the mountainous area of Northern China // Global Ecology and Conservation, 2020, no. 24. https://doi.org/10.1016/j.gecco.2020.e01228

[9] Санникова Н.С., Санников С.Н., Петрова И.В., Мищихина Ю.Д., Черепанова О.Е. Факторы древостоя-эдификатора: количественный анализ и синтез // Экология, 2012. № 6. С. 1–7.

[10] Gilliam F.S. The ecological significance of the herbaceous layer in temperate forest ecosystems // BioScience, 2007. https://doi.org/10.1641/B571007

[11] Иванова Н.С. Лесотипологические особенности биоразнообразия и восстановительно-возрастной динамики растительности горных лесов Южного и Среднего Урала: дис. ... д-ра биол. наук 06.03.02. Екатеринбург, 2019. 304 с.

[12] Ivanova N.S., Zolotova E.S. Model of Forest Restoration // Population Dynamics: Analysis, Modelling, Forecast, 2013, no. 2(2), pp. 50–60.

[13] Ivanova N.S. Recovery of Tree Stand After Clear–cutting in the Ural Mountains // International J. of Bio–resource and Stress Management, 2014, v. 5 (1), pp. 90–92.

[14] Широких П.С., Мартыненко В.Б., Бикбаев И.Г., Наумова Л.Г., Баишева Э.З. Восстановительные сукцессии на вырубках темнохвойно-широколиственных лесов Южного Урала // Естественные и технические науки, 2019. № 11 (137). С. 192–197.

[15] Zolotova E., Ivanova N., Ivanova S. Global Overview of Modern Research Based on Ellenberg Indicator Values // Diversity, 2023, no. 15, p. 14. https://doi.org/10.3390/d15010014

[16] Zhigunova S.N., Martynenko V.B., Fedorov N.I., Shendel G.V. The influence of climatic and topographic parameters on the distribution of forest communities of the Ufa plateau // IOP Conference Series: Earth and Environmental Science. 6, Politics, Industry, Science, Education. Сер. «VI All-Russian Science and Technology Conference: Forests of Russia: Politics, Industry, Science, Education, FR 2021» 2021. p. 012085. DOI 10.1088/1755-1315/876/1/012085

[17] Gonzalez M., Augusto L., Gallet-Budynek A., Xue J., Yauschew-Raguenes N., Guyon D., Bakker M.R. Contribution of understory species to total ecosystem aboveground and belowground biomass in temperate *Pinus pinaster* Ait. Forests // Forest Ecology and Management, 2013, no. 289, pp. 38–47. https://doi.org/10.1016/j.foreco.2012.10.026

[18] Marefat S., Rad J. E., Khanalizadeh A. Effects of mixed beech and hornbeam stands on soil properties and plant species diversity indices in hyrcanian forests of Iran // Madera y Bosques, 2020, no. 26(3), pp. 1–14. https://doi.org/10.21829/myb.2020.2632015

[19] Maiti R., Rodriguez H., Ivanova N. Autoecology and ecophysiology of woody shrubs and trees: concepts and applications // John Wiley & Sons, Ltd., 2016, 355 p.

[20] Тюлина Л.Н. Материалы по высокогорной растительности // Изв. Гос. геогр. об-ва, 1931. Т. 63. Вып. 5–6. С. 455–492.

[21] Горчаковский П.Л. Растительность // Урал и Приуралье. М.: Наука, 1968. С. 211–268.

[22] Котов М.И. Ботанико-географический очерк гор Зигальга и Машак на Южном Урале // Материалы по классификации растительности Урала: тез. докл. на совещ. Свердловск, 1959. С. 59–61.

[23] Мартыненко В.Б., Соломещ А.И., Жирнова Т.В. Леса Башкирского государственного природного заповедника: синтаксономия и природоохранная значимость. Уфа: Гилем, 2003. 203 с.

[24] Широких П.С., Мартыненко В.Б., Баишева Э.З., Бикбаев И.Г. Динамика растительности на вырубках южно-уральского региона: основные итоги исследований уфимской геоботанической школы // Фиторазнообразие Восточной Европы, 2018. Т. 12. № 3. С. 17–30.

[25] Левицкий И.И., Письмеров А.В. Характеристика основных типов елово-пихтовых лесов Уфимского плато // Лесной журнал, 1963. № 5. С. 33–36.

[26] Фильрозе Е.М. Природные особенности и система хозяйства в горных лесах Южного Урала // Леса Урала и хозяйство в них, 1968. Вып. 2. С. 43–47.

[27] Фильрозе Е.М. Схема генетической классификации типов леса Южного Урала // Эколого-географические и генетические принципы изучения лесов. Свердловск: Изд-во УНЦ АН СССР, 1983. С. 53–60.

[28] Фильрозе Е.М. Гладушко Г.М. Экологический анализ структуры лесных массивов в западных низкогорьях Южного Урала // Роль экологических факторов в лесообразовательном процессе на Урале. Свердловск. Изд-во УНЦ АН СССР, 1981. С. 65–84.

[29] Андреев Г.В. Восстановительно-возрастная динамика темнохвойных древостоев на Южном Урале (на примере северной части западного макросклона): автореф. дис. ... канд. с.-х. наук: 06.03.03. Екатеринбург, 2005. 26 с.

[30] Андреев Г.В. Структура и динамика длительно-производных березняков на Южном Урале // Вестник Бурятской государственной сельскохозяйственной академии им. В.Р. Филиппова, 2022. № 1 (66). С. 60–67.

[31] Горичев Ю.П., Давыдычев А.Н., Кулагин А.Ю. О лесообразующей роли темнохвойных пород на Южном Урале // Вестник Оренбургского государственного университета, 2017. № 12 (212). С. 48–50.

[32] Окишев Б.Ф. Возобновление ели и пихты // Возобновительные процессы в горных широколиственно-хвойных лесах. Уфа, 1981. С. 4–14.

[33] Колесников Б.П. Кедровые леса Дальнего Востока. М.; Л.: Изд–во АН СССР, 1956. 261с.

[34] Ivanova N. Research Methods of Timber-Yielding Plants (in the Example of Boreal Forests) // Biology, Productivity and Bioenergy of Timber-Yielding Plants / M.N. Heya, R. Maiti, R.F. Pournavab, A. Carrillo-Parra Springer Briefs in Plant Science. Springer, Cham. 2017, pp. 121–137.

[35] Анучин Н.П. Лесная таксация. М.: Лесн. пром-сть, 1982. 552 с.

[36] Иванова Н.С., Андреев Г.В. Естественное восстановление структуры ценопопуляций ели сибирской и пихты сибирской в темнохвойных лесах Южного Урала // Аграрный вестник Урала, 2008. № 6. С. 82–86.

[37] Иванова Н.С., Андреев Г.В. Естественное восстановление структуры ценопопуляций ели сибирской и пихты сибирской под пологом коротко-производных березняков в горах Южного Урала // Аграрный вестник Урала, 2008. № 7. С. 75–77.

[38] Иванова Н.С., Андреев Г.В. Естественное восстановление структуры ценопопуляций ели сибирской и пихты сибирской под пологом длительно-производных березняков в горах Южного Урала // Аграрный вестник Урала, 2008. № 8. С. 74–76.

[39] Hill M.O. Diversity and evenness: A unifying notation and its consequences // Ecology, 1973, no. 54, pp. 427–432. https://doi.org/10.2307/1934352

[40] Gamito S. Caution is needed when applying Margalef diversity index // Ecological Indicators, 2010, no. 10(2), pp. 550–551. https://doi.org/10.1016/j.ecolind.2009.07.006

[41] Cadena-Zamudio D.A., Flores-Garnica J.G., Lomelí-Zavala M.E., Flores-Rodríguez A.G. Does the severity of a forest fire modify the composition, diversity and structure of temperate forests in Jalisco? // Revista Chapingo, Serie Ciencias Forestales y Del Ambiente, 2022, no. 28(1), pp. 3–20. https://doi.org/10.5154/r.rchscfa.2020.12.076

[42] Hsieh T.-Y., Yang C.-J., Li F., Chiou C.-R. Numerical Ecology and Social Network Analysis of the Forest Community in the Lienhuachih Area of Taiwan // Diversity, 2023, no. 15, p. 60. https://doi.org/10.3390/d15010060

[43] Liang H., Fu T., Gao H., Li M., Liu J. Climatic and Non-Climatic Drivers of Plant Diversity along an Altitudinal Gradient in the Taihang Mountains of Northern China // Diversity, 2023, no. 15, p. 66. https://doi.org/10.3390/d15010066

[44] Халафян А.А. Statistica 6. Статистический анализ данных. М.: Бином-пресс, 2010. 528 с.

[45] Грешилов А.А., Стакун В.А., Стакун А.А. Математические методы построения прогнозов. М.: Радио и связь, 1997. 112 с.

Сведения об авторе

Иванова Наталья Сергеевна — д-р биол. наук, вед. науч. сотр., ФГБУН Ботанический сад Уральского отделения Российской академии наук (Ботанический сад УрО РАН), i.n.s@bk.ru

Поступила в редакцию 30.01.2023.
Одобрено после рецензирования 28.03.2023.
Принята к публикации 14.06.2023.

IMPACT OF STAND ON BIOMASS AND SPECIES DIVERSITY OF HERB LAYER IN MOUNTAIN FORESTS OF SOUTHERN URALS

N.S. Ivanova

Institute Botanical Garden of the Ural Branch of the Russian Academy of Sciences, 202a, 8 Marta st., 620144, Yekaterinburg, Russia

i.n.s@bk.ru

The effect of the stand composition and age of subclimax and secondary forests on the biomass and species diversity of the herb layer in the most common forest type in the western low mountains of the Southern Urals (spruce small-grass-green-moss forests) was investigated. It was found that all of the criteria investigated as species richness of plant community, biomass of herb layer, biodiversity estimated on the basis of Shannon, Pielu, Simpson indices showed high sensitivity to the age and composition of the stand. We found that the graphical models we developed can be used to combine with forest inventory data to obtain large-scale data on biomass and biodiversity of subordinate layers of subclimax and secondary forests in the shallow grass-green-mossy spruce forest type of western low mountains of the Southern Urals.
Keywords: Southern Urals, mountain forests, biomass, diversity indices

Suggested citation: Ivanova N.S. *Vliyanie drevostoya na fitomassu i vidovoe raznoobrazie travyano-kustarnichkovogo yarusa v gornykh lesakh Yuzhnogo Urala* [Impact of stand on biomass and species diversity of herb layer in mountain forests of Southern Urals]. Lesnoy vestnik / Forestry Bulletin, 2023, vol. 27, no. 4, pp. 14–22. DOI: 10.18698/2542-1468-2023-4-14-22

References

[1] Bonan G.B. Forests and climate change: Forcings, feedbacks, and the climate benefits of forests. Science, 2008, v. 320(5882), p. 1444–1449. https://doi.org/10.1126/science.1155121
[2] Albrich K., Rammer W., Seidl R. Climate change causes critical transitions and irreversible alterations of mountain forests. Global Change Biology, 2020, no. 26(7), pp. 4013–4027. https://doi.org/10.1111/gcb.15118
[3] Williams C.A., Gu H., Jiao T. Climate impacts of U.S. forest loss span net warming to net cooling. Science Advances, 2021, no. 7(7). https://doi.org/10.1126/sciadv.aax8859
[4] Lawrence D., Coe M., Walker W., Verchot L., Vandecar K. The Unseen Effects of Deforestation: Biophysical Effects on Climate. Frontiers in Forests and Global Change, 2022, no. 5. https://doi.org/10.3389/ffgc.2022.756115
[5] Yonghong S., Fandi L., Gaofeng Z., Zhang K., Qi Z. The biophysical climate mitigation potential of riparian forest ecosystems in arid Northwest China. Science of the Total Environment, 2023, no. 862. https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2022.160856
[6] Usol'tsev V.A. *Bioraznoobrazie i bioproduktivnost' lesov v kontekste klimatogennoy biogeografii* [Biodiversity and bioproductivity of forests in the context of climatogenic biogeography]. Eco-potential, 2019, no. 1 (25), pp. 48–115.
[7] Ivanova N., Fomin V, Kusbach A. Experience of Forest Ecological Classification in Assessment of Vegetation Dynamics. Sustainability, 2022, v. 14, no. 6, pp. 3384. https://doi.org/10.3390/su14063384
[8] Liang W., Wei X. Relationships between ecosystems above and below ground including forest structure, herb diversity and soil properties in the mountainous area of Northern China. Global Ecology and Conservation, 2020, no. 24. https://doi.org/10.1016/j.gecco.2020.e01228
[9] Sannikova N.S., Sannikov S.N., Petrova I.V., Mishchikhina Yu.D., *Cherepanova O.E. Faktory drevostoya-edifikatora: kolichestvennyy analiz i sintez* [Tree stand-edifier factors: quantitative analysis and synthesis]. Ekologiya [Ecology], 2012, no. 6, pp. 1–7.
[10] Gilliam F.S. The ecological significance of the herbaceous layer in temperate forest ecosystems. BioScience, 2007. https://doi.org/10.1641/B571007
[11] Ivanova N.S. *Lesotipologicheskie osobennosti bioraznoobraziya i vosstanovitel'no-vozrastnoy dinamiki rastitel'nosti gornykh lesov Yuzhnogo i Srednego Urala* [Forest typological features of biodiversity and restoration-age dynamics of vegetation of mountain forests of the Southern and Middle Urals]. Dis. Dr. Sci. (Biol.) 06.03.02. Yekaterinburg, 2019, 304 p.
[12] Ivanova N.S., Zolotova E.S. Model of Forest Restoration // Population Dynamics: Analysis, Modelling, Forecast, 2013, no. 2(2), pp. 50–60.
[13] Ivanova N.S. Recovery of Tree Stand After Clear–cutting in the Ural Mountains. International J. of Bio–resource and Stress Management, 2014, v. 5 (1), pp. 90–92.

[14] Shirokikh P.S., Martynenko V.B., Bikbaev I.G., Naumova L.G., Baisheva E.Z. *Vosstanovitel'nye suktsessii na vyrubkakh temnokhvoyno-shirokolistvennykh lesov Yuzhnogo Urala* [Restorative successions in clearings of dark coniferous-broad-leaved forests of the Southern Urals]. Estestvennye i tekhnicheskie nauki [Natural and technical sciences], 2019, no. 11 (137), pp. 192–197.
[15] Zolotova E., Ivanova N., Ivanova S. Global Overview of Modern Research Based on Ellenberg Indicator Values. Diversity, 2023, no. 15, p. 14. https://doi.org/10.3390/d15010014
[16] Zhigunova S.N., Martynenko V.B., Fedorov N.I., Shendel G.V. The influence of climatic and topographic parameters on the distribution of forest communities of the Ufa plateau. IOP Conference Series: Earth and Environmental Science. 6, Politics, Industry, Science, Education. Cep. «VI All-Russian Science and Technology Conference: Forests of Russia: Politics, Industry, Science, Education, FR 2021» 2021. p. 012085. DOI 10.1088/1755-1315/876/1/012085
[17] Gonzalez M., Augusto L., Gallet-Budynek A., Xue J., Yauschew-Raguenes N., Guyon D., Bakker M. R. Contribution of understory species to total ecosystem aboveground and belowground biomass in temperate *Pinus pinaster* Ait. Forests. Forest Ecology and Management, 2013, no. 289, pp. 38–47. https://doi.org/10.1016/j.foreco.2012.10.026
[18] Marefat S., Rad J. E., Khanalizadeh A. Effects of mixed beech and hornbeam stands on soil properties and plant species diversity indices in hyrcanian forests of Iran. Madera y Bosques, 2020, no. 26(3), pp. 1–14. https://doi.org/10.21829/myb.2020.2632015
[19] Maiti R., Rodriguez H., Ivanova N. Autoecology and ecophysiology of woody shrubs and trees: concepts and applications. John Wiley & Sons, Ltd., 2016, 355 p.
[20] Tyulina L.N. *Materialy po vysokogornoy rastitel'nosti* [Materials on alpine vegetation]. Izv. Gos. geogr. obshchestva [Proceedings of the State Geographical Society], 1931, t. 63, iss. 5–6, pp. 455–492.
[21] Gorchakovsky P.L. *Rastitel'nost'* [Vegetation]. Ural i Priural'e [Urals and Urals]. Moscow: Nauka, 1968, pp. 211–268.
[22] Kotov M.I. *Botaniko-geograficheskiy ocherk gor Zigal'ga i Mashak na Yuzhnom Urale* [Botanical and geographical outline of the mountains Zigalga and Mashak in the Southern Urals]. Materialy po klassifikatsii rastitel'nosti Urala [Materials on the classification of vegetation of the Urals]: abstracts of reports. Sverdlovsk, 1959, pp. 59–61.
[23] Martynenko V.B., Solomeshch A.I., Zhirnova T.V. *Lesa Bashkirskogo gosudarstvennogo prirodnogo zapovednika: sintaksonomiya i prirodookhrannaya znachimost'* [Forests of the Bashkir State Nature Reserve: syntaxonomy and conservation significance]. Ufa: Guilem, 2003, 203 p.
[24] Shirokikh P.S., Martynenko V.B., Baisheva E.Z., Bikbaev I.G. *Dinamika rastitel'nosti na vyrubkakh yuzhno-ural'skogo regiona: osnovnye itogi issledovaniy ufimskoy geobotanicheskoy shkoly* [Vegetation dynamics in the clearings of the South Ural region: the main results of the studies of the Ufa geobotanical school]. Fitoraznoobrazie Vostochnoy Evropy [Phytodiversity of Eastern Europe], 2018, v. 12, no. 3, pp. 17–30.
[25] Levitskiy I.I., Pis'merov A.V. *Kharakteristika osnovnykh tipov elovo-pikhtovykh lesov Ufimskogo plato* [Characteristics of the main types of spruce-fir forests of the Ufimsky plateau]. Lesnoy zhurnal [Forest Journal], 1963, no. 5, pp. 33–36.
[26] Fil'roze E.M. *Prirodnye osobennosti i sistema khozyaystva v gornykh lesakh Yuzhnogo Urala* [Natural features and system of economy in the mountain forests of the Southern Urals]. Lesa Urala i khozyaystvo v nikh [Forests of the Urals and the economy in them], 1968, iss. 2, pp. 43–47.
[27] Fil'roze E.M. *Skhema geneticheskoy klassifikatsii tipov lesa Yuzhnogo Urala* [Scheme of genetic classification of forest types in the Southern Urals]. Ekologo-geograficheskie i geneticheskie printsipy izucheniya lesov [Ecological-geographical and genetic principles of studying forests]. Sverdlovsk: UNTs AN SSSR, 1983, pp. 53–60.
[28] Fil'roze E.M. Gladushko G.M. *Ekologicheskiy analiz struktury lesnykh massivov v zapadnykh nizkogor'yakh Yuzhnogo Urala* [Ecological analysis of the structure of forests in the western low mountains of the Southern Urals]. Rol' ekologicheskikh faktorov v lesoobrazovatel'nom protsesse na Urale [The role of environmental factors in the forest formation process in the Urals]. Sverdlovsk: AN SSSR, 1981, pp. 65–84.
[29] Andreev G.V. *Vosstanovitel'no-vozrastnaya dinamika temnokhvoynykh drevostoev na Yuzhnom Urale (na primere severnoy chasti zapadnogo makrosklona)* [Restoration and age dynamics of dark coniferous forest stands in the Southern Urals (on the example of the northern part of the western macroslope)]. Diss. Cand. Sci. (Agric.) 06.03.03. Yekaterinburg, 2005, 26 p.
[30] Andreev G.V. *Struktura i dinamika dlitel'no-proizvodnykh bereznyakov na Yuzhnom Urale* [Structure and dynamics of long-term derivative birch forests in the Southern Urals]. Vestnik Buryatskoy gosudarstvennoy sel'skokhozyaystvennoy akademii im. V.R. Filippova [Bulletin of the Buryat State Agricultural Academy V.R. Filippova], 2022, no. 1 (66), pp. 60–67.
[31] Gorichev Yu.P., Davydychev A.N., Kulagin A.Yu. *O lesoobrazuyushchey roli temnokhvoynykh porod na Yuzhnom Urale* [On the forest-forming role of dark coniferous species in the Southern Urals]. Vestnik Orenburgskogo gosudarstvennogo universiteta [Bulletin of the Orenburg State University], 2017, no. 12 (212), pp. 48–50.
[32] Okishev B.F. *Vozobnovlenie eli i pikhty* [Renewal of spruce and fir]. Vozobnovitel'nye protsessy v gornykh shirokolistvenno-khvoynykh lesakh [Renewal processes in mountain broad-leaved-coniferous forests]. Ufa, 1981, pp. 4–14.
[33] Kolesnikov B.P. *Kedrovye lesa Dal'nego Vostoka* [Cedar forests of the Far East]. Moscow-Leningrad: Publishing House of the Academy of Sciences of the USSR, 1956, 261p.
[34] Ivanova N. Research Methods of Timber-Yielding Plants (in the Example of Boreal Forests). Biology, Productivity and Bioenergy of Timber-Yielding Plants / Heya M.N., Maiti R., Pournavab R.F., Carrillo-Parra A. Springer Briefs in Plant Science. Springer, Cham. 2017, pp. 121–137.
[35] Anuchin N.P. *Lesnaya taksatsiya* [Forest taxation]. Moscow: Lesn. prom-st′, 1982, 552 p.
[36] Ivanova N.S., Andreev G.V. *Estestvennoe vosstanovlenie struktury tsenopopulyatsiy eli sibirskoy i pikhty sibirskoy v temnokhvoynykh lesakh Yuzhnogo Urala* [Natural restoration of the structure of cenopopulations of Siberian spruce and Siberian fir in the dark coniferous forests of the Southern Urals]. Agrarnyy vestnik Urala [Agrarian Bulletin of the Urals], 2008, no. 6, pp. 82–86.
[37] Ivanova N.S., Andreev G.V. *Estestvennoe vosstanovlenie struktury tsenopopulyatsiy eli sibirskoy i pikhty sibirskoy pod pologom korotko-proizvodnykh bereznyakov v gorakh Yuzhnogo Urala* [Natural restoration of the structure of cenopopulations of Siberian spruce and Siberian fir under the canopy of short-derived birch forests in the mountains of the Southern Urals]. Agrarnyy vestnik Urala [Agrarian Bulletin of the Urals], 2008, no. 7, pp. 75–77.

[38] Ivanova N.S., Andreev G.V. *Estestvennoe vosstanovlenie struktury tsenopopulyatsiy eli sibirskoy i pikhty sibirskoy pod pologom dlitel'no-proizvodnykh bereznyakov v gorakh Yuzhnogo Urala* [Natural restoration of the structure of cenopopulations of Siberian spruce and Siberian fir under the canopy of long-term derivative birch forests in the mountains of the Southern Urals]. Agrarnyy vestnik Urala [Agrarian Bulletin of the Urals], 2008, no. 8, pp. 74–76.
[39] Hill M.O. Diversity and evenness: A unifying notation and its consequences. Ecology, 1973, no. 54, pp. 427–432. https://doi.org/10.2307/1934352
[40] Gamito S. Caution is needed when applying Margalef diversity index. Ecological Indicators, 2010, no. 10(2), pp. 550–551. https://doi.org/10.1016/j.ecolind.2009.07.006
[41] Cadena-Zamudio D.A., Flores-Garnica J.G., Lomelí-Zavala M.E., Flores-Rodríguez A.G. Does the severity of a forest fire modify the composition, diversity and structure of temperate forests in Jalisco?. Revista Chapingo, Serie Ciencias Forestales y Del Ambiente, 2022, no. 28(1), pp. 3–20. https://doi.org/10.5154/r.rchscfa.2020.12.076
[42] Hsieh T.-Y., Yang C.-J., Li F., Chiou C.-R. Numerical Ecology and Social Network Analysis of the Forest Community in the Lienhuachih Area of Taiwan. Diversity, 2023, no. 15, p. 60. https://doi.org/10.3390/d15010060
[43] Liang H., Fu T., Gao H., Li M., Liu J. Climatic and Non-Climatic Drivers of Plant Diversity along an Altitudinal Gradient in the Taihang Mountains of Northern China. Diversity, 2023, no. 15, p. 66. https://doi.org/10.3390/d15010066
[44] Khalafyan A.A. *Statistica 6. Statisticheskiy analiz dannykh* [Statistica 6. Statistical analysis of data]. Moscow: Binom-press, 2010, 528 p.
[45] Greshilov A.A., Stakun V.A., Stakun A.A. *Matematicheskie metody postroeniya prognozov* [Mathematical methods for constructing forecasts]. Moscow: Radio and communication, 1997, 112 p.

This work was performed under the state assignment of the Federal State Budgetary Scientific Institution Botanical Garden of the Ural Branch of the Russian Academy of Sciences.

Author's information

Ivanova Natal'ya Sergeevna — Dr. Sci. (Biology), Leading Researcher, Institute Botanic Garden Ural Branch of Russian Academy of Sciences, i.n.s@bk.ru

Received 30.01.2023.
Approved after review 28.03.2023.
Accepted for publication 14.06.2023.

УДК 581.95 (571.63)
DOI: 10.18698/2542-1468-2023-4-23-29
Шифр ВАК 4.1.6

НОВЫЕ ДАННЫЕ О РАСПРОСТРАНЕНИИ ТРИЛЛИУМА КОМАРОВА (*TRILLIUM KOMAROVII* (TRILLIACEAE DC.) НА СЕВЕРНОЙ ГРАНИЦЕ АРЕАЛА (ПРИМОРСКИЙ КРАЙ, РОССИЯ)

Л.А. Федина✉, С.К. Малышева, Е.Н. Репин

Федеральный научный центр биоразнообразия наземной биоты Восточной Азии Дальневосточного отделения Российской академии наук, Россия, 690022, г. Владивосток, пр-т 100-летия Владивостока, д. 159

triton.54@mail.ru

Обнаружены новые популяции редкого вида — триллиума Комарова (*Trillium komarovii* (сем. Trilliaceae)) на юге Дальнего Востока России (Приморский край). Приведено фитоценотическое и экотопическое описание шести новых локалитетов *T. komarovii*. Впервые указана находка этого растения в Чугуевском районе, что на 200 км севернее от наиболее распространенных мест произрастания *T. komarovii* в Приморском крае. Таким образом, показано, что ареал этого вида расширяется в северном направлении. Установлено, что *T. komarovii* входит в лесной флористический комплекс широколиственных и хвойно-широколиственных лесов и имеет узкий экологический статус — растет на влажных лесных почвах с большим подстилочным слоем. Выявлена очень высокая степень риска исчезновения этого вида в природе, о чем свидетельствуют немногочисленные популяции, с небольшим количеством особей в них, редко превышающим десять экземпляров. Вид включен в Красную книгу Приморского края со статусом охраны «Угрожаемый».

Ключевые слова: *Trillium komarovii*, редкий вид, новое местонахождение, декоративное растение, Красная книга, Приморский край, Россия

Ссылка для цитирования: Федина Л.А., Малышева С.К., Репин Е.Н. Новые данные о распространении триллиума Комарова (*Trillium komarovii* (Trilliaceae DC.) на северной границе ареала (Приморский край, Россия) // Лесной вестник / Forestry Bulletin, 2023. Т. 27. № 4. С. 23–29. DOI: 10.18698/2542-1468-2023-4-23-29

Триллиум Комарова (*Trillium komarovii* H. Nakai et Ko. Ito) — редкий вид семейства Trilliaceae DC., занесен в Красную книгу Приморского края со статусом охраны «Угрожаемый». Вид пока не на грани исчезновения, однако степень риска сокращения его природных популяций очень высока. В Российской Федерации вид встречается только в Приморском крае, где проходит северная граница его ареала. Основной ареал *T. komarovii* находится в Северо-Восточном Китае и на Корейском п-ове [1]. Распространен преимущественно в южных районах Приморского края — Хасанском, Надеждинском, Уссурийском, Михайловском, Шкотовском. *T. komarovii* — лесной (неморально-лесной) вид, произрастает в широколиственных (долинных ильмовниках и ясеневниках) лесах, реже встречается в хвойно-широколиственых ценозах [2, 3]. Охраняется в Уссурийском государственном природном заповеднике им. В.Л. Комарова и государственном природном заповеднике «Кедровая падь», в настоящее время входящих в состав национального парка «Земля леопарда» [4, 5].

T. komarovii — многолетнее травянистое растение высотой до 50 см. Листья длиной 12…17 см и шириной 10…16 см, неправильно ромбически-широкоовальные, с коротко заостренной верхушкой. Цветы белые диаметром до 5 см, лепестки длиной до 4 см и шириной до 2,3 см, продолговато-овальные. Декоративное поздневесенне-раннелетнее раннецветущее растение [6]. Среди лесных цветов виды рода *Trillium* L. выделяются оригинальностью, поскольку у триллиума количество почти всех частей равно трем — трехлепестковый цветок, три чашелистика, трехлистная мутовка стеблевых листьев, по три тычинки и плодолистика, трехгнездная завязь [7–9]. Теневыносливый вид, подходит для применения в ландшафтных композициях для тенистых и полутенистых мест [10–12].

Цель работы

Цель работы — изложение результатов мониторинга флористического состава лесных фитоценозов Южного Приморья в целях обнаружения местопроизрастаний редких видов растений.

Материалы и методы

Полевые работы на территории Приморского края проводились традиционным маршрутно-рекогносцировочным способом в течение вегетационных периодов 2020–2022 гг. Кроме того, проведен анализ литературных источников по теме исследования [13–18].

© Автор(ы), 2023

Рис. 1. Новые находки местообитаний триллиума Комарова (*Trillium komarovii*) в Приморском крае: *1* — окрестности с. Каймановка Уссурийского городского округа (УГО); *2* — окрестности с. Горнотаежное (УГО); *3* — окрестности с. Кондратеновка (УГО); *4* — Уссурийский заповедник, р. Аникина падь; *5* — Чугуевский район, р. Правая Соколовка; *6* — Пограничный район, р. Комиссаровка

Fig. 1. New findings of *Trillium komarovii* habitats in Primorsky Krai: *1* — the vicinity of the village of Kaymanovka of the Ussuri urban District (UGO); *2* — the vicinity of the village of Gornotaezhnoye (UGO); *3* — the vicinity of the village of Kondratenovka (UGO); *4* — the Ussuri Reserve, Anikina Pad river; *5* — Chuguevsky district, Pravaya Sokolovka river; *6* — Border district, Komissarovka river

Дополнительно проанализированы гербарные сборы, хранящиеся в ФНЦ Биоразнообразия ДВО РАН (VLA), Ботанического сада-института ДВО РАН (VBGI), Ботанического института им. В.Л. Комарова РАН (LE). Места сбора материала картировали GPS-навигатором (Garmin 60-CX). Гербарные образцы переданы в региональный гербарий ФНЦ Биоразнообразия ДВО РАН (VLA). Определение типов леса вновь обнаруженных местообитаний триллиума проводили с использованием специальных справочников [19, 20].

Результаты и обсуждение

По итогам исследований природных популяций редких видов сосудистых растений в Приморском крае обнаружены шесть новых местообитаний *T. komarovii* (рис. 1).

1. Популяция *T. komarovii* обнаружена (15.05.2022) в окрестностях с. Каймановка Уссурийского городского округа (УГО); 6 экз., из них 3 экз. — цветущие растения, выявленные в долине р. Барсуковка в хвойно-широколиственно лесу (N 43°38′19.58″ E 132°14′28.11″), *h* 37 м н. у. м.

Тип леса: К-VII — Влажный долинный кедровник.

В древесном ярусе преобладают *Pinus koraiensis* Siebold et Zucc. (кедр корейский), *Tilia amurensis* Rupr. (липа амурская), *Fraxinus mandshurica* Rupr. (ясень маньчжурский). В подросте кроме названных видов растений произрастают *Phellodendron amurense* Rupr. (бархат амурский) и *Maackia amurensis* Rupr. et Maxim. (маакия амурская).

В подлеске — преимущественно *Lonicer apraeflorens* Batal. (жимолость раннецветущая), *L. chrysantha* Turcz. Ex Ledeb. (ж. золотистая), *Ribes mandshuricum* (Maxim.) Kom. (смородина маньчжурская).

В травостое встречаются *Filipendula palmate* (Pall.) Maxim. (лабазник дланевидный), *Arisaema amurense* Maxim. (однопокровница амурская), *Achudemia japonica* Maxim. (ахудемия японская),

Urtica angustifolia Fisch. Ex Hornem. (крапива узколистная) и *Carex* sp. (осоки).

Экотоп: умеренно влажный.

Факторы, угрожающие популяции: малочисленность, рекреационная нагрузка.

2. Окрестности с. Горнотаежное (УГО), пойма ручья Кривой ключ, N 43°41′38″ E 132°10′20″, *h* 81 м н. у. м., широколиственный лес, наблюдения 19.05.2021 г. и 28.09.2022 г. Отмечено 5 экз. *T. komarovii*, из них 2 экз. цветущие (рис. 2).

Тип леса: ЯИ — Ясенево-ильмовая урема.

В первом ярусе древостоя кроме *Ulmus japonica* (Rehd.) Sarg. (ильм японский, долинный) произрастают *Fraxinus mandshurica* (ясень маньчжурский), *Juglans mandshurica* Maxim.(орех маньчжурский), *Ligustrina amurensis* Rupr. (трескун амурский), *Acer mono* Maxim. (клен мелколистный).

Во втором ярусе: *Ligustrina amurensis* (трескун амурский), *Acer barbinerve* (клен бородатый), единично встречается *A. mono* (клен мелколистный). В подлеске массово растет *Philadelphus tenuifolius* Rupr. ex Maxim. (чубушник тонколистный).

В травостое преобладают *Equisetum hyemale* L. (хвощ зимующий), *Hylomecon vernalis* Maxim. (лесной мак весенний), *Anemonoides amurensis* (Korsh.) Holub. (ветровочник амурский), *Dryopteris crassirhizoma* Nakai (щитовник толстокорневищный), *Urtica laetevirens* Maxim. (крапива светло-зеленая), *Galium davuricum* Turcz. ex Ledeb. (подмаренник даурский), *Filipendula palmata* (лабазник дланевидный), *Stellaria bungeana* Fenzl (звездчатка Бунге), *Carex dispalata* Boott (осока расходящаяся).

Экотоп: устойчиво влажный.

Факторы, угрожающие популяции: малочисленность, периодические низовые пожары.

3. Окрестности с. Кондратеновка (УГО), *T. komarovii* представлен 7 экз. (2 экз. — цветущие и 5 экз. — вегетирующие), хвойно-широколиственный лес (N 43°57′31.78″ E 132°17′44.11″), *h* 294 м н. у. м. Массовое цветение отмечено 25 мая, конец цветения 6 июня 2022 г.

Тип леса: Ч-VI — чернопихтарник долинный.

В верхнем ярусе произрастают *Abies holophylla* Maxim. (пихта цельнолистная), *Pinus koraiensis* (сосна корейская), *Fraxinus mandshurica* (ясень маньчжурский), *Tilia amurensis* (липа амурская), *Quercus mongolica* Fisch. ex Ledeb. (дуб монгольский), *Populus koreana* Rehd. (тополь корейский).

Во втором ярусе леса обычны *Micromeles alnifolia* (Siebold et Zucc.) Koehne (мелкоплодник ольхолистный), *Padus avium* Miil. (черемуха обыкновенная), *Acer ukurunduense* Trautv. et Mey. (клен укурунду, желтый).

В подлеске преобладают *Corylus mandshurica* Maxim. (лещина маньчжурская), *Eleutherococcus senticosus* (Rupr. et Maxim.) Maxim. (свободноягодник колючий, элеутерококк), *Aralia elata* (Miq.) Seem. (аралия высокая), *Lonicera praeflorens* (жимолость раннецветущая), *L. chrysantha* (ж. золотистая), *Ribes mandshuricum* (смородина маньчжурская), *R. maximoviczianum* Kom. (смородина Максимовича), *Acer barbinerve* Maxim. (клен бородатый), одиночно встречается *Berberis amurensis* Maxim. (барбарис амурский).

Рис. 2. Триллиум Комарова (*Trillium komarovii*) в долинном ильмовнике (окрестности с. Горнотаежное, УГО)
Fig. 2. *Trillium komarovii* in the valley elm forest (vicinity of the village of Gornotaezhnoye, UUD)

Основу травянистого покрова составляют *Plagiorhegma dubia* Maxim. (косоплодник сомнительный), *Cacalia hastata* L (недоспелка, какалия копьевидная), *Caulophyllum robustum* Maxim. (стеблелист мощный), *Filipendula palmata* (лабазник дланевидный), *Leptorumohra amurensis* (Christ) Tzvel. (лепторумора амурская) и *Carex* sp. (осока).

Экотоп: умеренно влажный.

Факторы, угрожающие популяции: малочисленность, вырубка леса под строительство газопровода.

4. В Уссурийском заповеднике *T. komarovii* произрастает в долинах рек: Комаровка, Артемовка, Суворовка, Корявая падь, Аникина падь, Каменка и Комаровская падь, кедрово-широколиственные леса, ильмовники.

Необычное местопроизрастание *T. komarovii* обнаружено нами в верховьях р. Аникина падь (Шкотовский район) 24.05.2020 г.;N 43°43′31″ E 132°27′8″, *h* 462 м н. у. м.; 6 экз. *T. komarovii*, из них 4 экз. — цветущие. Данное местопроизрастание *T. komarovii* выделяется своей уникальностью — в заповеднике немного мест, где совместно растут *Syringa wolfii* C.K. Schneid. (сирень Вольфа), *Lonicera boczkarnikovae* Plekhanova (жимолость Бочкарниковой), *Symplocarpus renifolius* Schott ex Tzvel. (связноплодник почколистный); также одновременно можно встретить три вида *Lycopodium* L. (плаун) и столько же видов *Cacalia* L. (недоспелка, какалия). Как пока-

зали многолетние флористические наблюдения, в Уссурийском заповеднике чаще встречается *Panax ginseng* C.A. Mey. (женьшень), чем *Trillium komarovii*.

Тип леса: Ч-V — Чернопихтарник кленово-кедровый.

В первом ярусе леса *Abies nephrolepis* (пихта почкочешуйная), *A. holophylla* (пихта цельнолистная), *Acer mono* (клен мелколистный), *Fraxinus mandshurica* (ясень маньчжурский) и единично *Pinus koraiensis* (сосна корейская).

Второй ярус: *Tilia amurensis* (липа амурская), *Micromeles alnifolia* (мелкоплодник ольхолистный). В подросте кроме выше перечисленных видов отмечена *Betula costata* Trautv. (береза ребристая, или желтая).

Состав подлеска: *Syringa wolfii* (сирень Вольфа), *Lonicera boczkarnikovae* (жимолость Бочкарниковой), *L. edulis* Turcz. ex Freyn (жимолость съедобная).

В травянистом ярусе преобладают плауны *Lycopodium annotinum* L. (плаун годичный), *L. juniperoideum* Sw. (п. можжевельниковый), *L. obscurum* L (п. темный); *Cacalia auriculata* DC. (недоспелка, какалия ушастая), *C. hastata* L. (н. копьевидная), *C. praetermissa* (Pojrk.) Pojrk. (н. пропущенная); единичные особи *Symplocarpus renifolius* (связоплодник почколистный).

Экотоп: устойчиво влажный.

Факторы, угрожающие популяции: малочисленность.

5. В Чугуевском районе *T. komarovii* был найден 30.05.2021 г., недалеко от Верхнеуссурийского стационара, р. Правая Соколовка (N 44°01´35″ E 134°12´59″), *h* 614 м н. у. м., хвойно-широколиственный лес; 8 экз. *T. komarovii* находились в разном возрастном состоянии, 4 экз. — цветущие.

Тип леса: ПЕ — Пихтово-еловый долинный.

Первый ярус включает в себя *Picea ajanensis* (Lindl. et Gord.) Fisch. ex Carr. (ель аянская), *Abies holophylla* (пихта цельнолистная), *A. nephrolepis* (Trautv.) Maxim. (пихта почкочешуйная).

Во втором ярусе присутствуют *Alnus hirsuta* (Spach) Fisch. ex Rupr. (ольха волосистая), *Ulmus laciniata* Mayr (ильм горный), *Salix caprea* L. (ива козья) и *Salix taraikensis* Kimura (ива тарайкинская).

В подросте кроме названных пород первого яруса присутствуют *Pinus koraiensis* (сосна корейская), *Fraxinus mandshurica* (ясень маньчжурский).

Подлесок разнообразен по составу и представлен кустарниками: *Sambucs coreana* (Nakai) Kom. et Aliss. (бузина корейская), *Rhamnus davurica* Pall. (жестер даурский), *Philadelphus tenuifolius* (чубушник тонколистный), *Eleutherococcus sessiliflorum* (свободноягодник сидячецветковый), *Ligustrina amurensis* (трескун амурский, кустарниковая форма) и лиана *Schisandra chinensis* (Turcz.) Baill. (лимонник китайский).

Травяной покров хорошо развит, проективное покрытие составляет до 70 %. Совместно с триллиумом произрастают *Stellaria longifolia* Muehl. ex Willd. (звездчатка длиннолистная), *Cacalia auriculata* DC. (недоспелка ушастая), *Caltha silvestris* Worosch. (калужница лесная), *Urtica angustifolia* (крапива узколистная) и др.

Экотоп: периодически влажный.

Факторы, угрожающие популяции: малочисленность, заготовка леса.

6. В Пограничном районе в верховьях р. Комиссаровка (ключ Синий) *T. komarovii* был обнаружен 26.07.2021 г., N 44°50´39″ E 130°58´23″, *h* 581 м н. у. м., широколиственный лес, 12 экз. *T. komarovii,* из них 10 экз. — плодоносящие.

Тип леса: ИЛп — Ильмовник липовый.

В первом ярусе преобладают *Ulmus japonica* (ильм японский), *Acer mono* (клен мелколистный), *Populus maximowiczii* A. Henry (тополь Максимовича).

Во втором ярусе *Ligustrina amurensis* (трескун амурский), *Padus avium* (черемуха обыкновенная).

В подросте кроме приведенных выше видов присутствовали *Pinus koraiensis* (сосна корейская), *Fraxinus mandshurica* (ясень маньчжурский), *Tilia amurensis* (липа амурская). В подлеске произрастают преимущественно *Sorbaria sorbifolia* (L.) A. Br. (рябинник обыкновенный), *Eleutherococcus senticosus* (свободноягодник колючий), *Euonymus sacrosancta* Koidz. (бересклет священный), *E. sacrosancta* Koidz. (б. малоцветковый), *Lonicera praeflorens* (жимолость раннецветущая), *L. chrysantha* (ж. золотистая), *Ribes mandshuricum* (смородина маньчжурская).

Проективное покрытие трав составляет до 70…80 %, где преобладают *Lamium barbatum* Siebold e Zucc. (яснотка бородатая), *Thalictrum filamentosum* Maxim. (василистник тычиночный), *Carex uda* Maxim. (осока мочажинная).

Экотоп: периодически влажный.

Факторы, угрожающие популяции: малочисленность.

Выводы

По результатам флористических исследований для территории Приморского края приводятся шесть ранее неизвестных местопроизрастаний редкого декоративного вида *Trillium komarovii*. Впервые приведены данные о местонахождении *T. komarovii* в Чугуевском районе Приморского края. Данная находка значительно расширяет границы ареала этого вида на северо-восток Приморского края. Анализ экологических условий произрастания показал, что *T. komarovii* имеет

узкую фитоценотическую приуроченность, растет в относительно влажных или устойчиво влажных низинных, пойменных лесных ассоциациях. Представленные данные по распространению *T. komarovii* в Приморском крае актуальны для внесения их в новую редакцию Красной книги Приморского края. Для сохранения популяции *T. komarovii* на юге Дальнего Востока необходим дальнейший мониторинг найденных мест произрастания (локалитетов) этого редкого растения. Факторами, угрожающими существованию популяций *T. komarovii* являются следующие: малочисленность, антропогенное нарушение естественной среды обитания (вырубка леса, рекреационные нагрузки), пирогенное воздействие. В целях сохранения этого редкого вида рекомендуем введение *Trillium komarovii* в культуру как высоко декоративного ранневесеннего растения.

Работа выполнена в рамках государственного задания Министерства науки и высшего образования Российской Федерации (тема № 121031000120-9).

Список литературы

[1] Красная книга Приморского края: Растения. Редкие и находящиеся под угрозой исчезновения виды растений и грибов. Владивосток: Апельсин, 2008. 688 с.
[2] Kozhevnikov A. E., Kozhevnikova Z. V., Kwak M., Lee B. Y. Illustrated flora of the Primorsky Territory (Russian Far East) // Incheon: Nat. Inst. Biol. Res., 2019, 1124 p.
[3] Korznikov K.A., Verkholat V.P., Krestov P.V. Forests of Japanese alder in the Russian Far East: the new association of the class Alnetea japonicae (Miyawaki et al. 1977) // Botanica Pacifica: A J. of Plants Science and Conservation, 2021, v. 10, no. 1, pp. 53–60.
[4] Федина Л.А. Дополнения к флоре Уссурийского заповедника (Приморский край, Россия) за десять лет (2007–2016) // Комаровские чтения, 2017. Вып. LXV. С. 55–59.
[5] Коркишко Р.И. Сосудистые растения заповедника «Кедровая падь» // Флора и фауна заповедников, 2000. Вып. 82. 84 с.
[6] Колдаева М.Н., Нестерова С.В., Пшенникова Л.М. 100 мгновений весны. Владивосток: Изд-во МГУ, 2013. 254 с.
[7] Нечаев А.П. Зеленые стрелы. Рассказы амурского ботаника. Хабаровск: Издательский дом «Приамурские ведомости», 2009. 256 с.
[8] Коляда А.С., Ключников Д.А., Белов А.Н. Удивительные растения Приморского края. Владивосток: ДВФУ, 2021. 136 с.
[9] Соколов Д.Д. Эволюционная морфология цветка и проблема больших данных // Природа, 2018. № 5 (1233). С. 3–11.
[10] Озеленение городов Приморского края. Владивосток: Изд-во ДВО АН СССР, 1987. 516 с.
[11] Смирнов А.А. Охраняемые виды растений в парке культуры и отдыха им. Ю.А. Гагарина города Южно-Сахалинска // Вестник Сахалинского музея, 2011. № 1 (18). С. 400–409.
[12] Хохлачева Ю.А. Теневой сад: история, современное состояние // Цветоводство: история, теория, практика: матер. Междунар. науч. конф, Санкт-Петербург, 7–13 сентября. СПб.: Изд-во СПб.ГЭУ, 2019. С. 157–160.
[13] Комаров В.Л. Флора Маньчжурии. Т. 3. Санкт-Петербург,1907. 917 с.
[14] Комаров В.Л. Типы растительности Южно-Уссурийского края // Труды почвенно-ботанических экспедиций по исследованию колонизационных районов Азиатской России. Ч. 2. Ботанические исследования 1913 г. Петроград, 1917. 296 с.
[15] Баркалов В.Ю. Семейство Триллиевые DC. // Сосудистые растения Советского Дальнего Востока, 1988. Т. 3. С. 169–174.
[16] Флора, растительность и микобиота заповедника «Уссурийский». Владивосток: Дальнаука, 2006. 300 с.
[17] Кожевников А.Е., Кожевникова З.В. Таксономический состав и особенности флоры государственный природных заповедников Приморского края // Комаровские чтения. Вып. LIX, 2012. С. 76–126.
[18] Пименова Е.А., Баркалов В.Ю., Колдаева М.Н., Нестерова С.В., Петруненко Е.А., Калинкина В.А., Крестов П.В. Редкие виды сосудистых растений на территории национального парка «Земля леопарда» (Приморский край, Россия) // Turczaninowia, 2016. Т. 19. № 2. С. 19–33
[19] Справочник лесоустроителя Дальнего Востока. Дальневосточное лесоустроительное предприятие Всесоюзного объединения «Леспроект». Хабаровск, 1973. 226 с.
[20] Справочник для таксации лесов Дальнего Востока / под ред. В.Н. Корякина. Хабаровск: ДальНИИЛХ, 1990. 526 с.

Сведения об авторах

Федина Любовь Александровна✉ — канд. биол. наук, ст. науч. сотр. лаборатории дендрологии, ФГБУН «Федеральный научный центр биоразнообразия наземной биоты Восточной Азии» Дальневосточного отделения Российской академии наук (ФНЦ Биоразнообразия ДВО РАН), triton.54@mail.ru

Малышева Светлана Константиновна — канд. биол. наук, ст. науч. сотр. лаборатории дендрологии, ФГБУН «Федеральный научный центр биоразнообразия наземной биоты Восточной Азии» Дальневосточного отделения Российской академии наук (ФНЦ Биоразнообразия ДВО РАН), malyshsveta@rambler.ru

Репин Евгений Николаевич — канд. биол. наук, доцент, ст. науч. сотр. лаборатории дендрологии, ФГБУН «Федеральный научный центр биоразнообразия наземной биоты Восточной Азии» Дальневосточного отделения Российской академии наук (ФНЦ Биоразнообразия ДВО РАН), revnik59@yandex.ru

Поступила в редакцию 16.12.2022.
Одобрено после рецензирования 21.12.2022.
Принята к публикации 25.05.2023.

NEW DATA ON *TRILLIUM KOMAROVII* (TRILLIACEAE DC.) DISTRIBUTION ON HABITAT NORTHERN BORDER (PRIMORSKY KRAI, RUSSIA)

L.A. Fedina✉,S.K. Malysheva, E.N. Repin

Federal Scientific Center for Biodiversity of Terrestrial Biota of East Asia of the Far Eastern Branch of the Russian Academy of Sciences, 159, avenue of the 100th anniversary of Vladivostok, 690022, Vladivostok, Russia

triton.54@mail.ru

New populations of such a rare species as Trillium Komarov (*Trillium komarovii* (family Trilliaceae)) have been discovered in the south of the Russian Far East (Primorsky Krai). The phytocenotic and ecotopic description of six new localities of *T. komarovii* is given. For the first time, the discovery of this plant is indicated in the Chuguevsky district, which is 200 km north of the most common habitats of *T. komarovii* in the Primorsky Territory. Thus, it is shown that the range of this species is expanding in a northerly direction. It is established that *T. komarovii* is included in the forest floristic complex of broad-leaved and coniferous-broad-leaved forests and has a narrow ecological status — it grows on moist forest soils with a large litter layer. A very high risk of extinction of this species in nature has been identified, as evidenced by a few populations, with a small number of individuals in them, rarely exceeding ten specimens. The species is included in the Red Book of Primorsky Krai with the protection status «Under extinction».
Keywords: *Trillium komarovii*, rare species, new location, ornamental plant, Red Book, Primorsky Krai, Russia

Suggested citation: Fedina L.A., Malysheva S.K., Repin E.N. *Novye dannye o rasprostranenii trilliuma Komarova (Trillium komarovii (Trilliaceae DC.) na severnoy granitse areala (Primorskiy kray, Rossiya)* [New data on *Trillium komarovii* (Trilliaceae DC.) distribution on habitat northern border (Primorsky Krai, Russia)]. Lesnoy vestnik / Forestry Bulletin, 2023, vol. 27, no. 4, pp. 23–29. DOI: 10.18698/2542-1468-2023-4-23-29

References

[1] *Krasnaya kniga Primorskogo kraya: Rasteniya. Redkie i nakhodyashchiesya pod ugrozoy ischeznoveniya vidy rasteniy i gribov* [Red Book of Primorsky Krai: Plants. Rare and endangered species of plants and fungi]. Vladivostok: Apel'sin, 2008, 688 p.
[2] Kozhevnikov A. E., Kozhevnikova Z. V., Kwak M., Lee B. Y. Illustrated flora of the Primorsky Territory (Russian Far East). Incheon: Nat. Inst. Biol. Res., 2019, 1124 p.
[3] Korznikov K.A., Verkholat V.P., Krestov P.V. Forests of Japanese alder in the Russian Far East: the new association of the class Alnetea japonicae (Miyawaki et al. 1977). Botanica Pacifica: A J. of Plants Science and Conservation, 2021, v. 10, no. 1, pp. 53–60.
[4] Fedina L.A. *Fedina L.A. Dopolneniya k flore Ussuriyskogo zapovednika (Primorskiy kray, Rossiya) za desyat' let* (*2007–2016*) [Additions to the flora of the Ussuri Reserve (Primorsky Krai, Russia) for ten years (2007–2016)]. Komarovskie chteniya [Komarovsky readings], 2017, iss. LXV, pp. 55–59.
[5] Korkishko R.I. *Sosudistye rasteniya zapovednika «Kedrovaya pad'»* [Vascular plants of the reserve «Cedar pad»]. Flora i fauna zapovednikov [Flora and fauna of reserves], 2000, iss. 82, 84 p.
[6] Koldaeva M.N., Nesterova S.V., Pshennikova L.M. *100 mgnoveniy vesny* [100 moments of spring]. Vladivostok: Izd-vo MGU, 2013, 254 p.
[7] Nechaev A.P. *Zelenye strely. Rasskazy amurskogo botanika* [Green arrows. Stories of the Amur botanist]. Khabarovsk: Izdatel'skiy dom «Priamurskie vedomosti», 2009, 256 p.
[8] Kolyada A.S., Klyuchnikov D.A., Belov A.N. *Udivitel'nye rasteniya Primorskogo kraya* [Amazing plants of Primorsky Krai]. Vladivostok: DVFU, 2021, 136 p.
[9] Sokolov D.D. *Evolyutsionnaya morfologiya tsvetka i problema bol'shikh dannykh* [The evolutionary morphology of the flower and the big data problem]. Priroda, 2018, no. 5 (1233), pp. 3–11.
[10] *Ozelenenie gorodov Primorskogo kraya* [Landscaping of the cities of Primorsky Krai]. Vladivostok: Publishing House of the USSR Academy of Sciences, 1987, 516 p.
[11] Smirnov A.A. *Okhranyaemye vidy rasteniy v parke kul'tury i otdykha im. Yu.A. Gagarina goroda Yuzhno-Sakhalinska* [Protected plant species in the Yu.A. Gagarin Park of Culture and Recreation in Yuzhno-Sakhalinsk].Vestnik Sahalinskogo muzeya (Bulletin of the Sakhalin Museum), 2011, no. 1 (18), pp. 400–409.
[12] Khokhlacheva Yu.A. *Tenevoy sad: istoriya, sovremennoe sostoyanie* [Shadow Garden: history, current state]. Tsvetovodstvo: istoriya, teoriya,praktika: mat. mezhdunar. nauchnoy konf. St. Petersburg, 7–13 sentyabrya. St. Petersburg: SPbGAU, 2019, pp. 157–160.
[13] Komarov V.L. *Flora Man'chzhurii* [Flora of Manchuria]. St. Petersburg, 1907, v. 3, 917 p.
[14] Komarov V.L. *Komarov V.L. Tipy rastitel'nosti Yuzhno-Ussuriyskogo kraya* [Types of vegetation of the South Ussuri region]. Tr. pochv.-botan. ekspeditsiy po issledovaniyu kolonizatsionnykh rayonov Aziatskoy Rossii. Ch. 2. Botanicheskie issledovaniya 1913 g. CH. 2. Botanicheskie issledovaniya 1913 g. [Proceedings of soil-botanical expeditions for the study of the colonization regions of Asian Russia. Part 2. Botanical research 1913]. Petrograd, 1917, 296 p.
[15] Barkalov V.Yu. *Semeystvo TrillievyeDC.* [Family Trilliaceae DC.]. Sosudistye rasteniya Sovetskogo Dal'nego Vostoka [Vascular plants of the Soviet Far East], 1988, v.3, pp. 169–174.
[16] *Flora, rastitel'nost' i mikobiota zapovednika «Ussuriyskiy»* [Flora, vegetation and mycobiota of the Ussuriysky Nature Reserve]. Vladivostok: Dalnauka, 2006, 300 p.

[17] Kozhevnikov A.E., Kozhevnikova Z.V. *Taksonomicheskiy sostav i osobennosti flory gosudarstvennyy prirodnykh zapovednikov Primorskogo kraya* [Taxonomic composition and features of flora of the State nature reserves of Primorsky Krai]. Komarovskie chteniya [Komarovsky readings], 2012, iss. LIX, pp. 76–126.
[18] Pimenova E.A., Barkalov V.Yu., Koldaeva M.N., Nesterova S.V., Petrunenko E.A., Kalinkina V.A., Krestov P.V. *Redkie vidy sosudistykh rasteniy na territorii natsional'nogo parka* «*Zemlya leoparda*» (*Primorskiy kray, Rossiya*) [Rare species of vascular plants on the territory of the National Park «Land of the Leopard» (Primorsky Krai, Russia)]. Turczaninowia, 2016, v. 19, no. 2, pp. 19–33.
[19] *Spravochnik lesoustroitelya Dal'nego Vostoka. Dal'nevostochnoe lesoustroitel'noe predpriyatie Vsesoyuznogo ob'edineniya* «*Lesproekt*» [Manual of the forest planner of the Far East. Far Eastern forestry enterprise of the All-Union Association «Lesproekt»]. Khabarovsk, 1973, 226 p.
[20] *Spravochnik dlya taksacii lesov Dal'nego Vostoka* [Manual for forest taxation of the Far East. Ed. V.N. Koryakin]. Khabarovsk: DalnIILKH, 1990, 526 p.

This work was performed within the framework of the state assignment of the Ministry of Science and Higher Education of the Russian Federation (theme number 121031000120-9).

Authors' information

Fedina Lyubov' Aleksandrovna✉ — Cand. Sci. (Biology), Senior Researcher at the Laboratory of Dendrology, Federal Scientific Center for Biodiversity of Terrestrial Biota of East Asia, FEB RAS, triton.54@mail.ru

Malysheva Svetlana Konstantinovna — Cand. Sci. (Biology), Senior Researcher at the Laboratory of Dendrology, Federal Scientific Center for Biodiversity of Terrestrial Biota of East Asia, FEB RAS, malyshsveta@rambler.ru

Repin Evgeniy Nikolaevich — Cand. Sci. (Biology), Associate Professor, Senior Researcher at the Laboratory of Dendrology, Federal Scientific Center for Biodiversity of Terrestrial Biota of East Asia FEB RAS, revnik59@yandex.ru

Received 16.12.2022.
Approved after review 21.12.2022.
Accepted for publication 25.05.2023.

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

УДК 630*165.4:016
DOI: 10.18698/2542-1468-2023-4-30-35
Шифр ВАК 4.1.2

ОЦЕНКА КАЧЕСТВЕННЫХ ПРИЗНАКОВ ДРЕВЕСИНЫ В СЕЛЕКЦИОННЫХ ПРОГРАММАХ (КРАТКИЙ ОБЗОР СОВРЕМЕННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ)

А.Л. Федорков

ФГБУН Институт биологии ФИЦ Коми научного центра Уральского отделения РАН, Россия, 167982, г. Сыктывкар, ул. Коммунистическая, д. 28

fedorkov@ib.komisc.ru

Представлен обзор современной зарубежной литературы по оценке качественных признаков древесины в селекционных программах. Кратко изложены способы определения плотности древесины с помощью пенетрометра (рабочее название Pilodin) и резистографа различных модификаций. Проведено сравнительное исследование по определению плотности древесины сосны обыкновенной с использованием пенетрометра и резистографа, показавшее, что резистограф дает более точные оценки плотности древесины, чем пенетрометр. Охарактеризован акустический метод определения прочности — важного структурного признака древесины. Отмечена связь между деформативностью древесины и углом наклона волокон, т. е. уровнем спиралевидного отклонения волокон древесины от вертикального положения, который можно определять с помощью клиновидного измерителя, осторожно вбиваемого в ствол растущего дерева. Показано, что угол наклона микрофибрилл целлюлозы является показателем качества древесины. Кратко описан приборный комплекс с программным обеспечением (рабочее название SilviScan), основными компонентами которого являются оптический сканер клеток (определяет размеры волокон и др.), рентгенографический денситометр (профиль плотности и др.) и рентгенографический дифрактометр (микроструктурные признаки). Отмечена незначительная отрицательная взаимосвязь между ростовыми признаками деревьев и качественными признаками древесины, поэтому в ходе реализации селекционных программ рекомендуется проведение индексного отбора. Приведены примеры использования геномного отбора при селекции на качество древесины для таких древесных пород, как сосна обыкновенная, сосна скрученная, ель европейская, ель белая, ель черная и эвкалипт.

Ключевые слова: селекционные программы, древесные породы, качественные признаки древесины, микроструктура древесины

Ссылка для цитирования: 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

Повышение качества древесины является приоритетной задачей при воспроизводстве лесов [1]. Под качеством древесины обычно понимают совокупность свойств, обусловливающих ее пригодность удовлетворять потребности в соответствии с назначением. За период 2000–2020 гг. в зарубежной литературе появилось много публикаций, посвященных оценке качества древесины в ходе реализации селекционных программ древесных пород.

Цель работы

Цель работы — краткий обзор литературы по этому вопросу. При проведении анализа литературы внимание было сосредоточено на наследуемости древесиноведческих (по Мелехову и др., [2]) признаков и современном оборудовании по их оценке.

© Автор(ы), 2023

Результаты и обсуждение

При селекции, ориентированной на качество древесины, важной особенностью является необходимость оценки качественных признаков у значительного числа деревьев, относящихся к различным клонам, сибсовым или полусибовым семьям, географическому происхождению и т. п. При этом возможность рубки модельных деревьев на объектах лесного семеноводства (архивах клонов, испытательных и географических культурах, лесосеменных плантациях и др.) крайне ограничена, поскольку необходимо сохранение деревьев для последующих исследований и размножения.

Плотность часто рассматривается как самый лучший прогнозный показатель качества древесины. Древесина с более высокой плотностью предпочтительна как в строительстве, так и при механической обработке и дает более высокий выход целлюлозы. Для определения плотности древесины у большого числа растущих деревьев

используются переносные приборы: пенетрометр (рабочее название Pilodin) и резистограф различных модификаций [3]. Пенетрометр измеряет плотность древесины по глубине проникновения в нее подпружиненного шипа (глубина проникновения шипа отрицательно коррелирует с плотностью древесины). К недостаткам этого инструмента относится неглубокое проникновение в древесину (плотность определяется только у заболони), низкая чувствительность и необходимость снятия коры, если она толстая. Принцип работы резистографа основывается на сопротивлении сверлению по всему поперечному сечению ствола от коры до коры. Профиль показывает изменчивость плотности по стволу для годичных колец, сердцевины и коры [3].

В Швеции проведено сравнительное исследование по определению плотности древесины сосны обыкновенной (*Pinus sylvestris* L.) с использованием пенетрометра и резистографа на 522 растущих деревьях 40-летнего возраста, относящихся к 175 сибсовым семьям [4]. Для контроля авторы использовали данные плотности, полученные по кернам методом рентгенографии на приборном комплексе SilviScan. Контрольное значение коэффициента наследуемости в узком смысле h^2 составило 0,46, значение, рассчитанное по данным резистографа — 0,43 и пенетрометра — 0,32. По завершении исследования авторы пришли к выводу, что резистограф дает более точные оценки плотности древесины, чем пенетрометр.

Для быстрого, автоматического анализа небольших образцов древесины (кернов) был разработан приборный комплекс по принципу «все в одном» с программным обеспечением (рабочее название SilviScan). Основными его компонентами стали оптический сканер клеток (определяет размеры волокон и др.), рентгенографический денситометр (дает профиль плотности и др.) и рентгенографический дифрактометр (микроструктурные признаки). По данным первоначальных измерений с его помощью можно также рассчитать значения других качественных признаков древесины [3].

Прочность — важный структурный признак древесины, который определяет ее использование. Показателем прочности является предел прочности, т. е. максимальная величина напряжения (сжатие, растяжение, изгиб, сдвиг), которую выдерживает образец древесины. У растущих деревьев прочность древесины можно определять акустическим методом. В этом случае прочность древесины рассчитывается как квадратичная скорость распространения звука, умноженная на ее плотность. Скорость звука можно найти по времени прохождения звука через древесину. Этот подход пригоден для оценки прочности древесины растущих деревьев. Он основан на времени прохождения стрессовой волны, вызванной механическим воздействием между двумя датчиками, аккуратно вбитыми в ствол. Зная расстояние между датчиками, можно рассчитать скорость звука как расстояние, деленное на время [5].

Определение плотности древесины с помощью пенетрометра и времени прохождения звука было проведено на 4267 деревьях лиственницы европейской (*Larix decidua* Mill.) на 21 участке 25–35-летних культур, заложенных полусибсовыми семьями в Австрии [6]. Оба признака показали высокий уровень генетической детерминации: 0,32…0,61 — для плотности и 0,56 — для скорости звука. По завершении исследования авторы пришли к выводу, что включение показателей качества древесины в селекционную программу лиственницы европейской крайне желательно и для этого имеются надежные инструменты. В Швеции измерения плотности древесины и времени прохождения звука проводили на растущих деревьях 38-летнего возраста в испытательных культурах плюсовых деревьев сосны, после чего рассчитывали предел прочности [7]. При рубках ухода, проводимых коридорным методом, из этих деревьев были получены 496 сортимента длиной 4 м (по одному с дерева), которые были распилены на доски. До распиловки у сортиментов и после распиловки у 496 досок определяли прочность древесины стандартным способом, которая служила в качестве контроля. По результатам этого исследования, оценки прочности древесины, полученные акустическим методом на растущих деревьях, хорошо соответствовали значениям, полученным стандартным способом у сортиментов и пиломатериалов [7].

Деформативность — одно из самых важных свойств пиломатериалов. Различные формы коробления (крыловатость, изгиб, кручение и др.) проявляются после распиловки сортиментов и значительно снижают качество пиломатериалов. Была выявлена связь между углом наклона волокон древесины и короблением пиломатериалов [8–10]. Углом наклона волокон древесины, т. е. спиральностью волокна, называют уровень спиралевидного отклонения волокон древесины от вертикального положения. Ее можно измерять с помощью клиновидного измерителя угла наклона волокон, осторожно вбиваемого в ствол растущего дерева [8]. В южной части Швеции проведено исследование испытательных культур ели европейской (*Picea abies* (L.) Karst.), заложенных 115 полносибсовыми семьями (по 40 растений) [11]. В 18-летнем возрасте у растущих деревьев была измерена высота и в 28-летнем возрасте — угол наклона волокон. Затем в 34-летнем возрасте в двух блоках испытательных культур было

срублено 401 дерево (с диаметром ствола на высоте 1,3 м от земной поверхности, превышающем 14 см) с учетом представленности всех семей. Диски брали из вершины комлевых сортиментов и создавали радиальный профиль данных по углу наклона волокон и плотности древесины для определенных годичных колец. Свежераспиленные и высушенные доски оценивали по структурным признакам, характеризующим изгиб. Аддитивные генетические корреляции между плотностью древесины годичных колец и плотностью доски были статистически значимы (выше 0,7). Близкие значения были получены и для связи угла наклона волокон и изгиба доски. На этом основании был сделан вывод о возможности проведения отбора по потомству в полевых опытах одновременно по ростовым признакам и признакам качества древесины [11]. Аналогичное исследование проведено и для сосны обыкновенной. Среди признаков, измеряемых у растущих деревьев, угол наклона волокон древесины показал себя как лучший прогнозный показатель кручения и изгиба пиломатериалов (коэффициент корреляции $r = 0{,}84$ и 0,62, соответственно). Значения коэффициента наследуемости h^2 для кручения и угла наклона волокон были умеренными (0,37 и 0,40, соответственно), для крыловатости — низкими (0,21) и для изгиба — очень низкими. Отбор на низкий угол наклона волокон дал бы в результате снижение кручения и изгиба, но увеличил бы также плотность и прочность [12].

Предметом многочисленных исследований являются и ***микроструктурные признаки древесины***. Такие размерные признаки волокон древесины (продольных трахеид), как длина и крупность, толщина стенок определяют в значительной степени качество продукции целлюлозно-бумажной промышленности. Генетическая изменчивость размерных признаков волокон древесины была исследована у интродуцированной древесной породы — сосны скрученной (*Pinus contorta* var. *latifolia* Engelm.) в Швеции [13]. Исследование проведено на 823 кернах, взятых у 207 полусибсовых семей на двух отдельных участках испытательных культур 34–35-летнего возраста с использованием SilviScan. Значения коэффициентов наследуемости составили 0,29…0,74 с возрастанием по мере созревания камбия. Возрастная генетическая корреляция показала, что ранний отбор в возрасте от 5 до 8 лет весьма эффективен [13].

В работе Л. Доналдсона [14] показано, что угол наклона микрофибрилл целлюлозы (*microfibril angle*, MFA), т. е. отклонение микрофибрилл целлюлозы в клеточной оболочке от продольной оси клетки, является показателем качества целлюлозы и бумаги. Генетический контроль MFA оценен у ели европейской и сосны скрученной с использованием SilviScan по кернам, взятым у 5664 деревьев на двух 21-летних участках испытательных культур ели европейской в южной части Швеции и двух 34–35-летних участках сосны скрученной в ее северной части [15]. Значения коэффициента наследуемости в узком смысле h^2 варьировали от 0,21 до 0,23 у ели и от 0,34 до 0,53 у сосны скрученной. Результаты данного исследования показали, что возможен отбор по MFA у ели и сосны скрученной, так как генетическое улучшение (эффект селекции) по этому признаку является высоким для обеих пород [15].

Древесина состоит из четырех основных химических соединений: целлюлозы, гемицеллюлозы, лигнина и экстрактивных веществ. При условии, что ***признаки химического состава*** наследуются и показывают достаточную генетическую изменчивость, они могут быть включены в селекционные программы древесных пород как целевые признаки и улучшены посредством повторного отбора. Для целлюлозно-бумажной промышленности требуется более плотная древесина с длинными волокнами, меньшим содержанием лигнина и экстрактивных веществ. Для быстрого и недорогого химического анализа небольших образцов древесины (кернов), взятых у растущих деревьев, наиболее подходит метод инфракрасной спектроскопии с использованием SilvaScan. Метод был опробован на 1245 деревьях сосны, отобранных в культурах полносибсовых семей в северной части Швеции [16]. Из основных химических компонентов древесины самые высокие значения коэффициента наследуемости в узком смысле наблюдались для содержания гемицеллюлозы (0,43…0,47), средние — для содержания лигнина и экстрактивных веществ (0,30…0,39) и самые низкие — для целлюлозы (0,20…0,25). Корреляция признаков, характеризующих химический состав с ростовыми признаками, была близка к нулю.

При проведении селекции [17] важно учитывать взаимосвязь между ростовыми признаками и признаками качества древесины, в частности незначительную отрицательную корреляцию между ростом по диаметру ствола и прочностью древесины у сосны скрученной, поэтому рекомендуется проведение индексного отбора. Кроме того, отрицательная взаимосвязь между прочностью древесины и выходом целлюлозы у этой древесной породы свидетельствует о том, что селекционная стратегия должна быть направлена на улучшение качества древесины для различного использования [13]. Для сосны обыкновенной также рекомендуется индексный отбор как компромисс для одновременного улучшения признаков роста, волокон и качества древесины [18].

В последние два десятилетия лесные селекционеры начали активно применять геномный отбор с использованием маркеров ДНК, что значительно сокращает селекционный процесс. Наряду с ростовыми признаками (высотой, диаметром и объемом ствола) признаки качества древесины (плотность, прочность и MFA) включены в селекцию сосны обыкновенной и ели европейской в Швеции [19, 20], сосны скрученной, ели белой и ели черной в Канаде [21–23], эвкалипта в Бразилии и Новой Зеландии [24, 25] и в других странах.

Выводы

Завершая краткий обзор современной зарубежной литературы, резюмируем, что признаки качества древесины активно включаются в селекционные программы древесных пород. Наблюдаемая в отдельных случаях отрицательная корреляция между ростовыми признаками и признаками качества древесины может быть нивелирована применением индексного отбора плюсовых деревьев для дальнейшей селекции.

Список литературы

[1] Мелехов В.И., Бабич Н.А., Корчагов С.А., Щекалев Р.В. Комплексная оценка качества древесины сосны в лесных культурах разных условий местопроизрастания // Лесоведение, 2021, № 2. С. 208–210. DOI: 10.31857/S0024114821020054

[2] Мелехов В.И., Бабич Н.А., Корчагов С.А. Качественные характеристики древесины сосны в культурах. Архангельск: Изд-во Архангельского гос. техн. университета, 2005. 142 с.

[3] 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. DOI:10.3390/f10090728

[4] 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, e0204518. https://doi.org/10.1371/journal.pone.0204518

[5] Fundova I. Quantitative Genetics of Wood Quality Traits in Scots Pine. PhD Thesis // Acta Universitatis Agriculturae Sueciae, 2020, no. 9, p. 59.

[6] Škorpík P., Konrad H., Geburek T., Schuh M., Vasold D., Eberhardt M., Schueler S. Solid wood properties assessed by non-destructive measurements of standing European larch (*Larix decidua* Mill.): environmental effects on variation within and among trees and forest stands // Forests, 2018, no. 9, pp. 1–20. doi:10.3390/f9050276

[7] Fundova I., Hallingbäck H.R., Jansson G., Wu H.X. Genetic improvement of sawn board stiffness and strength in Scots Pine (*Pinus sylvestris* L.) // Sensors, 2020a, v. 20, no. 4. DOI:10.3390/s20041129

[8] Hannrup B., Säll H., Jansson G. Genetic parameters for spiral grain in Scots pine and Norway spruce // Silvae Genetica, 2003, v. 52, no. 5–6, pp. 215–220.

[9] Hallingbäck H. R., Jansson G., Hannrup B. Genetic parameters for grain angle in 28- year-old Norway spruce progeny trials and their parent seed orchard // Annals of Forest Science, 2008, v. 65, no. 3, p. 301. https:// doi.org/10.1051/forest:2008005

[10] Högberg K.-A., Persson B., Hallingbäck H. R. & Jansson G. Relationships between early assessments of stem and branch properties and sawn timber traits in a *Pinus sylvestris* progeny trial // Scandinavian J. of Forest Research, 2010, v. 25, no. 5, pp. 421–431.

[11] Hallingbäck H.R., Högberg K-A., Säll H., Lindeberg J., Johansson M., Jansson G. Optimal timing of early genetic selection for sawn timber traits in *Picea abies* // European J. of Forest Research, 2018, v. 137, no. 4, pp. 553–564. https://doi.org/10.1007/s10342-018-1123-2

[12] Fundova I., Hallingbäck H.R., Jansson G., Wu H.X. Genetic improvement of sawn-board shape stability in Scots pine (*Pinus sylvestris* L.) // Industrial Crops and Products, 2020, v. 157, pp. 1–9. https://doi.org/10.1016/j.indcrop.2020.112939

[13] Hayatgheibi H., Fries A., Kroon J., Wu H.X. Genetic analysis of fiber-dimension traits and combined selection for simultaneous improvement of growth and stiffness in lodgepole pine (*Pinus contorta*) // Canadian J. of Forest Research, 2019, v.49, pp. 500–509. dx.doi.org/10.1139/cjfr-2018-0445

[14] Donaldson L. The use of pit apertures as windows to measure microfibril angle in chemical pulp fibers // Wood Fiber Science, 2007, v. 23, no. 2, pp. 290–295.

[15] Hayatgheibi H., Forsberg N-E., Lundqvist S-O., Mörling T., Mellerowicz E.J., Karlsson B., Wu H.X., García-Gil M.R. Genetic control of transition from juvenile to mature wood with respect to microfibril angle in Norway spruce (*Picea abies*) and lodgepole pine (*Pinus contorta*) // Canadian J. of Forest Research, 2018, v. 48, pp. 1–8. dx.doi.org/10.1139/cjfr-2018-0140

[16] Funda T., Fundová I., Fries A., Wu H.X. Genetic improvement of the chemical composition of Scots pine (*Pinus sylvestris* L.) juvenile wood for bioenergy production // GCB Bioenergy, 2020, v. 12, pp. 848–863. DOI: 10.1111/gcbb.12723

[17] Hayatgheibi H., Fries A., Kroon J., Wu H.X. Genetic analysis of lodgepole pine (*Pinus contorta*) solid-wood quality traits // Canadian J. of Forest Research, 2017, v. 47, pp. 1303–1313. dx.doi.org/10.1139/cjfr-2017-0152

[18] Fundova I., Funda I., Wu H. X. Non-destructive assessment of wood stiffness in Scots pine (*Pinus sylvestris* L.) and its use in forest tree improvement // Forests, 2019, v. 10, no. 6, pp. 1–15.

[19] Calleja-Rodriguez A., Pan J., Funda T., Chen Z-Q., Baison J., Isik F., Abrahamsson S., Wu H.X. Genomic prediction accuracies and abilities for growth and wood quality traits of Scots pine, using genotyping-by-sequencing (GBS) data // BioRxiv, 2019. http://dx.doi.org/10.1101/607648

[20] Chen Z-Q., Baison J., Pan B., Karlsson B., Andersson B., Westin J., García-Gil1 M-R., Wu H. X. Accuracy of genomic selection for growth and wood quality traits in two control-pollinated progeny trials using exome capture as the genotyping platform in Norway spruce // BMC Genomics, 2018, v. 19, pp. 1–16. https://doi.org/10.1186/s12864-018-5256-y

[21] Ukrainetz N.K., Mansfield S.D. Assessing the sensitivities of genomic selection for growth and wood quality traits in lodgepole pine using Bayesian models // Tree Genet. Genomes, 2020, v. 16, no. 1, pp. 1–19. https://doi.org/10.1007/s11295-019-1404-z

[22] Beaulieu J., Doerksen T.K., MacKay J., Rainville A., Bousquet J. Genomic selection accuracies within and between environments and small breeding groups in white spruce // BMC Genomics, 2014, v. 15, pp. 1–16. http://www.biomedcentral.com/1471-2164/15/1048

[23] Lenz P.R.N., Beaulieu J., Mansfield S.D., Clément S., Desponts M., Bousquet J. Factors affecting the accuracy of genomic selection for growth and wood quality traits in an advanced-breeding population of black spruce (*Picea mariana*) // BMC Genomics, 2017, no. 18, pp. 1–17. DOI: 10.1186/s12864-017-3715-5

[24] Suontama M., Klápště J., Telfer E., Graham N., Stovold T., Low C., McKinley R., Dungey H. Efficiency of genomic prediction across two *Eucalyptus nitens* seed orchards with different selection histories // Heredity, 2019, v. 122, pp. 370–379. https://doi.org/10.1038/s41437-018-0119-5

[25] Tan B.D., Grattapaglia G.S., Martins K.Z., Ferreira B., Sundberg B., Ingvarsson P.K. Evaluating the accuracy of genomic prediction of growth and wood traits in two Eucalyptus species and their F_1 hybrids // BMC Plant Biol., 2017, no. 17, p. 110. https://doi.org/10.1186/s12870-017-1059-6

Сведения об авторе

Федорков Алексей Леонардович — д-р. биол. наук, ведущий научный сотрудник ФГБУН Институт биологии ФИЦ Коми научного центра Уральского отделения РАН, fedorkov@ib.komisc.ru

Поступила в редакцию 04.05.2022.
Одобрено после рецензирования 30.06.2022.
Принята к публикации 16.11.2022.

WOOD QUALITY ESTIMATION IN TREE BREEDING PROGRAMMES (SHORT LITERATURE REVIEW)

A.L. Fedorkov

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

fedorkov@ib.komisc.ru

The literature review concerning wood quality traits measuring in forest tree breeding programs is given. Methods of wood density measuring by Pilodin and different types of Resistograph are shortly described. Comparison study to measure Scots pine wood density by Pilodin and Resistograph revealed that Resistograph provide more precise wood density data than Pilodin. Method of measuring of wood stiffness an important wood mechanical property using acoustic velocity data is characterized. There is relationship between distortion of lumber and grain angle of wood fibers. Grain angle, i.e. spiral grain, refers to the degree of helical deviation from longitudinal arrangement of wood fibers. It can be measured with a wedge grain angle gauge hammered into a stem of a standing tree. It is shown, that microfibril angle (MFA), referring to the deviation of cellulose microfibrils in the layer of the secondary cell wall from the long axis of cell, is the main determinant of the mechanical properties of wood. There is shortly described the system of instruments with linked software (SilviScan), the main components of this system are optical cell scanner (for measurement of fiber size), X-ray densitometer (density profile and others) and X-ray diffractometer (microstructure traits). A minor negative relationship between growth and wood quality traits is noted, so the index selection is recommended under realization of tree breeding program. Some examples of genomic selection in tree breeding programs for wood quality are given.
Keywords: tree breeding programs, tree species, wood quality traits, wood microstructure

Suggested citation: 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

References

[1] Melekhov V.I., Babich N.A., Korchagov S.A., Shchekalev R.V. *Kompleksnaya otsenka kachestva drevesiny sosny v lesnykh kul'turakh raznykh usloviy mestoproizrastaniya* [Integrated evaluation of Scots pine wood quality in forest plantations in different local conditions]. Lesovedenie [Rus. J. For. Sci.], 2021, no. 2, pp. 208–210.

[2] Melekhov V.I., Babich N.A., Korchagov S.A. *Kachestvennye kharakteristiki drevesiny sosny v kul'turakh* [Characteristics of Scots pine wood quality in plantations]. Arhangel'sk: Izd-vo Arhangel'skogo Gos. Tekh. Universiteta, 2005, 142 p

[3] 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, p. 1–50. doi:10.3390/f10090728

[4] 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, e0204518. https://doi.org/10.1371/journal.pone.0204518

[5] Fundova I. Quantitative Genetics of Wood Quality Traits in Scots Pine. PhD Thesis. Acta Universitatis Agriculturae Sueciae, 2020, no. 9, p. 59.

[6] Škorpík P., Konrad H., Geburek T., Schuh M., Vasold D., Eberhardt M., Schueler S. Solid wood properties assessed by non-destructive measurements of standing European larch (*Larix decidua* Mill.): environmental effects on variation within and among trees and forest stands. Forests, 2018, no. 9, pp.1–20. doi:10.3390/f9050276
[7] Fundova I., Hallingbäck H.R., Jansson G., Wu H.X. Genetic improvement of sawn board stiffness and strength in Scots Pine (Pinus sylvestris L.). Sensors, 2020a, v. 20, no. 4, pp.1–19. DOI:10.3390/s20041129
[8] Hannrup B., Säll H., Jansson G. Genetic parameters for spiral grain in Scots pine and Norway spruce. Silvae Genetica, 2003, v. 52, no. 5–6, pp. 215–220.
[9] Hallingbäck H. R., Jansson G., Hannrup B. Genetic parameters for grain angle in 28- year-old Norway spruce progeny trials and their parent seed orchard. Annals of Forest Science, 2008, v. 65, no. 3, p. 301. https:// doi.org/10.1051/forest:2008005
[10] Högberg K.-A., Persson B., Hallingbäck H. R. & Jansson G. Relationships between early assessments of stem and branch properties and sawn timber traits in a *Pinus sylvestris* progeny trial. Scandinavian J. of Forest Research, 2010, v. 25, no. 5, pp. 421–431.
[11] Hallingbäck H.R., Högberg K-A., Säll H., Lindeberg J., Johansson M., Jansson G. Optimal timing of early genetic selection for sawn timber traits in *Picea abies*. European J. of Forest Research, 2018, v. 137, no. 4, pp. 553–564. https://doi.org/10.1007/s10342-018-1123-2
[12] Fundova I., Hallingbäck H.R., Jansson G., Wu H.X. Genetic improvement of sawn-board shape stability in Scots pine (*Pinus sylvestris* L.). Industrial Crops and Products, 2020, v. 157, pp. 1–9. https://doi.org/10.1016/j.indcrop.2020.112939
[13] Hayatgheibi H., Fries A., Kroon J., Wu H.X. Genetic analysis of fiber-dimension traits and combined selection for simultaneous improvement of growth and stiffness in lodgepole pine (*Pinus contorta*). Canadian J. of Forest Research, 2019, v.49, pp. 500–509. dx.doi.org/10.1139/cjfr-2018-0445
[14] Donaldson L. The use of pit apertures as windows to measure microfibril angle in chemical pulp fibers. Wood Fiber Science, 2007, v. 23, no. 2, pp. 290–295.
[15] Hayatgheibi H., Forsberg N-E., Lundqvist S-O., Mörling T., Mellerowicz E.J., Karlsson B., Wu H.X., García-Gil M.R. Genetic control of transition from juvenile to mature wood with respect to microfibril angle in Norway spruce (*Picea abies*) and lodgepole pine (*Pinus contorta*). Canadian J. of Forest Research, 2018, v. 48, pp. 1–8. dx.doi.org/10.1139/cjfr-2018-0140
[16] Funda T., Fundová I., Fries A., Wu H.X. Genetic improvement of the chemical composition of Scots pine (*Pinus sylvestris* L.) juvenile wood for bioenergy production. GCB Bioenergy, 2020, v. 12, pp. 848–863. DOI: 10.1111/gcbb.12723
[17] Hayatgheibi H., Fries A., Kroon J., Wu H.X. Genetic analysis of lodgepole pine (*Pinus contorta*) solid-wood quality traits. Canadian J. of Forest Research, 2017, v. 47, pp. 1303–1313. dx.doi.org/10.1139/cjfr-2017-0152
[18] Fundova I., Funda I., Wu H. X. Non-destructive assessment of wood stiffness in Scots pine (*Pinus sylvestris* L.) and its use in forest tree improvement. Forests, 2019, v. 10, no. 6, pp. 1–15.
[19] Calleja-Rodriguez A., Pan J., Funda T., Chen Z-Q., Baison J., Isik F., Abrahamsson S., Wu H.X. Genomic prediction accuracies and abilities for growth and wood quality traits of Scots pine, using genotyping-by-sequencing (GBS) data. BioRxiv, 2019. http://dx.doi.org/10.1101/607648
[20] Chen Z-Q., Baison J., Pan B., Karlsson B., Andersson B., Westin J., García-Gil1 M-R., Wu H. X. Accuracy of genomic selection for growth and wood quality traits in two control-pollinated progeny trials using exome capture as the genotyping platform in Norway spruce. BMC Genomics, 2018, v. 19, pp. 1–16. https://doi.org/10.1186/s12864-018-5256-y
[21] Ukrainetz N.K., Mansfield S.D. Assessing the sensitivities of genomic selection for growth and wood quality traits in lodgepole pine using Bayesian models. Tree Genet. Genomes, 2020, v. 16, no. 1, pp. 1–19. https://doi.org/10.1007/s11295-019-1404-z
[22] Beaulieu J., Doerksen T.K., MacKay J., Rainville A., Bousquet J. Genomic selection accuracies within and between environments and small breeding groups in white spruce. BMC Genomics, 2014, v. 15, pp. 1–16. http://www.biomedcentral.com/1471-2164/15/1048
[23] Lenz P.R.N., Beaulieu J., Mansfield S.D., Clément S., Desponts M., Bousquet J. Factors affecting the accuracy of genomic selection for growth and wood quality traits in an advanced-breeding population of black spruce (*Picea mariana*). BMC Genomics, 2017, no. 18, pp. 1–17. DOI: 10.1186/s12864-017-3715-5
[24] Suontama M., Klápště J., Telfer E., Graham N., Stovold T., Low C., McKinley R., Dungey H. Efficiency of genomic prediction across two *Eucalyptus nitens* seed orchards with different selection histories. Heredity, 2019, v. 122, pp. 370–379. https://doi.org/10.1038/s41437-018-0119-5
[25] Tan B.D., Grattapaglia G.S., Martins K.Z., Ferreira B., Sundberg B., Ingvarsson P.K. Evaluating the accuracy of genomic prediction of growth and wood traits in two Eucalyptus species and their F_1 hybrids. BMC Plant Biol., 2017, no. 17, p. 110. https://doi.org/10.1186/s12870-017-1059-6

Author information

Fedorkov Aleksey Leonardovich — Dr. Sci. (Biology), Leading Researcher of the Institute of Biology of Komi Scientific Center of the Ural Branch of the Russian Academy of Sciences, fedorkov@ib.komisc.ru

Received 04.05.2022.
Approved after review 30.06.2022.
Accepted for publication 16.11.2022.

УДК 630*161
DOI: 10.18698/2542-1468-2023-4-36-46
Шифр ВАК 4.1.2

ФОРМИРОВАНИЕ ШИШЕК СОСНЫ ОБЫКНОВЕННОЙ (*PINUS SYLVESTRIS* L.) В УСЛОВИЯХ ИЗМЕНЕНИЯ КЛИМАТА

Е.Н. Наквасина[1]✉, Н.А. Прожерина[2], А.В. Чупров[3]

[1]ФГАОУ ВО «Северный (Арктический) федеральный университет им. М.В. Ломоносова» (САФУ), Россия, 163002, г. Архангельск, Набережная Северной Двины, д. 17
[2]ФГБУН «Федеральный исследовательский центр комплексного изучения Арктики им. академика Н.П. Лаверова УрО РАН» (ФИЦКИА), Россия, 163000, г. Архангельск, пр-кт Никольский, д. 20
[3]Министерство природных ресурсов и лесопромышленного комплекса Архангельской области (Минлеспром АО), Россия, 163069, г. Архангельск, ул. Выучейского, д. 18

nakvasina@yandex.ru

На примере ряда климатипов сосны обыкновенной (*Pinus sylvestris* L.) 39-летнего возраста, произрастающих в географических культурах Архангельской области (62°54´ с. ш.), а также естественных насаждений показана реакция морфометрическими показателями зрелых макростробилов (шишек) на изменение климатических условий произрастания. Показано, что формирование шишек у потомства климатипа сосны обыкновенной из Мурманской области (67°51´ с. ш.) и из Ленинградской области (60°00´ с. ш.) происходит с морфометрическими отклонениями, связанными с реакцией на имитацию потепления или похолодания, по сравнению с местопроизрастанием исходных насаждений. Установлено проявление ответной реакции как на потепление, так и на похолодание в прямых и производных показателях шишек и их структурных частей, а также по формовому разнообразию шишек. Показаны проявления различного уровня генетического контроля за откликом линейных и массовых показателей при формировании шишек в измененных условиях среды, что может привести к изменению плотности тканей шишки. Доказано, что при климатических изменениях будут меняться параметры шишек — масса, размеры, при относительном сохранении морфотипов (формы апофиз), что может привести к изменению в количестве плодущих семенных чешуй, их размерности и повлияет на выход семян. Установлено, что реакция сосны обыкновенной на климатические изменения вегетативной и генеративной сферой показывает ее достаточно сходную направленность проявления при похолодании и при потеплении, и может быть связана как с особенностями популяций, так и с их географическим расположением в ареале породы.

Ключевые слова: сосна обыкновенная, климатипы, диаметр, высота, шишки, биометрия, изменение климата, реакция

Ссылка для цитирования: Наквасина Е.Н., Прожерина Н.А., Чупров А.В. Формирование шишек сосны обыкновенной (*Pinus sylvestris* L.) в условиях изменения климата // Лесной вестник / Forestry Bulletin, 2023. Т. 27. № 4. С. 36–46. DOI: 10.18698/2542-1468-2023-4-36-46

Географические культуры все чаще служат природной лабораторией для изучения не только практических вопросов, связанных с трансфером семян, но и для решения геногеографических задач, в том числе связанных с изучением реакции различных лесных видов на климатические изменения [1]. Использование в коллекциях происхождений, местопроизрастание материнских насаждений которых расположены севернее и южнее участка испытания, позволяет рассматривать потомство как произрастающее в условиях «имитации» потепления или похолодания. Как правило, изучая реакцию древесных пород на изменение климата, исследователи отдают предпочтение анализу роста и продуктивности происхождений древесных пород [2–4], реже рассматривают влияние климатических изменений на репродуктивную сферу [5]. По мнению Л.И. Милютина и Т.Н. Новиковой [6], в пределах вегетативной и генеративной сфер одного вида может быть разная реакция на изменение климата показателей роста и формирования органов растений. Это, вероятно, связано как с высокой внутрипопуляционной изменчивостью, тик и с различным уровнем генетического контроля и относится не только к отдельным органам дерева, но и к некоторым морфометрическим показателям.

Особый интерес в этом отношении представляют шишки (зрелые макростробилы), которые обладают морфологической стабильностью [7–9] и являются носителями наиболее информационных маркеров популяционной структуры вида [10, 11], причем максимально информативными считаются не абсолютные биометрические значения показателей, а аллометрические производные [14, 15]. Кроме того, морфофенотипические показатели шишек, в отличие от семян, стабильны во времени и сохраняют наследственный потенциал в разные годы репродукции [11].

© Автор(ы), 2023

У сосны обыкновенной (*Pinus sylvestris* L.) отзывчивость репродуктивной сферы (размеров шишек, качества семян) на изменение термического фактора отмечалась и ранее. Так, активной была реакция северных рас сосны (Кольский п-ов) на повышение летней температуры воздуха по сравнению со средней многолетней, что проявилось прежде всего в увеличении числа шишек и резком усилении всхожести семян [14]. Подобные реакции в морфометрических и качественных показателях шишек и семян заафиксированы у северных климатипов сосны обыкновенной в географических культурах в Архангельской обл. [15]. Это связано с низкой адаптированностью репродуктивной сферы сосны обыкновенной к суровым условиям произрастания на севере [16].

В то же время для северных рас сосны обыкновенной характерна наследственно закрепленная меньшая потребность в сумме температур, необходимых для реализации роста [17, 18], что отмечалось и в наших исследованиях [19]. Рост северных рас сосны обыкновенной при перенесении в более южные условия произрастания усиливался, тем не менее, не достигал показателей роста местного потомства.

Репродуктивная лабильность северной сосны к улучшению условий произрастания, возможно, связана с различным уровнем генетического контроля генеративной и вегетативной сфер, их разной степенью наследственной закрепленности при миграции вида и его эволюционной адаптации к условиям произрастания на родине современных популяций. Нами была высказана гипотеза: при перенесении потомства в новые условия (более теплые или более холодные по сравнению с местом произрастания материнских насаждений), реакция вегетативной и генеративной сфер, а также атрибутика генеративных признаков могут различаться. Ее следует проверить, при этом важно сравнить отклик показателей роста вида с учетом разницы в климатических характеристиках мест произрастания исходных насаждений и мест выращивания потомства (пункт испытания) [20, 21].

Цель работы

Цель работы — изучение морфолого-биометрических показателей шишек сосны обыкновенной (*Pinus sylvestris* L.) из Мурманской и Ленинградской областей на изменение климатических показателей при произрастании потомства в географических культурах (Архангельская область).

Объекты и методы исследования

Базовым объектом исследования служили потомства сосны обыкновенной, произрастающие в географических культурах Архангельской обл. (Плесецкое лесничество), созданных в 1977 г. посадкой трехлетних сеянцев. По лесорастительному районированию С.Ф. Курнаева [22], территория относится к подзоне средней тайги. Для сравнительных испытаний подобрали два климатипа — из Мурманской и Ленинградской областей (табл. 1), места произрастания исходных насаждений которых расположены соответственно к северу и югу от места испытания, для того, чтобы проследить реакцию сосны обыкновенной на потепление и на похолодание, отразить особенности географических рас. В качестве контроля использовали местный климатип (из Плесецкого р-на Архангельской обл.).

В поименованных климатипах (возраст культур 39 лет) проводили замеры диаметров стволов на высоте 1,3 м у не менее 100 деревьев. Среднюю высоту устанавливали по графику высот, замеряя высоты и диаметры стволов у 20–25 деревьев в каждом климатипе.

Для анализа собрали не менее чем 30 шишек с разных деревьев каждого изучаемого насаждения (климатипы в географических культурах и естественные насаждения в местах произрастания их исходных популяций), что позволяет провести оценку с достаточной точностью [24]. Шишки в естественных насаждениях заготовлены в Мурманской (69°02′ с. ш. 33°02′ в. д.) и Ленинградской (59°32′ с. ш. 30°52′ в. д.) областях, в пунктах, соответствующих по местоположению и условиям произрастания (черничные типы леса) исходным насаждениям потомства в географических культурах.

Сбор исходного материала с близких по местоположению популяций обусловлен генетическими исследованиями, показывающими отсутствие дифференциации и генетических подразделений у популяций из разных лесосеменных районов, места произрастания которых отстоят на сотни и тысячи километров [9, 25]. В частности, на достаточно больших по площади территориях (например, в Якутии) не выявлена связь морфолого-фенотипических показателей шишек сосны обыкновенной с географическим размещением популяций [11].

Изучение морфометрических показателей шишек сосны проводили в соответствии с методикой, предложенной Н.Н. Бессчетновой [13]. Рассчитывали такие прямые показатели, как длина шишки (L, мм), максимальный диаметр шишки (D_m, мм), масса шишки в абсолютно сухом состоянии (M, г), боковое расстояние от вершины шишки до плоскости ее максимального диаметра (L_1, мм), а также ряд производных (10 показателей), основанных на расчетах с использованием полученных линейных замеров отдельных структурных частей шишек и взвешиваний абсолютно

Таблица 1

Географические и климатические показатели мест произрастания исходных насаждений

Geographical and climatic characteristics of the original plantations

Показатель	Мурманская обл. (климатип № 1)	Архангельская обл. (климатип № 4)	Ленинградская обл. (климатип № 19)
Подзона тайги [22]	Северная	Средняя	Южная
Географические координаты	67°51′ с. ш. 32°57′в. д.	62°54′ с. ш. 40°24′ в. д.	60°00′ с. ш. 30°25′ в. д.
Температура воздуха: сумма значений выше +5 °С среднегодовая	 1220 –1,5	 1810 1,0	 1900 4,0
Продолжительность вегетационного периода, сут	90	148	160

Таблица 2

Отзывчивость роста в высоту и по диаметру ствола климатипов сосны обыкновенной северного и южного происхождения относительно пункта испытания (возраст культур 39 лет)

Response of growth in height and trunk diameter of Scots pine of northern and southern origin relative to the test site (age of cultivars 39 years)

Показатель	Мурманская обл. (климатип № 1)	Архангельская обл. (климатип № 4)	Ленинградская обл. (климатип № 19)
Сохранность культур, %	39,9	35,3	10,8
Высота сосны, *H*, м	13,1	16,7	18,4
Диаметр ствола, *D*, см	13,4 ± 0,42	18,3 ± 0,42	23,8 ± 0,80
Интенсивность роста потомства, *H*/*D*	0,98	0,91	0,77
Объем ствола, м^3	0,094	0,214	0,394
Запас древесины*, м^3/га	149	302	170
*В расчете на среднюю густоту лесных культур в регионе (4000 шт./га).			

сухих шишек (высушивание при температуре 105 °С). К производным показателям, по работе [13], относили *L*/*D* — коэффициент формы; L_o — высота основания шишки; *hk* — осевое расстояние от вершины шишки до плоскости максимального диаметра; Ohl_1 — отношение длины шишки к боковому расстоянию от вершины до плоскости максимального диметра; $V_к$ — объем конуса; $V_с$ — объем сегмента; $V_к + V_с$ — суммарный объем конуса и сегмента; *m*/*L* — линейно распределенная масса шишки; $M/V_к + V_с$ — отношение массы шишки к суммарному объему конуса и сегмента, что косвенно характеризует плотность шишки; $V_с/V_к$ — отношение объема сегмента к объему конуса.

Статистическую обработку материала проводили в программе SPSS Statistics 22.0. Достоверность значения статистических показателей принимали при относительной погрешности $p < 0,05$. Сравнение средних значений изученных показателей шишек сосны между климатипами, произрастающими в естественных древостоях и географических культурах, проводили по критерию Стьюдента, гомогенность дисперсий каждого параметра проверяли по тесту Левена. Для оценки влияния места произрастания на исследуемые параметры шишек сосны использовали однофакторный дисперсионный анализ и рассчитывали силу влияния фактора (η^2).

Результаты и обсуждение

Рост климатипов сосны обыкновенной мурманского и ленинградского происхождения (табл. 2) соответствует общей клинальности изменений в географических культурах, отмечаемых нами ранее [19] и зональности геногеографических трендов [26].

Сосна мурманского происхождения, у исходных насаждений которой, произрастающих почти на 5° широты к северу от пункта испытания, характеризуется усилением роста по высоте, и по диаметру ствола, однако не достигает значений показателей местного климатипа. Сосна ленинградского происхождения, произрастающая южнее относительно пункта испытания, сохраняет присущий ей интенсивный рост, но снижает его, по сравнению с ростом в местах произрастания материнских насаждений, сохраняя превышение по высоте и диаметру ствола над местным климатипом из Архангельской обл. Сохраняется клинальность относительного показателя *H*/*D*, отражающего интенсивность роста потомства. Снижение до 0,77 показателя *H*/*D* (отношение высоты к диаметру ствола) у потомства ленин-

Таблица 3

Разнообразие шишек по формам апофиза

Diversity of cones by apophysis shape

Форма апофиза	Мурманская обл.		Архангельская обл. (климатип № 4)	Ленинградская обл.	
	Климатип № 1	Естественная популяция		Климатип № 19	Естественная популяция
f. plana	7,1	3,2	7,1	6,7	11,6
f. gibba	14,3	49,2	71,4	86,7	62,7
f. reflexa	78,6	47,6	21,4	6,7	25,7

градского происхождения, несомненно, связано с падением сохранности, что обеспечивает редкое стояние деревьев и увеличение прироста по диаметру ствола.

Реакция потомства на изменение условий среды связана прежде всего с температурным фактором. В оценке отзывчивости роста северных и южных климатипов термический фактор имеет важное значение в силу его неравномерности и криволинейности кумуляции в пределах севера Восточно-Европейской равнины, рассмотренной в работе И.В. Волосевича [23]. Температурный фактор на 50 % отражает рост лесных пород [27] и влияет на длительность вегетационного периода. В высоких широтах — к северу от пункта испытания различия в сумме активных температур воздуха (выше +5 °С) на каждый градус северной широты выше, чем к югу (см. табл. 1). Различная отзывчивость северных и южных потомств при изменении условий произрастания определяется их наследственными особенностями, закрепленными в генотипе, а также временем адаптации вида к конкретным условиям произрастания, что связано с его древней миграцией или сохранением более ранних форм из рефугиумов [26].

В соотношении с ростовым откликом по диаметру ствола и высоте у сосны обыкновенной вполне ожидаемо получение аналогичной реакции на климатические изменения других биометрических систем вида, в частности размерности шишек и их структурных частей. В то же время предполагается относительная стабильность присущих популяциям таких морфотипов, как форма апофиза шишек (табл. 3).

Во всех изученных климатипах и естественных популяциях сохраняется общая для вида меньшая представленность гладкой формы апофиза (f. plana) и преобладание формы пирамидки (f. gibba) и крючка (f. reflexa). Близкие по местопроизрастанию (в пределах 3° с. ш.) сосны архангельского и ленинградского происхождения отличаются преобладанием f. gibba — 63–87 %. Сосна мурманского происхождения по соотношению форм апофизов шишек имеет отличия в сторону увеличения доли f. reflexa, которая в потомстве сосны в географических культурах Архангельской обл. достигает 78 %. В естественном насаждении из Мурманской обл. доля f. reflexa несколько ниже (47 %), что может быть связано, скорее, с трудностью определения форм на мелких шишках, характерных для этой сосны, так как форма апофиза шишек определяется генотипически и не зависит от условий произрастания [12]. Однако нельзя исключать и влияние высокого уровня популяционного полиморфизма, присущего популяциям сосны обыкновенной в северном пределе ареала [28].

Исходными для оценки формирования шишек являются прямые биометрические показатели (табл. 4), которые совместно с дополнительными замерами будут определять расчетные производные, показывающие комплексность показателей отдельных частей или разноплановых показателей (линейных, массовых).

Как отмечалось ранее [19, 29], в разном возрасте культур параметры шишек у потомства разного географического происхождения (климатипы №№ 1, 4, 19) при произрастании в одних условиях пункта испытания нивелируются, а расхождения по массе, длине и ширине шишек недостоверны (см. табл. 4). Сохраняются только наследственные различия по показателю L_1 (боковое расстояние от вершины шишки до плоскости ее максимального диаметра) между крайними вариантами — самым северным из изучаемых климатипов Мурманской обл. и самым южным — из Ленинградской обл., расстояние между родиной исходных насаждений которых в системе географических координат составляет почти 8° по широте.

Рассматривая влияние климатических изменений на формирование шишек потомства в естественной среде, соответствующей местопроизрастанию потомства сосны, и в пункте испытания (изменение условий соответствует потеплению или похолоданию для сосен мурманского и ленинградского происхождения), сравнили показатели шишек в пределах сосен одноименного происхождения. При имитации потепления (мурманское происхождение), соответствующего повышению на 590 °С суммы активных температур воздуха выше + 5 °С, отмечаются существенные

Таблица 4

Прямые и производные биометрические показатели шишек

Direct and derived biometric parameters of cones

Показатель	Средние данные					Результаты дисперсионного анализа				Сравнение между одноименными происхождениями (p)	
	Мурманская обл. (климатип № 1)	Ленинградская обл. (климатип № 19)	Архангельская обл. (климатип № 4)	Мурманская обл. (естественная популяция)	Ленинградская обл. (естественная популяция)	S_α^2	Sr^2	$F_{факт.}$	h^2	Мурманская обл.	Ленинградская обл.
Прямые биометрические показатели											
L	40,60 ± 1,58	42,20 ± 0,67	41,10 ± 1,04	33,50 ± 0,60	41,60 ± 0,77	2722,94	5867,36	21,93	0,32 ± 0,02	0,000	0,592
D	21,50 ± 0,54	22,00 ± 0,32	19,90 ± 0,44	20,70 ± 0,24	21,60 ± 0,35	150,51	925,62	7,68	0,14 ± 0,02	0,010	0,350
M	4,84 ± 0,32	4,62 ± 0,21	5,01 ± 0,25	2,31 ± 0,08	5,01 ± 0,22	278,42	277,95	46,58	0,50 ± 0,02	0,000	0,218
L_1	28,73 ± 0,93	31,20 ± 0,66	30,00 ± 1,10	25,50 ± 0,57	33,60 ± 0,57	1850,06	3879,08	22,54	0,32 ± 0,02	0,006	0,003
Производные биометрические показатели											
L/D	1,90 ± 0,05	1,90 ± 0,02	2,10 ± 0,04	1,70 ± 0,24	2,00 ± 0,35	3,60	7,17	23,73	0,33 ± 0,02	0,000	0,594
Ohl_1	1,44 ± 0,06	1,37 ± 0,04	1,41 ± 0,06	1,32 ± 0,01	1,24 ± 0,01	0,95	7,81	5,76	0,11 ± 0,02	0,079	0,001
L_o	6,80 ± 0,38	7,20 ± 0,26	8,00 ± 0,27	10,21 ± 0,21	11,28 ± 0,27	583,19	550,44	50,06	0,51 ± 0,02	0,000	0,000
M/L	1,18	1,10	1,22	0,93	1,20	0,11	0,22	23,64	0,34 ± 0,02	0,000	0,208
hk	26,52 ± 1,01	29,18 ± 0,72	28,24 ± 1,16	23,47 ± 0,60	31,96 ± 0,61	2005,62	4415,64	21,46	0,31 ± 0,02	0,007	0,004
$V_к$	3,26 ± 0,20	3,70 ± 0,12	2,98 ± 0,18	2,50 ± 0,10	3,89 ± 0,12	60,21	139,91	20,33	0,31 ± 0,02	0,000	0,300
$V_с$	3,35 ± 0,45	3,63 ± 0,40	2,69 ± 0,37	2,13 ± 0,09	2,63 ± 0,36	58,85	693,99	4,01	0,08 ± 0,02	0,013	0,072
$V_к + V_с$	6,61 ± 0,06	7,32 ± 0,43	5,67 ± 0,42	4,62 ± 0,16	6,51 ± 0,44	195,74	1053,09	8,78	0,16 ± 0,02	0,021	0,208
$M/V_к + V_с$	0,73	0,63	0,88	0,50	0,77	6,97	36,66	8,84	0,16 ± 0,02	0,003	0,057
$V_с/V_к$	1,00 ± 0,11	1,00 ± 0,11	0,98 ± 0,13	0,91 ± 0,04	0,65 ± 0,08	5272,07	131292,17	1,90	0,04 ± 0,02	0,457	0,011

Примечание. Sr^2 — оценка дисперсии внутри групп; S_α^2 — оценка дисперсии между группами; $F_{0,05} = 2,46$; h^2 — коэффициент детерминации.

различия ($t_{факт}$ = 2,9…7,7 при $t_{0,05}$ = 2,0) по длине шишки, боковому расстоянию от вершины шишки до плоскости ее максимального диаметра (L_1) и массе шишек сосны обыкновенной. Различия по диаметру шишки не существенны, что свидетельствует о его высоком уровне генетического контроля. При имитации похолодания на 90 °С (ленинградское происхождение), соответствующего понижению суммы среднесуточных значений температуры воздуха выше + 5 °С, различия между шишками потомства в естественных насаждениях и в географических культурах по основным биометрическим показателям несущественны. Изменение внешних условий повлияло только на показатель L_1, отражающий боковое расстояние от вершины шишки до плоскости ее максимального диаметра: $t_{факт}$ = 2,8 при $t_{0,05}$ = 2,0.

Сравнение по критерию Стьюдента пар одноименного происхождения по прямым показателям шишек (см. табл. 4), подтверждает различия у всех прямых показателей для сосны обыкновенной мурманского происхождения, и только одного показателя L_1 для сосны ленинградского происхождения. Такие показатели, как длина, ширина и масса шишки у сосны обыкновенной ленинградского происхождения показали гомогенность дисперсии, что, возможно, связано с невысокими различиями в показателях внешней среды, несмотря на различия в географическом происхождении, достигающих 3° по широте.

Однофакторный дисперсионный анализ, проведенный по всем пяти испытуемым вариантам, показывает различную силу влияния фактора принадлежности к популяциям различного географического происхождения на формирование шишек сосны. Для линейных показателей (L и L_1) сила влияния фактора происхождения составляет 32 %. Самая низкая сила влияния характерна для показателя диаметра шишек (14 %), самая высокая — для массы шишки (50 %). В частности, для плюсовых деревьев в Нижегородской обл. показатель силы влияния аналогичных прямых факторов составлял 12…19 % [13].

Производные морфометрические показатели шишек, основанные на прямых, достаточно разноплановы относительно уровня генетической детерминированности у сосны обыкновенной из естественных насаждений и произрастающих в географических культурах. Сила влияния фактора принадлежности к изученным популяциям различного географического происхождения изменяется от 4 до 51 % (см. табл. 4). Наиболее высокие различия между пятью популяциями разного географического происхождения характерны для показателя L_o (высота основания шишки). При сравнении одноименных потомств (в местопроизрастании исходных насаждений и при произрастании их потомства в измененных условиях) он значимо дифференцирован (p < 0,05).

В то же время показатели, связанные с линейными замерами вершинной части шишки (hk — осевое расстояние от вершины шишки до плоскости максимального диаметра; Ohl_1 — отношение длины шишки к боковому расстоянию от вершины до плоскости максимального диметра), имеют меньшую генетическую детерминированность в пределах изученных популяций разного географического происхождения (11 и 31 %), однако по показателю hk (длина оси вершины шишки) различия между популяциями мурманского и ленинградского происхождения подтверждены на 5%-м уровне значимости (p > 0,05). Эти закономерности различий в размерности осей основания и вершинки сохраняются и при расчете объемных показателей.

Особый интерес в оценке формирования шишек имеют показатели, построенные на объединении массовых и линейно-объемных данных: M/L и $M/V_с + V_к$, которые косвенно отражают плотность тканей шишки. Сила влияния фактора, по Плохинскому, составляет 34 и 16 % соответственно, что ближе к линейным и объемным показателям, участвующим в расчете. При сравнении одноименных пар популяций (естественные насаждения и потомство в географических культурах) значимые различия (p < 0,05) на 5%-м уровне значимости установлены для сосны мурманского происхождения, тогда как шишки сосны ленинградского происхождения по этим показателям были гомогенны. При произрастании в средней подзоне тайги (Архангельская обл.) у сосны мурманского происхождения значимо повышается плотность тканей шишки с 0,93 до 1,18 для показателя M/L, с 0,5 до 0,73 для показателя $M/V_с + V_к$. Сосна ленинградского происхождения при ухудшении условий произрастания (см. табл. 1) характеризуется некоторым снижением плотности шишки, но не существенным: с 1,2 до 1,1 и с 0,77 до 0,63 соответственно по показателям.

В целом, рассматривая 14 биометрических показателей шишек сосны обыкновенной, при сравнении популяций на местопроизрастании исходных насаждений и при выращивании в более теплых климатических условиях, для сосны мурманского происхождения достоверные различия (по критерию Стьюдента) доказываются в 12 случаях, для сосны ленинградского происхождения — в четырех. Это позволяет утверждать ее значительную реакцию на изменение климатических условий при изменении места произрастания на 5° по широте в связи с соответствующим изменением термического фактора. Северотаежная сосна обыкновенная из высоких широт проявляет отзывчивость на изменение

климатических условий произрастания не только в линейном росте ствола, но и в формировании репродуктивных органов, в частности зрелых макростробилов (шишек). При произрастании в более теплых условиях средней подзоны тайги у северотаежных потомств сосны увеличиваются размеры шишек, но, видимо, при этом снижается плотность древесных тканей шишки.

При изучении шишек в коллекции климатипов сосны обыкновенной (22 климатипа), произрастающих в географических культурах сосны обыкновенной в Архангельской обл., ранее была отмечена [29] разнонаправленная связь показателей шишек с географическими координатами и климатическими характеристиками местопроизрастания исходных насаждений. С линейными показателями (длинной и диаметром шишки) связь была положительная (коэффициент корреляции r = 0,34…0,48), а с массой и плотностью шишки (показатель M/L) — отрицательной (r = –0,43…–0,47). Это позволяет сделать вывод о том, что формирование размеров и массы шишек контролируется различными генными системами.

Кроме генной дифференцированности массовых и линейных показателей в формировании шишки замечена также разнонаправленность развития отдельных структурных частей самой шишки, в частности ее основания и конуса вершинки. Даже в пределах одного органа (шишки) они имеют различный уровень влияния, различающийся почти в 2 раза: основание шишки (показатель L_o) 51 %, вершинка (показатель hk) 31 %. Д.С. Абдуллина, И.В. Петрова [11] относят подобные данные, связанные с частями шишки сосны обыкновенной в Якутии, к показателям той группы факторов, на долю которых приходится 9 % общей дисперсии.

С нашей точки зрения полученные результаты позволяют судить о достаточно сложной полигенной и разнонаправленной дифференциации в формировании отдельных вегетативных и генеративных органов сосны обыкновенной, произрастающей на Восточно-Европейской равнине, при наступлении климатических изменений. На сложную систему географических проявлений в полиморфизме древесных пород указывали Л.И. Милютин, Т.Н. Новикова [6]. Эти изменения не будут одинаковы для сосен, произрастающих на разных широтах. Различная фенотипическая пластичность породы, в том числе и сосны обыкновенной, имеющей огромный непрерывный ареал, приводит к дифференцированному отклику на изменения климата, связанному с ее ростом [3, 4, 19]. Отзывчивость сосны будет определяться условиями, в которых сформировался генотип популяции, и зависеть от уровня климатических изменений [5].

В пределах ареала у сосны обыкновенной может быть различная реакция на климатические изменения в связи с ее географическим произрастанием и адаптационными дифференциациями. Реакция на климатические изменения будет проявляться в продуктивности насаждений, при потеплении — в сторону увеличения высоты, диаметра ствола, а следовательно, и запасов древесины. В то же время будут изменяться не только урожай и качественные показатели семян, но и параметры шишек — масса, размеры при относительном сохранении морфотипов (формы апофиза). Однако изменение размерных и массовых параметров шишек, их дифференцированный отклик в отдельных частях в пределах шишки, может привести к трансформациям количества плодущих семенных чешуй, их размерности, повышенному формированию выполненных семян и различиям в открытии чешуй при высушивании, что повлияет на выход семян. Эти вопросы пока не изучены и не отражены в исследовательских публикациях.

Выводы

Проведенные исследования показывают сложную дифференциацию по отдельным признакам и их комбинациям в формировании шишек в измененных условиях среды, причем как в сторону потепления, так и похолодания. Выделяется разнонаправленность ответной реакции линейных и массовых показателей, отражающаяся в изменении плотности тканей, что также требует дополнительного изучения, по крайней мере в отношении прочности шишек и сроков их деструкции при формировании детрита при опадении.

Фенотические вариации сосны обыкновенной, которые могут возникнуть при климатических изменениях, в достаточной степени не изучены. Основное внимание в исследованиях уделяется росту, продуктивности, фенологическим проявлениям вегетативной и генеративной сфер. Практически не изученной остается реакция генеративной сферы, связанная с размерностью шишек, формированием ее структурных элементов, что может оказать влияние на запасы семенного материала в лесах и влиять на естественное возобновление при климатических изменениях.

Список литературы

[1] Милютин Л.И., Новикова Т.Н., Тараканов В.В., Тихонова И.В. Сосна степных и лесостепных боров Сибири. Новосибирск: Гео, 2013. 127 с.

[2] Rehfeldt G.E., Tcebakova N.M., Milyutin L.I., Parfenova E.I., Wykoff W.R., Kouzmina N.A. Assessing Population Responses to Climate in Pinussylvestris and Larix spp. of Eurasia with Climate-Transfer Models // Eurasian J. For. Res., 2003, v. 6–2, pp. 83–98.

[3] Reich P.B., Oleksyn J. Climate warming will reduce growth and survival of Scots pine except in the far north // Ecol. Letter., 2008, v. 11(6), pp. 588–597. DOI: 10.1111/j.1461-0248.2008.01172.x
[4] Matías L., Jump A.S. Impacts of predicted climate change on recruitment at the geographical limits of Scots pine // J. of Experimental Botany, 2014, v. 65, no. 1, pp. 299–310. DOI:10.1093/jxb/ert376
[5] Nakvasina E.N., Prozherina N.A. Scots pine (*Pinus sylvestris* L.) reaction to climate change in the provenance tests in the north of the Russian plain // Folia Forestalia Polonica, Series A – Forestry, 2021, v. 63 (2), pp. 138–149.
[6] Милютин Л.И., Новикова Т.Н. Дискуссионные проблемы лесной генетики и селекции // Лесоведение, 2019. № 6. С. 586–589.
[7] Правдин Л.Ф. Сосна обыкновенная. Изменчивость, внутривидовая систематика и селекция. М.: Наука, 1964. 190 с.
[8] Попов П.П. Ель европейская и сибирская: структура, интеграция и дифференциация популяционных систем. Новосибирск: Наука, 2005. 231 с.
[9] Петрова И.В., Санников С.Н. Изоляция и феногенетическая дифференциация равнинных и горных популяций сосны обыкновенной в Северной Евразии // Генетические и экологические исследования в лесных экосистемах. Екатеринбург: Изд-во УрО РАН, 2001. С. 4–72.
[10] Видякин А.И., Санников С.Н., Петрова И.В., Санникова Н.С. Постгляциальная миграция и феногеография популяций сосны обыкновенной (*Pinus sylvestris* L.) на Северо-Востоке Русской равнины // Известия РАН. Сер. биол., 2014. № 3. С. 304–308.
[11] Абдуллина Д.С., Петрова И.В. Дифференциация популяций сосны обыкновенной по фенотипическим признакам на северо-восточном пределе ареала // Аграрный вестник Урала, 2012. № 9 (101). С. 34–36.
[12] Видякин А.И. Основные итоги феногеногеографического исследования популяционно-хорологической структуры сосны обыкновенной на Северо-Востоке Русской равнины // Вестник института биологии, 2012, № 3. С. 15–19.
[13] Бессчетнова Н.Н. Сосна обыкновенная (*Pinus sylvestris* L.). Репродуктивный потенциал плюсовых деревьев. Нижний Новгород: Изд-во НГСА, 2015. 586 с.
[14] Белецкий И.Б. Об использовании естественных насаждений для обеспечения Мурманской области доброкачественными семенами местного происхождения // Рубки и восстановления леса на Севере. Архангельск: Северо-Западное книжн. изд-во, 1968. С. 167–180.
[15] Наквасина Е.Н., Бедрицкая Т.В. Семенные плантации северных экотипов сосны обыкновенной. Архангельск: Изд-во Поморского университета, 1999. 140 с.
[16] Сурсо М.В. Фенология репродуктивных циклов и качество семян хвойных (Pinaceae, Cupressaceae) в северной тайге // Arctic Environmental Research., 2017. Т. 17. № 4. С. 355–367.
[17] Oleksyn J., Tjoelker M.G., Reich P.B. Adaptation to changing environment in Scots pine populations across a latitudinal gradient // Silva Fennica, 1998, v. 32(2), pp. 129–140.
[18] Leites L.P., Robinson A.P., Rehfeldt G.E., Marshall J.D., Crookston N.L. Height-growth response to climatic changes differs among populations of Douglas-fir: a novel analysis of historic data // Ecological Applications, 2012, v. 22(1), pp. 154–165.
[19] Наквасина Е.Н., Юдина О.А., Прожерина Н.А., Камалова И.И., Минин Н.С. Географические культуры в ген-экологических исследованиях на Европейском Севере. Архангельск: Изд-во АГТУ, 2008. 308 с.
[20] Rieksts-Riekstins J., Jansons A., Smilga J., Baumanis I., Ray D., Connolly T. Climate suitability effect on tree growth and survival for scots pine provenance in Latvia // Research for rural development, 2014, v. 2 pp. 57–62.
[21] Gömöry D., Longauer R., Hlásny T., Palacaj M., Strmeň S., Krajmerova D. Adaptation to common optimum in different populations of Norway spruce (Picea abies Karst.) // European J. of Forest Research, 2012, v. 131, pp. 401–411.
[22] Курнаев С.Ф. Лесорастительное районирование СССР. М.: Лесная пром-сть, 1973. 240 с.
[23] Попов А.В., Велисевич С.Н. Внутрипопуляционная изменчивость качества шишек и семян кедра сибирского на плантации с разреженной посадкой // Лесной вестник / Forestry Bulletin, 2021. Т. 25. № 3. С. 34–41. DOI: 10.18698/2542-1468-2021-3-34-41
[24] Ромедер Э., Шенбах Г. Генетика и селекция лесных пород. М.: Сельхозиздат, 1962. 268 с.
[25] Зацепина К.Г., Тараканов В.В., Кальченко Л.И., Экарт А.К., Ларионова А.Я. Дифференциация популяций сосны обыкновенной в ленточных борах Алтайского края, выявленная с применением маркеров различной природы // Сибирский лесной журнал, 2016. № 5. С. 21–32
[26] Санников С.Н., Петрова И.В. Филогеногеография и генотаксономия популяций вида *Pinus sylvestris* L. // Экология, 2012. № 4. С. 252–260.
[27] Magnani F, Nolè A, Ripullone F, Grace J. Growth patterns of Pinus sylvestris across Europe: a functional analysis using the HYDRALL model // iForest, 2009, no. 2, pp. 162–171. DOI: 10.3832/ifor0516-002
[28] Пименов А.В. Биоразнообразие сосны обыкновенной (*Pinus sylvestris* L.) в контрастных экотопах юга Сибири: автореф. дис. …. д-ра биол. наук: 03.02.01 «Ботаника». Красноярск, Институт леса им. В.Н. Сукачева, 2015. 40 с.
[29] Чупров А.В., Наквасина Е.Н., Прожерина Н.А Изменчивость шишек сосны обыкновенной (*Pinus sylvestris* L.), произрастающей в географических культурах Архангельской области // Лесной вестник / Forestry Bulletin, 2021. Т. 25. № 3. С. 24-33. DOI: 10.18698/2542-1468-2021-3-24-33

Сведения об авторах

Наквасина Елена Николаевна✉ — д-р с.-х. наук, профессор, ФГАОУ ВО «Северный (Арктический) федеральный университет имени М.В. Ломоносова» (САФУ), nakvasina@yandex.ru

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

Чупров Алексей Владимирович — аспирант, ФГАОУ ВО «Северный (Арктический) федеральный университет имени М.В. Ломоносова» (САФУ), ст. спец. 1-го разряда управления использования лесов и договорных отношений Министерства природных ресурсов и лесопромышленного комплекса Архангельской области (Минлеспром АО), alexchuprov@mail.ru

Поступила в редакцию 23.01.2023.
Одобрено после рецензирования 16.03.2023.
Принята к публикации 25.05.2023.

SCOTS PINE (*PINUS SYLVESTRIS* L.) CONE FORMATION UNDER CHANGING CLIMATE

E.N. Nakvasina[1]✉, N.A. Prozherina[2], A.V. Chuprov[3]

[1]Northern (Arctic) Federal University named after M.V. Lomonosov (NArFU), Severnaya Dvina emb., 17, 163002, Arkhangelsk, Russia
[2]N. Laverov Federal Center for Integrated Arctic Research of the Ural Branch of the Russian Academy of Sciences, Nikolsky pr., 20, 163020, Arkhangelsk, Russia
[3]Ministry of Natural Resources and Forestry of Arkhangelsk Region, Vyucheyskogo St., 18, 163000 Arkhangelsk, Russia

nakvasina@yandex.ru

On the example of a number of provenances of the Scots pine (*Pinus sylvestris* L.) of 39 years of age, growing in provenance tests of the Arkhangelsk region (62°54´ n. w.), as well as natural plantings, the reaction of morfometric indicators of mature macrostrobiles (cones) is shown to change the climatic conditions of growth. It is shown that the formation of cones in the offspring of the provenance of Scots pine from the Murmansk region (67°51´ s. w.) and from the Leningrad region (60°00´ s. sh.) occurs with morphometric deviations associated with a reaction to simulated warming or cooling compared to the location of the original plantings. The manifestation of a response to both warming and cooling has been established in direct and derived indicators of cones and their structural parts, as well as in the form diversity of cones. The manifestations of different levels of genetic control over the response of linear and mass indicators during the formation of cones in altered environmental conditions are shown, which can lead to a change in the density of the cone tissues. It is proved that during climatic changes, the parameters of cones will change — weight, size, with relative preservation of morphotypes (apophysis forms), which can lead to a change in the number of fertile seed scales, their dimension and affect the yield of seeds. It has been established that the reaction of the scots pine to climatic changes by the vegetative and generative spheres shows its rather similar direction of manifestation during cooling and warming, and can be associated with both the characteristics of populations and their geographical location in the area of the breed.
Keywords: Scots pine, provenances, diameter, height, cones, biometrics, climate change, response

Suggested citation: Nakvasina E.N., Prozherina N.A., Chuprov A.V. *Formirovanie shishek sosny obyknovennoy (Pinus sylvestris L.) v usloviyakh izmeneniya klimata* [Scots pine (*Pinus sylvestris* L.) cone formation under changing climate]. Lesnoy vestnik / Forestry Bulletin, 2023, vol. 27, no. 4, pp. 36–46.
DOI: 10.18698/2542-1468-2023-4-36-46

Reference

[1] Milyutin L.I., T.N. Novikova, V.V. Tarakanov, I.V. Tihonova. *Sosna stepnyh i lesostepnyh borov Sibiri* [Pine of steppe and forest-steppe forests of Siberia]. Novosibirsk: Geo, 2013, 127 p.
[2] Rehfeldt G.E., Tcebakova N.M., Milyutin L.I., Parfenova E.I., Wykoff W.R., Kouzmina N.A. Assessing Population Responses to Climate in Pinussylvestris and Larix spp. of Eurasia with Climate-Transfer Models. Eurasian J. For. Res., 2003, v. 6–2, pp. 83–98.
[3] Reich P.B., Oleksyn J. Climate warming will reduce growth and survival of Scots pine except in the far north. Ecol. Letter., 2008, v. 11(6), pp. 588–597. DOI: 10.1111/j.1461-0248.2008.01172.x
[4] Matías L., Jump A.S. Impacts of predicted climate change on recruitment at the geographical limits of Scots pine. J. of Experimental Botany, 2014, v. 65, no. 1, pp. 299–310. DOI:10.1093/jxb/ert376
[5] Nakvasina E.N., Prozherina N.A. Scots pine (*Pinus sylvestris* L.) reaction to climate change in the provenance tests in the north of the Russian plain. Folia Forestalia Polonica, Series A – Forestry, 2021, v. 63 (2), pp. 138–149.

[6] Milyutin L.I., Novikova T.N. *Diskussionnye problemy lesnoj genetiki i selekcii* [Debatable problems of forest genetics and breeding]. *Lesovedenie* [Forestry], 2019. No. 6. pp. 586-589.
[7] Pravdin L.F. *Sosna obyknovennaya. Izmenchivost', vnutrividovaya sistematika i selektsiya* [Common pine. Variability, intraspecific taxonomy and selection]. Moscow: Nauka, 1964, 190 p.
[8] Popov P.P. *El' evropeyskaya i sibirskaya: struktura, integratsiya i differentsiatsiya populyatsionnykh sistem* [European and Siberian spruce: structure, integration and differentiation of population systems]. Novosibirsk: Nauka, 2005, 231 p.
[9] Petrova I.V., Sannikov S.N. *Izolyatsiya i fenogeneticheskaya differentsiatsiya ravninnykh i gornykh populyatsiy sosny obyknovennoy v Severnoy Evrazii* [Isolation and phenogenetic differentiation of plain and mountain populations of Scots pine in Northern Eurasia]. Geneticheskie i ekologicheskie issledovaniya v lesnykh ekosistemakh [Genetic and ecological research in forest ecosystems]. Yekaterinburg: Ural Branch of the Russian Academy of Sciences, 2001, pp. 4–72.
[10] Vidyakin A.I., Sannikov S.N., Petrova I.V., Sannikova N.S. *Postglyatsial'naya migratsiya i fenogeografiya populyatsiy sosny obyknovennoy (Pinus sylvestris L.) na Severo-Vostoke Russkoy ravniny* [Postglacial migration and phenogeography of populations of Scots pine (*Pinus sylvestris* L.) in the North-East of the Russian Plain]. Izvestiya RAN. Seriya biologicheskaya [News of the Russian Academy of Sciences. Biological series], 2014, no. 3, pp. 304–308.
[11] Abdullina D.S., Petrova I.V. *Differentsiatsiya populyatsiy sosny obyknovennoy po fenotipicheskim priznakam na severo-vostochnom predele areala* [Differentiation of populations of Scots pine by phenotypic features in the North-eastern limit of the range]. Agrarnyy vestnik Urala [Agrarian Bulletin of the Urals] , 2012, no. 9 (101), pp. 34–36.
[12] Vidyakin A.I. *Osnovnye itogi fenogenogeograficheskogo issledovaniya populyatsionno-khorologicheskoy struktury sosny obyknovennoy na Severo-Vostoke russkoy ravniny* [The main results of the pheno-geographical study of the population-chorological structure of the Scots pine in the North-East of the Russian plain]. Vestnik instituta biologii [Bulletin of the Institute of Biology], 2012, no. 3, pp. 15–19.
[13] Besschetnova N.N. *Sosna obyknovennaya (Pinus sylvestris L.). Reproduktivnyy potentsial plyusovykh derev'ev* [Common pine (*Pinus sylvestris* L.). Reproductive potential of plus trees]. Nizhny Novgorod: NGSA, 2015, 586 p.
[14] Beletskiy I.B. *Ob ispol'zovanii estestvennykh nasazhdeniy dlya obespecheniya Murmanskoy oblasti dobrokachestvennymi semenami mestnogo proiskhozhdeniya* [On the use of natural plantings to provide the Murmansk region with good-quality seeds of local origin]. Rubki i vosstanovleniya lesa na Severe [Logging and restoration of forests in the North]. Arkhangelsk: Severo-Zapadnoe knizhn. izd-vo, 1968, pp. 167–180.
[15] Nakvasina E.N., Bedritskaya T.V. *Semennye plantatsii severnykh ekotipov sosny obyknovennoy* [Seed plantations of northern ecotypes of Scots pine]. Arkhangelsk: Publishing House of Pomeranian University, 1999, 140 p.
[16] Surso M.V. *Fenologiya reproduktivnykh tsiklov i kachestvo semyan khvoynykh (Pinaceae, Cupressaceae) v severnoy tayge* [Phenology of reproductive cycles and quality of coniferous seeds (Pinaceae, Cupressaceae) in the Northern taiga]. Arctic Environmental Research, 2017, v. 17, no. 4, pp. 355–367.
[17] Oleksyn J., Tjoelker M.G., Reich P.B. Adaptation to changing environment in Scots pine populations across a latitudinal gradient // Silva Fennica, 1998, v. 32(2), pp. 129–140.
[18] Leites L.P., Robinson A.P., Rehfeldt G.E., Marshall J.D., Crookston N.L. Height-growth response to climatic changes differs among populations of Douglas-fir: a novel analysis of historic data // Ecological Applications, 2012, v. 22(1), pp. 154–165.
[19] Nakvasina E.N., Yudina O.A., Prozherina N.A., Kamalova I.I., Minin N.S. *Geograficheskie kul'tury v gen-ekologicheskikh issledovaniyakh na Evropeyskom Severe* [Geographical cultures in gen-ecological research in the European North]. Arkhangelsk: Arhang. State Tech. Univ., 2008, 308 p.
[20] Rieksts-Riekstins J., Jansons A., Smilga J., Baumanis I., Ray D., Connolly T. Climate suitability effect on tree growth and survival for scots pine provenance in Latvia. Research for rural development, 2014, v. 2 pp. 57–62.
[21] Gömöry D., Longauer R., Hlásny T., Palacaj M., Strmeň S., Krajmerova D. Adaptation to common optimum in different populations of Norway spruce (Picea abies Karst.). European J. of Forest Research, 2012, v. 131, pp. 401–411.
[22] Kurnaev S.F. Lesorastitel'noe rayonirovanie SSSR [Forest — growing zoning of the USSR]. Moscow: Lesnaya prom-st', 1973, 240 p.
[23] Popov A.V., Velisevich S.N. *Vnutripopulyatsionnaya izmenchivost' kachestva shishek i semyan kedra sibirskogo na plantatsii s razrezhennoy posadkoy* [Intrapopulation variation of Siberian stone pine cones and seeds quality in spaced planting plots]. Lesnoy vestnik / Forestry Bulletin, 2021, vol. 25, no. 3, pp. 34–41. DOI: 10.18698/2542-1468-2021-3-34-41
[24] Romeder E., Shenbakh G. *Genetika i selektsiya lesnykh porod* [Genetics and breeding of forest breeds]. Moscow: Agricultural Publishing House, 1962, 268 p.
[25] Zatsepina K.G., Tarakanov V.V., Kal'chenko L.I., Ekart A.K., Larionova A.Ya. *Differentsiatsiya populyatsiy sosny obyknovennoy v lentochnykh borakh Altayskogo kraya, vyyavlennaya s primeneniem markerov razlichnoy prirody* [Differentiation of populations of scots pine in the ribbon forests of the Altai Territory, revealed using markers of different nature]. Sibirskiy lesnoy zhurnal [Siberian Forest Journal], 2016, no. 5, pp. 21–32.
[26] Sannikov S.N., Petrova I.V. *Filogenogeografiya i genotaksonomiya populyatsiy vida Pinus sylvestris L.* [Phylogenogeography and genotaxonomy of populations of the species Pinus sylvestris L.]. *Ekologiya* [Ecology], 2012, no. 4, pp. 252–260.
[27] Magnani F, Nolè A, Ripullone F, Grace J. Growth patterns of Pinus sylvestris across Europe: a functional analysis using the HYDRALL model. iForest, 2009, no. 2, pp. 162–171. DOI: 10.3832/ifor0516-002
[28] Pimenov A.V. *Bioraznoobrazie sosny obyknovennoy (Pinus sylvestris L.) v kontrastnykh ekotopakh yuga Sibiri* [Biodiversity of Scots pine (Pinus sylvestris L.) in contrasting ecotopes of Southern Siberia]. Dis. Dr. Sci. (Biol.) 03.02.01 «Botanika». Krasnoyarsk: V.N. Sukachev Forest Institute, 2015, 40 p.
[29] Chuprov A.V., Nakvasina E.N., Prozherina E.A. *Izmenchivost' shishek sosny obyknovennoy* (*Pinus sylvestris L.), proizrastayushchey v geograficheskikh kul'turakh Arkhangel'skoy oblasti* [Scots pine (*Pinus sylvestris* L.) cones phenotypic variation growing in provenance trials of Arkhangelsk region]. Lesnoy vestnik / Forestry Bulletin, 2021, vol. 25, no. 3, pp. 24–33. DOI: 10.18698/2542-1468-2021-3-24-33

Authors' information

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

Prozherina Nadezhda Aleksandrovna — Cand. Sci. (Biology), Senior Researcher of the Federal Center for Integrated Arctic Research named after N.P. Laverov, pronad1@yandex.ru

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

Received 23.01.2023.
Approved after review 16.03.2023.
Accepted for publication 25.05.2023.

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

УДК 631.46
DOI: 10.18698/2542-1468-2023-4-47-59
Шифр ВАК 4.1.3

БИОЛОГИЧЕСКАЯ АКТИВНОСТЬ БУРОЗЕМОВ СТАРОВОЗРАСТНЫХ ВЫРУБОК ЗАПАДНОГО КАВКАЗА

А.К. Шхапацев[1]✉, К.Ш. Казеев[2], Ю.С. Козунь[2], В.П. Солдатов[2], А.Н. Федоренко[2], С.И. Колесников[2]

[1]ФГБОУ ВО «Майкопский государственный технологический университет», Россия, 385000, Республика Адыгея, г. Майкоп, ул. Первомайская, д. 191
[2]Южный федеральный университет, Россия, 344006, г. Ростов-на-Дону, ул. Б. Садовая, д. 105/42

f_agr_technolog@mkgtu.ru

Выявлены особенности экологического состояния и биологической активности буроземов (бурые лесные или Cambisols) старовозрастных вырубок низкогорий (500–700 м н. у. м.) Западного Кавказа по сравнению с почвами фоновых лесов Кавказского биосферного заповедника. Растительность контрольного леса представлена буково-пихтовым трехъярусным мертво-покровным лесом. Исследуемые буроземы близки по основным параметрам климата, рельефа, почвообразующих пород и гранулометрическому составу. Обнаружены значительные изменения некоторых химических и биологических показателей буроземов фонового леса и вырубок на поздних стадиях восстановительной сукцессии. Найдены значения интегрального показателя биологического состояния буроземов вырубок разного возраста, рассчитанного по девяти различным показателям существенно превышают значения почв контрольного леса (на 21…23 %). Основная причина этого явления — активизация биологических процессов в буроземах вырубок в результате развития травянистого напочвенного покрова после сведения леса.

Ключевые слова: биоиндикация, биодиагностика, ферментативная активность, почвенный покров, сукцессии

Ссылка для цитирования: Шхапацев А.К., Казеев К.Ш., Козунь Ю.С., Солдатов В.П., Федоренко А.Н., Колесников С.И. Биологическая активность буроземов старовозрастных вырубок Западного Кавказа // Лесной вестник / Forestry Bulletin, 2023. Т. 27. № 4. С. 47–59. DOI: 10.18698/2542-1468-2023-4-47-59

Лесные экосистемы Кавказа являются крупнейшими слабонарушенными природными экосистемами на юге европейской территории России с высоким разнообразием флоры и фауны. Однако и здесь антропогенное воздействие постоянно усиливается, что обуславливает трансформацию экосистем и изменение экологических функций почв. Почвы — важный компонент наземных экосистем, определяющий их продуктивность. В предгорной и горной зонах юга европейской территории России почвы подвергаются значительному воздействию в ходе их интенсивного использования. Зональными почвами горных территорий Западного Кавказа являются буроземы и серые лесные почвы, а также серые лесостепные и дерново-карбонатные почвы [1]. Антропогенное воздействие, особенно вырубка лесов, приводит к деградации природных экосистем, почв и почвенного покрова [2, 3]. Для диагностики экологического состояния окружающей среды широко используют биоиндикацию и биодиагностику [4–7]. При оценке плодородия и качества почв широко используются методы почвенной энзимологии [8–11]. Ферментативную активность успешно применяют на юге России при оценке экологического состояния почв после агрогенного воздействия [12–15] и пожаров [16–18].

Исследования сукцессионных изменений лесных экосистем на Западном Кавказе были проведены сотрудниками Центра по проблемам экологии и продуктивности лесов РАН [19, 20]. Было установлено, что запасы углерода в минеральных горизонтах почв суббореальных лесов связаны с отношением C/N в подстилке, проективным покрытием верхнего полога деревьев и видовой насыщенностью растений [19]. Выявлено, что в почвах «окон» в пологе леса на участках, освободившихся после падения деревьев, в результате восстановительной сукцессии активизируются биологические процессы и депонирование органического углерода [20]. Об изменении содержания органического углерода и активности ферментов при различных нарушениях лесов сообщали и другие ученые [21, 22]. Восстановление леса и облесение территорий способствуют повышению активности каталазы, дегидрогеназ, уреазы и других ферментов [23].

Исследования проводились в рамках комплексной оценки направления эволюции почв хронорядов с разной продолжительностью после сведения леса в результате сплошных рубок. Ранее были проведены исследования карболитоземов

© Автор(ы), 2023

Рис. 1. Контрольный лес буковый мертвопокровный, Кавказский заповедник
Fig. 1. Control beech deadwood forest, Kavkazsky Reserve

в хроноряду от одной недели до 12 лет после рубки [24–26], серых лесостепных почв на террасе р. Белая близ станицы Даховская (хроноряд 5…15 лет) [26], а также серых лесных почв хроноряда 10…40 лет на склонах хребта Уна-Коз и горы Гуд недалеко от слияния рек Дах и Белая [27]. В результате проведенных исследований было выявлено, что биологическая активность почв Западного Кавказа значительно изменяется после сведения лесов и восстанавливается с разной скоростью в зависимости от типа почвы, степени их нарушения по мере увеличения возраста вырубок. Однако возврата до исходных значений биологической активности не происходит и за 40 лет восстановительной сукцессии. Основным деградационным фактором, снижающим биологическую активность, является эрозия, развивающаяся на склоновых территориях после сведения леса.

Цель работы

Цель работы — сравнительный анализ биологической активности буроземов старовозрастных вырубок и контрольных почв фоновых участков леса Кавказского государственного природного биосферного заповедника.

Материалы и методы

В настоящую работу вошли результаты исследований, проведенных в 2019–2021 гг. Исследуемая территория относится к Западной горной провинции Большого Кавказа. Среднегодовое количество осадков составляет 1200 мм. Среднегодовая температура — +10,3 °С. Высота над уровнем моря 500…700 м. Контрольные участки леса расположены в Кавказском государственном природном биосферном заповеднике (далее — Кавказский заповедник) около впадения р. Молчепа в р. Белая (пос. Гузерипль, Республика Адыгея). Здесь распространены старовозрастные пихто-буковые (*Fagus orientalis* и *Abies nordmanniana*) мертвопокровные леса в терминальной стадии (рис. 1, табл. 1). Вырубки возрастом 40…50 и 90…110 лет (рис. 2, 3, табл. 2) расположены в 35 км от контрольных участков леса в сходных условиях климата, рельефа, высоты местности над уровнем моря и почвообразующих пород около пос. Отдаленный (Апшеронский район Краснодарского края) в нижней части склона р. Пшеха (левый приток р. Белая). Различия между участками состоят прежде всего в растительности. На старовозрастных вырубках отмечены поздние стадии восстановительных сукцессий после сплошных рубок леса. Мезорельеф всех исследуемых участков характеризуется нижними частями пологих склонов (от 1…2 до 6…8°). В почвенном покрове доминируют зональные почвы среднегорий Кавказа — буроземы на элювии глинистых сланцев (рис. 5). Эти почвы выделены Э. Раманном в 1905 г. как новый тип, характерный для умеренно-теплых и умеренно-влажных лесов Европы [28]. Буроземы горных территорий Кавказа и Крыма подробно описаны в работах [1, 29].

На фоновой территории (контроль) и каждой вырубке было исследовано по 3 участка на расстоянии 200…500 м один от другого, на которых отобрано по три почвенных образца почв рандомно на расстоянии нескольких метров друг от друга. Глубина отбора образцов составляла 0…10 см, в нескольких случаях отбор проводили по всему почвенному профилю.

Температуру почв определяли послойно электронным термометром HANNA CHECTEMP и бесконтактным пирометром DT-810 CEM, влажность почвы — с помощью влагомера Fieldscout TDR 100 в 10-кратной повторности, плотность сложения почвы — в 3-кратной повторности объемно-весовым методом с помощью стальных колец объемом 135 см^3. Интенсивность эмиссии почвами CO_2 исследована в полевых условиях камерным методом газоанализатором Testo-535 [30, 31].

Лабораторно-аналитические исследования проведены в лабораториях Академии биологии и биотехнологии им. Д.И. Ивановского Южного федерального университета с помощью традиционных методов исследований [31–33]. Структурно-агрегатный анализ почвы проводили методом сухого просеивания почвы через колонку сит с размерами ячеек от 10 мм до 0,25 мм по Н.И. Саввинову. Метод определения водопрочности агрегатов по Адрианову основан на учете агрегатов, расплывшихся в воде за определенный промежуток времени. Реакцию среды pH (водный и солевой) определяли в почвенной вытяжке (по-

Рис. 2. Осиново-грабовый жимолостно-разнотравный лес, 40…50 лет после рубки
Fig. 2. Aspen-hornbeam honeysuckle-grass forest, 40...50 years after felling

Рис. 3. Буково-пихтово-грабовый лес, 90…110 лет после рубки
Fig. 3. Beech-fir-hornbeam forest, 90...110 years after logging

Таблица 1

Характеристика контрольных участков

Characteristics of control areas

Площадка	Высота над уровнем моря, м	Географические координаты	Растительность	Почва
К1	700	44°12.602′ с. ш., 40°11.543′ в. д.	Буково-пихтовый лес трехъярусный мертвопокровный	Бурозем кислый слабокаменистый
К2	717	43°59.531′ с. ш., 40°08.160′ в. д.	Пихто-букняк трехъярусный мертвопокровный, 7Б 3П	Бурозем кислый слабокаменистый
К3	703	44°00.000′ с. ш., 40°08.544′ в. д.	Буко-пихтарник, 6П 4Б, мертвопокровный	Бурозем кислый

Таблица 2

Характеристика участков вырубок

Characteristics of felling sites

Площадка	Возраст вырубки, лет	Высота над уровнем моря, м	Географические координаты	Растительность	Почва
М1	40…50	532	44°04.001′ с. ш., 039°42.949′ в. д.	Осиново-грабовый жимолостно-разнотравный лес	Бурозем кислый
М2		510	44°04.151′ с. ш., 039°42.782′ в. д		
М3		507	44°04.001′ с. ш., 039°42.649′ в. д.		
М4	90…110	511	44°03.785′ с. ш., 039°42.793′ в. д.	Буково-пихто-грабовый мелкотравный лес	Бурозем кислый
М5		517	44°03.942′ с. ш., 039°42.869′ в. д.		
М6		545	44°03.690′ с.ш., 039°43.063′ в.д.		Бурозем кислый слабокаменистый

чва : вода — 1 : 2,5) потенциометрическим методом на анализаторе АНИОН 4100.

Гидролитическую кислотность определяли по Каппену, сумму поглощенных оснований по Каппену — Гильковицу. Содержание подвижных форм азота и фосфора определяли традиционными методами: обменный аммоний с реактивом Несслера, нитратов — потенциометрическим методом и по Грандваль-Ляжу, подвижных форм фосфора — по Кирсанову.

Содержание общего гумуса определяли методом бихроматного окисления И.В. Тюрина в модификации Никитина. Определение активного углерода проводили окислением 0,02 М раствором перманганата калия методом Блейра в модификации Вейла [34]. О ферментативной

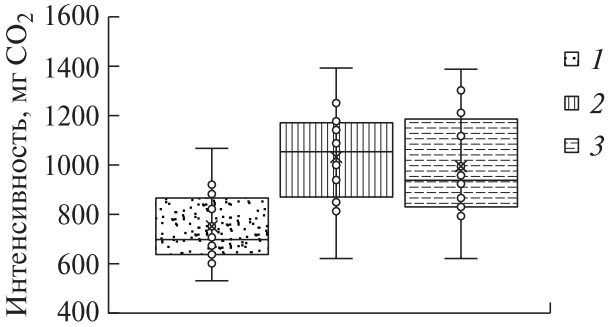


Рис. 4. Интенсивность эмиссии CO_2 буроземами, мг CO_2: *1* — вырубка, 40…50 лет; *2* — вырубка, 90…110 лет; *3* — лес контрольный

Fig. 4. Intensity of CO_2 emission by brown soil forests, mg CO_2: *1* — harvesting, 40...50 years; *2* — harvesting, 90...110 years; *3* — control forest

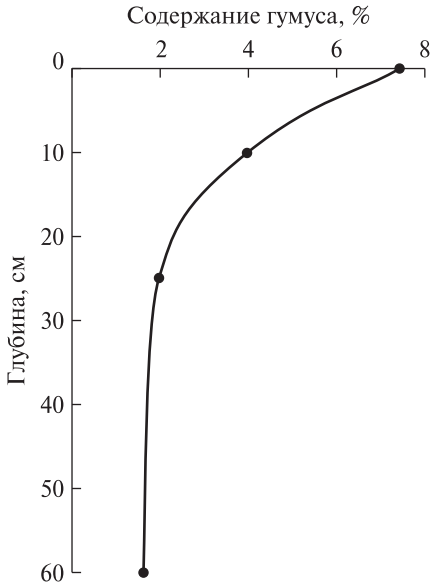


Рис. 5. Профильное распределение содержания гумуса в буроземе с глубиной, контрольный лес

Fig. 5. Profile distribution of humus content in brown soil with depth, control forest

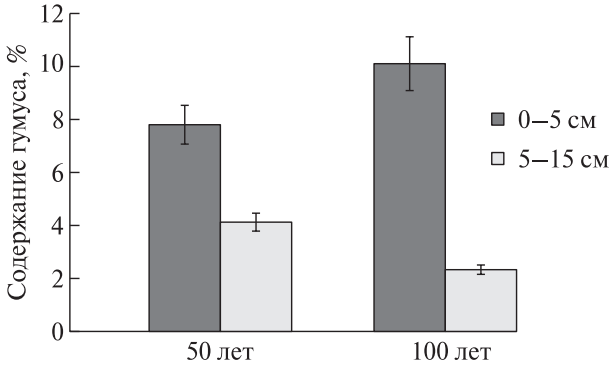


Рис. 6. Снижение содержания гумуса в буроземах вырубок с глубиной

Fig. 6. Decrease in humus content in brown soil of clearcuts with depth

активности почв судили по активности разных классов ферментов: оксидоредуктаз (каталаза, дегидрогеназы) и гидролаз — (β-фруктофуранозидаза (инвертаза), фосфатаза и уреаза) по скорости разложения субстратов: пероксида водорода, трифенилтетразолия хлористого, сахарозы, п-нитрофенилфосфата натрия, мочевины [31, 35]. Микробная биомасса определена регидратационным методом, общая численность микроорганизмов — люминесцентно-микроскопическим методом с окрашиванием акридином оранжевым на микроскопе Carl Zeiss Axio LabA1 [31].

Для определения различий в уровне биогенности и биологической активности разных почв определяли интегральный показатель биологического состояния (ИПБС) почвы. С его помощью можно оценить совокупность биологических показателей, выраженных в разных единицах, что позволяет нивелировать случайные колебания, характерные для большинства биологических параметров [31, 36]. Для расчета ИПБС за 100 % принимается максимальное значение каждого из показателей и по отношению к нему в процентах выражается значение этого же показателя в остальных образцах:

$$Б_1 = (Б_x / Б_{max}) \cdot 100\ \%,$$

где $Б_1$ — относительный балл показателя;

$Б_x$ — фактическое значение показателя;

$Б_{max}$ — максимальное значение показателя.

После этого рассчитывают средний оценочный балл изученных показателей ИПБС почвы — аналогично расчету относительного балла показателя.

Статистическая обработка результатов исследования проведена с использованием программ Statistica 10.0 и MS Excel.

Результаты и обсуждение

Исследуемые почвы обладают кислой реакцией среды, водный и солевой pH в почвах контрольного леса и старовозрастных вырубок практически идентичны (водный 5,6–5,7, солевой 4,1–4,3). Влажность буроземов разных территорий была на высоком уровне 28…33 % вследствие дождливого периода в летние месяцы во время исследований. Температурные характеристики в верхнем слое почвы также благоприятны для протекания биологических процессов +16…20 °С.

Агрегированность почвенной структуры на вырубках находится на высоком уровне независимо от возраста — 78…79 %. Это незначительно превышает контрольные значения почвы коренного леса в заповеднике. Также очень высоки значения водопрочности почвенных агрегатов — 79…83 % на вырубках и 99 % в контрольном лесу. Все это свидетельствует об оструктуренности

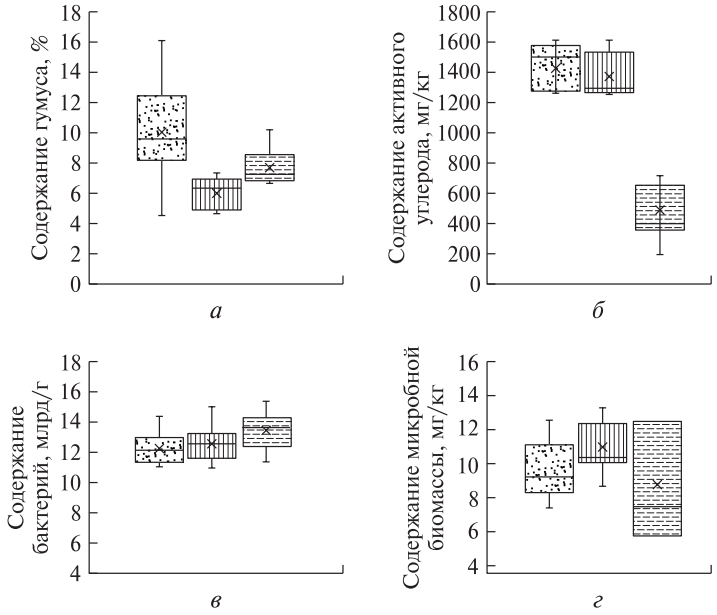


Рис. 7. Содержание гумуса (*а*), активного углерода (*б*), бактерий (*в*) и микробной биомассы (*г*) в буроземах (обозначение почв см. рис. 4)

Fig. 7. Content of humus (*а*), active carbon (*б*), bacteria (*в*) and microbial biomass (*г*) in burozems (see Fig. 4 for soils)

исследуемых буроземов, что обеспечивает им хорошую водопроницаемость в верхних горизонтах, но не спасает от оглеения в условиях высокого увлажнения, особенно при отсутствии уклонов, способствующих внутрипочвенному стоку. Развитию глеевого процесса препятствует также высокая скелетность буроземов, что типично для исследуемого региона. Однако на исследуемых участках уклоны местности и скелетность почв недостаточно выражены, поэтому оглеение почвы во влажные сезоны развивается, что находит отражение в морфологических проявлениях в виде сизоватых пятен и ржавых прожилок. Оглеение снижает биологическую активность, особенно ингибируя оксидазы, способствуя, однако стимулированию редуктаз и в случае незначительной выраженности оглеения — гидролаз [37, 38]. Близкие значения отмечены также для суммы обменных оснований на всех исследуемых участках 4,3…5,5 мг-экв./100 г почвы. А вот гидролитическая кислотность была значительно меньше в почвах вырубок разных возрастов — 2,8 мг-экв./100 г почвы по сравнению с контрольными значениями почвы в заповеднике — 6,0 мг-экв./100 г почвы. Поэтому и степень насыщенности основаниями в почвах вырубок (61…65 %) была существенно выше контроля (49 %).

Интенсивность дыхания почв на исследуемых участках высока и значительно варьирует, что требует увеличения количества повторностей для выявления достоверных различий. При этом выявлено, что на вырубках возрастом 40…50 лет значения эмиссии CO_2 из почв на 28 % ниже, чем на участках более старого возраста (рис. 4). Эмиссия CO_2 из почв контрольного участка леса практически равна таковой на участке вырубки возрастом 90…110 лет.

Содержание гумуса в поверхностном слое исследуемых буроземов по оценочной шкале [39, 40] среднее, что характерно для почв этого типа [1]. Мощность гумусо-аккумулятивного горизонта незначительна. Профильное распределение гумуса типично для большинства лесных почв (рис. 5). Содержание гумуса снижается с 7,4 % на глубине 0…10 см до 2,0 % на глубине 20…30 см. Это связано с характером поступления органических остатков в лесу с опадом на поверхность почвы. На вырубке возрастом 40…50 лет содержание гумуса практически одинаково с почвой контрольного участка леса (рис. 6, 7, *а*). Буроземы вырубок возрастом 90…110 лет имеют заметные отличия в профильном распределении гумуса, содержание которого в поверхностном слое возрастает до 10,1 %, в то время как в слое 5…15 см, наоборот, снижается с 4,1 до 2,3 %. Возможно, это связано с ослабеванием дернового процесса вследствие снижения роли напочвенного покрова из трав на последних стадиях восстановительной сукцессии по мере усиления затенения поверхности при смыкании крон деревьев. Количество опада увеличивается относительно более молодой вырубки, что приводит к накоплению гумуса в поверхностном слое почвы. Также на вырубках

старшего возраста имеет значение и повышение доли пихты, опад которой обладает большей устойчивостью к разложению геобионтами [20].

О высокой интенсивности аккумуляции гумуса в почвах старовозрастных вырубок свидетельствует и повышение содержания активного углерода, отражающего долю подвижного органического вещества (см. рис. 7, *б*).

Следует отметить, что нами исследованы минеральные горизонты почв без горизонта лесной подстилки, которая в значительной мере разлагается уже к середине вегетационного периода, однако имеет большое значение в биологических процессах. Возможно, для подобных исследований вместо традиционного метода определения содержания гумуса более корректно применение метода прокаливания образца почвы без предварительной очистки от корней растений и органических веществ.

Буроземы кислые старовозрастных вырубок Апшеронского лесничества в поверхностном горизонте по шкале Д.Г. Звягинцева [41] обладают средней обогащенностью бактериями — 4,1–4,2 млрд/г. Это незначительно меньше, чем в буроземах Кавказского заповедника (4,5 ± 0,2) (см. рис. 7, *в*). Ранее выявлено, что численность бактерий при лесовозобновлении меньше изменяется по сравнению с другими биологическими показателями [23]. Значительное время, прошедшее с момента рубки леса, привело к восстановлению обилия микроорганизмов в буроземах старовозрастных вырубок до уровня значений их обилия в почвах фоновых лесов Кавказского заповедника. При этом почвы вырубок 40…50 лет и 110…120 лет неразличимы по этому показателю, причем на разных участках обилие бактерий варьировало в довольно широких пределах — 3,7…5,0 млрд/г. Это связано со значительной неоднородностью лесных почв, обусловленной локальными особенностями растительности, микрорельефа, вывалов деревьев и др. На глубине 5…15 см численность бактерий значительно уменьшается — 3,0…3,6 млрд/г. Микробная биомасса в исследуемых почвах не имеет достоверных отличий вследствие высокой вариабельности показателя (см. рис. 7, *г*).

Ферментативная активность проявилась как информативный показатель в биологической диагностике исследуемых буроземов. Однако активность разных ферментов в исследуемых почвах имела специфические черты в зависимости от их группы и вида. Даже ферменты, относящиеся к одному классу, могут вести себя по-разному в почвах исследуемого хроноряда (рис. 8). Так, активность каталазы в почвах старовозрастных вырубок характеризуется очень высоким уровнем активности по шкале Д.Г. Звягинцева [41] и значительно (почти в 3–4 раза) превосходит почвы контрольного участка леса в Кавказском заповеднике, где активность этого фермента находится на среднем уровне обогащенности. Почвы участков с более длительным восстановлением (вырубка 90…110 лет) обладают на 45 % большей активностью, чем почвы вырубки возрастом 40…50 лет. Активность каталазы показывает высокую чувствительность при оценке степени деградации лесных почв [24–26], однако чаще всего слабо коррелирует с плодородием и продуктивностью почв [42, 12, 13]. Этот фермент обладает значительной устойчивостью и относительно низким варьированием [35, 42], однако на исследуемых участках варьирование было очень высоким — на вырубках 14…22 %, на контроле — 36 %. Выявлено, что активность дегидрогеназ максимальна в почве контрольного леса. Различия с почвами вырубок не столь существенны (на 7…17 %) для активности каталазы. При этом на вырубках выявлено значительно большее варьирование активности дегидрогеназ, чем в контрольном лесу. Активность ферментов группы гидролаз, отражающих напряженность циклов азота, углерода и фосфора, также была разной в исследуемых буроземах. Активность уреазы была максимальна в контрольном лесу и почти в 2 раза превышала значения этого фермента на вырубках. Инвертаза, напротив, в контрольном лесу обладала почти в 4 раза меньшей активностью, чем на вырубках. Активность фосфатазы также почти в 2 раза меньше в контрольном лесу по сравнению со старовозрастными вырубками. Существенные различия для активности уреазы, фосфатазы и инвертазы между почвами вырубок разного возраста не выявлены. Варьирование значений активности гидролитических ферментов, особенно уреазы, в исследуемых почвах было очень высоким.

Анализ полученных данных показал наличие взаимосвязей (коэффициент ранговой корреляции Спирмена) для некоторых показателей с высоким уровнем значимости ($\alpha = 0{,}05$). Так, содержание гумуса в поверхностном слое исследуемых почв коррелирует с содержанием поглощенных оснований ($R = 0{,}90$), структурностью (0,66), микробной биомассой (0,69), численностью бактерий (0,59) и активностью уреазы (0,46). Не установлена связь содержания гумуса с содержанием активного углерода и активностью инвертазы. Эти два показателя обычно тесно связаны с содержанием гумуса в почве [13, 14, 31, 42, 43]. В причинах этого предстоит разобраться в следующих исследованиях. Численность бактерий тесно связана с микробной биомассой ($R = 0{,}88$), а также влажностью (0,68), активностью инвертазы (0,56).

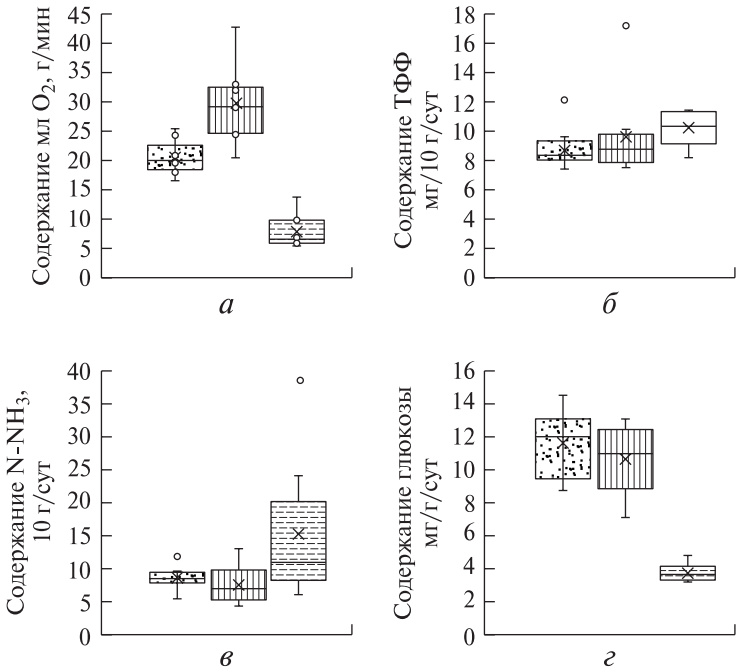


Рис. 8. Ферментативная активность буроземов вырубок (обозначение почв см. рис. 4): *а* — каталаза; *б* — дегидрогеназы; *в* — уреаза; *г* — инвертаза

Fig. 8. Enzymatic activity of brown soil in logged soils (for designation of soils, see Fig. 4): *а* — catalase; *б* —dehydrogenase; *в* — urease; *г* — invertase

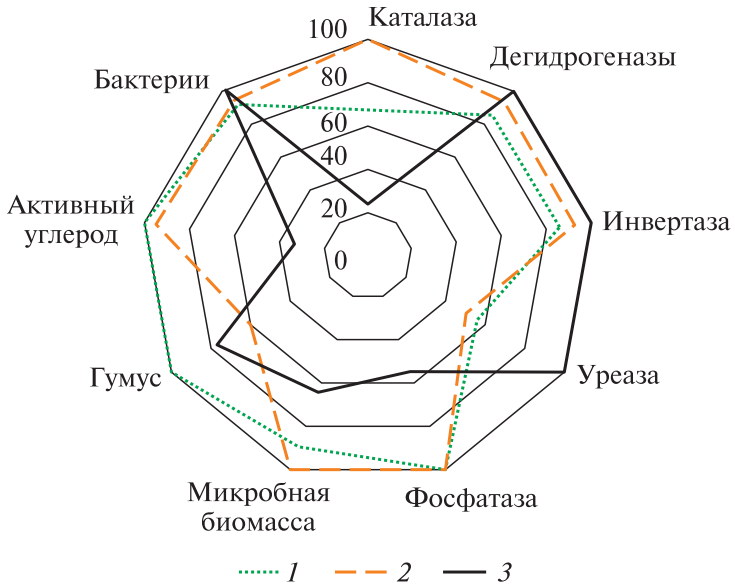


Рис. 9. Биологическая активность в буроземах (обозначения как на рис. 4)

Fig. 9. Biological activity in brown soils (designations as in Fig. 4)

С активностью дегидрогеназ у бактерий отмечена обратная связь (–0,53), в то время как для этих показателей ранее отмечали прямую связь [35]. Не было выявлено связи между ферментами, отражающими напряженность циклов азота и фосфора (уреазы и фосфатазы), и содержанием в почвах подвижных форм азота и фосфора. Об отсутствии связи и даже возможном подавлении активности ферментов от повышенных концентраций фосфора и азота указывали и другие исследователи [44, 45].

Для обобщения большого массива данных биологических параметров использовали методологию комплексной оценки с применением

ИПБС. Этот подход успешно использован ранее для диагностики экологического состояния почв различного генезиса, подверженных разным антропогенным воздействиям [6, 14, 15, 17, 35, 36, 42, 46]. Комплексная оценка с помощью ИПБС, рассчитанного с учетом девяти индивидуальных точек отбора по девяти показателям (численность бактерий, микробная биомасса, каталаза, дегидрогеназы, инвертаза, уреаза, фосфатаза, содержание гумуса и активного углерода) несмотря на значительные отклонения отдельных параметров, (рис. 9) показала более высокую биологическую активность почв на старовозрастных вырубках по сравнению с фоновыми участками леса. Различия в значениях ИПБС почв вырубок разного возраста практически отсутствуют, в то время как контрольные почвы по сравнению с ними на 23 % менее активны. О повышении биологической активности почв после рубки леса свидетельствуют и другие исследования. Так, для дерново-карбонатных почв Адыгеи установлена возможность значительного повышения биоразнообразия и биологической активности на периферийных участках вырубок уже в первые годы после сведения леса [24–27].

Выводы

Буроземы исследуемых участков контрольного леса и старовозрастных вырубок имеют существенные отличия в химических и биологических свойствах. Интегрированная оценка биологической состояния выявила существенное различие между буроземами фонового леса и вырубок. Причинами значительного увеличения ИПБС является активизация биологических процессов в буроземах после сведения леса в результате развития травянистой растительности, которая приводит к развитию дернового процесса и повышению биологической активности. Не выявлены различия в значениях ИПБС буроземов на старовозрастных вырубках в зависимости от времени после сведения леса.

Благодарности

Выражаем благодарность научному сотруднику Института географии РАН канд. геогр. наук Е.А. Грабенко и научному сотруднику Центра по проблемам экологии и продуктивности лесов РАН канд. биол. наук Н.Е. Шевченко за консультации и помощь в выборе объектов исследований.

Исследование выполнено при поддержке ведущей научной школы Российской Федерации (НШ-449.2022.5) и Программы стратегического академического лидерства Южного федерального университета («Приоритет 2030», № СП-12-22-9).

Список литературы

[1] Вальков В.Ф., Казеев К.Ш., Колесников С.И. Почвы Юга России. Ростов-на-Дону: Эверест, 2008. 276 с.

[2] Ивонин В.М., Тертерян А.В. Эрозия почвы во время ливней в производных лесах Северо-Западного Кавказа // Изв. вузов. Лесной журнал, 2015. № 1(343). С. 54–61.

[3] Дымов А.А. Влияние сплошных рубок в бореальных лесах России на почвы (обзор) // Почвоведение, 2017. № 7. С. 787–798. http://www.doi.org/10.7868/S0032180X17070024

[4] Creamer R.E., Hannula S.E., VanLeeuwen J.P., Stone D., Rutgers M., Schmelz R.M., deRuiter P.C. Hendriksen N.B., Bolger T., Bouffaud M.L., Buee M., Carvalho F., Costa D., Dirilgen T., Francisco R., Griffiths B.S., Griffiths R., Martin F., daSilva M.P., Mendes S., Morais P.V. Pereira C., Philippot L., Plassart P., Redecker D., Römbke J., Sousa J.P., Wouterse M., Lemanceau P. Ecological network analysis reveals the inter-connection between soil biodiversity and ecosystem function as affected by land use across Europe // Applied Soil Ecology, 2016, no. 97, pp. 112–124. https://doi.org/10.1016/j.apsoil.2015.08.006

[5] Thiele-Bruhn S., Schloter M., Wilke B.-M., Beaudette L. A., Martin-Laurent F., Cheviron N., Mougin C., Römbke J. Identification of new microbial functional standards for soil quality assessment // Soil, 2020, no. 6, pp. 17–34.

[6] Kozun Y.S., Kazeev K.Sh., Kolesnikov S.I. Climatic gradients of biological properties of zonal soils of natural lands // Geoderma, 2022, no. 425, p. 116031. https://doi.org/10.1016/j.geoderma.2022.116031

[7] Никитин Д.А., Семенов М.В., Чернов Т.И., Ксенофонтова Н.А., Железова А.Д., Иванова Е.А., Хитров Н.Б., Степанов А.Л. Микробиологические индикаторы экологических функций почв (обзор) // Почвоведение, 2022. № 2. С. 228–243. http: //www.doi.org/10.31857/S0032180X22020095

[8] Sinsabaugh R.L., Lauber C.L., Weintraub M.N., Ahmed B., Allison S.D., Crenshaw C., Contosta A.R., Cusack D., Frey S., Gallo M.E., Gartner T.B., Hobbie S.E., Holland K., Keeler B.L., Powers J.S., Stursova M., Takacs-Vesbach C., Waldrop M.P., Wallenstein M.D., Zak D.R., Zeglin L.H. Stoichiometry of soil enzyme activity at global scale // Ecology Letters, 2008, no. 11, pp. 1252–1264.

[9] Luo L., Meng H., Gu J.D. Microbial extracellular enzymes in biogeochemical cycling of ecosystems // J. of Environmental Management, 2017, no. 197(15), pp. 539–549. https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2017.04.023

[10] Cao R., Yang W., Chang C., Wang Z., Wang Q., Li H., Tan B. Differential seasonal changes in soil enzyme activity along an altitudinal gradient in an alpine-gorge region // Applied Soil Ecology, 2021, no. 166, p. 104078. https://doi.org/10.1016/j.apsoil.2021.104078

[11] Raiesi F., Pejman M. Assessment of post-wildfire soil quality and its recovery in semi-arid upland rangelands in Central Iran through selecting the minimum data set and quantitative soil quality index // Catena, 2021, no. 201, p. 105202. https://doi.org/10.1016/j.catena.2021.105202

[12] Горобцова О.Н., Минкина Т.М., Улигова Т.С., Темботов Р.Х., Хакунова Е.М. Биологическая активность горных и равнинных черноземов Центрального Кавказа (в границах Кабардино-Балкарии) // Поволжский экологический журнал, 2018. № 2. С. 183–196. https://doi.org/10.18500/1684-7318-2018-2-183-196

[13] Лыхман В.А., Безуглова О.С., Горовцов А.В., Полиенко Е.А. Влияние гуминового препарата на структурное состояние и биологическую активность чернозема обыкновенного карбонатного в динамике // Научный журнал Российского НИИ проблем мелиорации, 2018. № 3 (31). С. 100–120. DOI: 10.31774/2222-1816-2018-3-100-120

[14] Наими О.И., Безуглова О.С., Полиенко Е.А., Лыхман В.А., Горовцов А.В., Поволоцкая Ю.С., Дубинина М.Н., Патрикеев Е.С. Фосфатный режим и активность фосфатазы в черноземе обыкновенном при возделывании нута // Агрохимический вестник, 2020. № 3. С. 25–29. DOI: 10.24411/1029-2551-2020-10034
[15] Горобцова О.Н., Улигова Т.С., Гедгафова Ф.В., Темботов Р.Х., Хакунова Е.М. Биологическая активность почв в поясе широколиственных лесов Центрального Кавказа // Лесоведение, 2021. № 1. С. 78–92. http://www.doi.org/10.31857/S0024114821010046
[16] Габбасова И.М., Гарипов Т.Т., Комиссаров М.А., Сулейманов Р.Р., Суюндуков Я.Т., Хасанова Р.Ф., Сидорова Л.В., Комиссаров А.В., Сулейманов А.Р., Назырова Ф.И. Влияние пожаров на свойства степных почв Зауралья // Почвоведение, 2019. № 12. С. 1513–1523. DOI: 10.1134/S0032180X19120049
[17] Максимова Е.Ю Оценка применения гуминовых препаратов в качестве мелиорантов для рекультивации деградированных постпирогенных почв // Агрохимический вестник, 2018. № 1. С. 46–41.
[18] Vilkova V.V., Kazeev K.S., Kolesnikov S.I., Shkhapatsev A.K. Reaction of the enzymatic activity of soils of xerophytic forests on the Black sea coast in the Caucasus to the pyrogenic impact // Arid Ecosystems, 2022, no. 1, pp. 93–98.
[19] Лукина Н.В., Кузнецова А.И., Горнов А.В., Шевченко Н.Е., Тихонова Е.В., Тебенькова Д.Н., Орлова М.А., Гераськина А.П., Бахмет О.Н., Крышень А.М., Катаев А.Д. Аккумуляция углерода в лесных почвах и сукцессионный статус лесов. М.: Товарищество научных изданий КМК, 2018. 232 с.
[20] Шевченко Н.Е., Кузнецова А.И., Тебенькова Д.Н., Смирнов В.Э., Гераськина А.П., Горнов А.В., Грабенко Е.А., Тихонова Е.В., Лукина Н.В. Сукцессионная динамика растительности и запасы почвенного углерода в хвойно-широколиственных лесах Северо-Западного Кавказа // Лесоведение, 2019. № 3. С. 163–176. http://www.doi.org/10.1134/S0024114819030082
[21] Mayer M., Prescott C.E., Abaker W.E.A. Tamm Review: Influence of forest management activities on soil organic carbon stocks: A knowledge synthesis // Forest Ecology and Management, 2020, no. 466(15), p. 118127. https://doi.org/10.1016/j.foreco.2020.118127
[22] Xu M., Liu H., Zhang Q., Zhang Z., Ren C., Feng Y., Yang G., Han X., Zhang W. Effect of forest thinning on soil organic carbon stocks from the perspective of carbon-degrading enzymes // Catena, 2022, no. 218, p. 106560. https://doi.org/10.1016/j.catena.2022.106560
[23] Huang H., Tian D., Zhou L., Su H., Ma S., Feng Y., Z. Tang, Zhu J., Ji C., Fang J. Effects of afforestation on soil microbial diversity and enzyme activity: A meta-analysis // Geoderma, 2022, no. 423, p. 115961. https://doi.org/10.1016/j.geoderma.2022.115961
[24] Поляков А.И. Изменение горно-лесных экосистем Северного Кавказа вследствие вырубки леса // Изв. вузов. Северо-Кавказский регион. Естественные науки, 2010. № 4. С. 113–114.
[25] Тер-Мисакянц Т.А. Изменение биологических свойств дерново-карбонатных почв Кавказа после вырубки леса // Изв. вузов. Северо-Кавказский регион. Серия: Естественные науки. 2013. № 3 (175). С. 57–59.
[26] Казеев К.Ш., Солдатов В.П., Шхапацев А.К., Шевченко Н.Е., Грабенко Е.А., Ермолаева О.Ю., Колесников С.И. Изменение свойств дерново-карбонатных почв после сплошной рубки в хвойно-широколиственных лесах Северо-Западного Кавказа // Лесоведение, 2021. № 4. С. 426–436. http://www.doi.org/10.31857/S0024114821040069
[27] Shkhapatsev A.K., Soldatov V.P., Kazeev K.Sh., Grabenko E.A., Kolesnikov S.I. Biological activity of soils of low-mountain reliefs in Adygeya after forest felling // Indian J. of Ecology, 2021, no. 48(5), pp. 1383–1388.
[28] Фридланд В.М. Проблемы географии, генезиса и классификации почв. М.: Наука, 1986. 243 с.
[29] Костенко И.В. Атлас почв Горного Крыма. Киев: Редакция журнала «Аграрная наука», 2014. 184 с.
[30] Полевые методы исследования физических свойств и режимов почв / под ред. Е.В. Шеина. М.: Изд-во МГУ, 2001. 200 с.
[31] Казеев К.Ш., Колесников С.И., Акименко Ю.В., Даденко Е.В. Методы биодиагностики наземных экосистем. Ростов-на-Дону: Изд-во ЮФУ, 2016. 356 с.
[32] Воробьева Л.А. Химический анализ почв. М.: Изд-во МГУ, 1998. 272 с.
[33] Минеев В.Г. Агрохимия. М: ВНИИА им. Д.Н. Прянишникова, 2001. 689 с.
[34] Weil R., Islam K. R., Stine M.A., Gruver J.B., Samson-Liebig S.E. Estimating active carbon for soil quality assessment: A simple method for laboratory and field use // American J. of Alternative Agriculture, 2003, v. 18(1), pp. 3–17. http://www.doi.org/10.1079/AJAA200228
[35] Даденко Е.В., Казеев К.Ш., Колесников С.И. Методы определения ферментативной активности почв. Ростов-на-Дону: Изд-во ЮФУ, 2021. 174 с.
[36] Евстегнеева Н.А., Колесников С.И., Минникова Т.В., Тимошенко А.Н. Оценка экотоксичности тяжелых металлов, металлоидов и неметаллов, содержащихся в отходах предприятий горной промышленности // Горный информационно-аналитический бюллетень (научно-технический журнал). 2023. № 5-1. С. 73-85. DOI: 10.25018/0236_1493_2023_51_0_73
[37] Галстян А.Ш. Ферментативная активность почв Армении. Ереван: Айастан, 1974. 275 с.
[38] Кандашова К.А., Казеев К.Ш., Колесников С.И. Изменение эколого-биологических свойств почв юга России при оглеении // Известия вузов. Северо-Кавказский регион. Серия: Естественные науки, 2016. № 2 (190). С. 61–67.
[39] Орлов Д.С., Бирюкова О.Н., Розанова М.С. Реальные и кажущиеся потери органического вещества почвами Российской Федерации // Почвоведение, 1996. № 2. С. 197–207.
[40] Бирюков М.В., Бирюкова О.Н. Исследование воздействия гуминовых кислот с помощью бактериального люминесцентного теста // Вестник Московского университета. Серия 16: Биология, 2015. № 2. С. 35–38.
[41] Звягинцев Д.Г. Биологическая активность почв и шкалы для оценки некоторых ее показателей. // Почвоведение, 1978. № 6. С. 48–54.
[42] Казеев К.Ш., Колесников С.И., Вальков В.Ф. Биология почв Юга России. Ростов-на-Дону: ЦВВР, 2004. 350 с.
[43] Фаизова В.И. Ферментативная активность черноземов центрального Предкавказья // Вестник АПК Ставрополья, 2014. № 3. С. 154–157.
[44] Stone M.M., Weiss M.S., Goodale C.L, Adams M.B., Fernandez I.J., German D.P., Allison S.D. Temperature sensitivity of soil enzyme kinetics under N-fertilization in two temperate forests // Global Change Biology, 2012, no. 18(3), pp. 1173–1184. https://doi.org/10.1111/j.1365-2486.2011.02545.x
[45] Wu Y., Zhou H.K., Sun W., Zhao Q.F., Liang M., Chen W.J., Guo Z.Q., Jiang Y.K., Jiang Y., Liu G.B., Xue S. Temperature sensitivity of soil enzyme kinetics under N and P fertilization in an alpine grassland // China Science of The Total Environment, 2022, no. 838 (Part 1, 10), p. 156042. https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2022.156042
[46] Kolesnikov S., Minnikova T., Kazeev K., Akimenko Y., Evstegneeva N. Assessment of the ecotoxicity of pollution by potentially toxic elements by biological indicators of haplic chernozem of Southern Russia (Rostov region) // Water, Air, & Soil Pollution, 2022, no. 233, p. 18. https://doi.org/10.1007/s11270-021-05496-3

Сведения об авторах

Шхапацев Аслан Капланович✉ — канд. с.-х. наук, декан факультета аграрных технологий ФГБОУ ВО «Майкопский государственный технологический университет», f_agr_technolog@mkgtu.ru

Казеев Камиль Шагидуллович — д-р геогр. наук, профессор, директор Академии биологии и биотехнологии им. Д.И. Ивановского, Южный федеральный университет, Kamil_kazeev@mail.ru

Козунь Юлия Сергеевна — канд. биол. наук, доцент кафедры экологии и природопользования Академии биологии и биотехнологии им. Д.И. Ивановского, Южный федеральный университет, Kozun@sfedu.ru

Солдатов Василий Петрович — канд. биол. наук, лаборант-исследователь НОЦ «Экология и природопользование», Южный федеральный университет, Vsoldatov@sfedu.ru

Федоренко Анастасия Николаевна — мл. науч. сотр., магистрант Академии биологии и биотехнологии им. Д.И. Ивановского, Южный федеральный университет, Afedorenko@sfedu.ru

Колесников Сергей Ильич — д-р с.-х. наук, профессор, зав. кафедрой экологии и природопользования Академии биологии и биотехнологии им. Д.И. Ивановского, Южный федеральный университет, Kolesnikov@sfedu.ru

Поступила в редакцию 30.01.2023.
Одобрено после рецензирования 24.04.2023.
Принята к публикации 25.05.2023.

BIOLOGICAL ACTIVITY OF OLD-AGE CUTTINGS CAMBISOLS IN WESTERN CAUCASUS

A.K. Shkhapatsev[1]✉, K.Sh. Kazeev[2], Yu. S. Kozun[2], V.P. Soldatov[2], A.N. Fedorenko[2], S.I. Kolesnikov[2]

[1]Maikop State Technological University, 191, Pervomaiskaya st., 385000, Republic of Adygea, Maykop, Russia
[2]Southern Federal University, 105/42, B. Sadovaya st., 344006, Rostov-on-Don, Russia

f_agr_technolog@mkgtu.ru

The peculiarities of ecological state and biological activity of soils in old-growth logging areas (500–700 m above sea level) in the West Caucasus in comparison with the soils of background forests in the Caucasus Biosphere Reserve were revealed. Vegetation of the control forest is represented by beech-fir-tree-tiered dead-grass forest, in cuttings aged 40–50 and 90–110 years the vegetation is represented by aspen-hornbeam honeysuckle-grass and beech-fir-tree-hornbeam small-grass forests. In terms of climate, relief, soil-forming rocks, and granulometric composition, the studied Cambisols are similar in their characteristics. Significant changes in some chemical and biological indicators were revealed in the Cambisols of background forest and cuttings with late stages of regenerative succession. The values of the integral index of the biological state of Cambisols for cuttings of different age calculated according to 9 different indices are 100 and 98 % and significantly exceed the control values (77 %) of soils of the control forest. The reasons for this lie in the greater diversity and productivity of the vegetation ground cover, leading to the activation of biological processes in Cambisols.
Keywords: bioindication, biodiagnostics, enzymatic activity, soil cover, succession

Suggested citation: Shkhapatsev A.K., Kazeev K.Sh., Kozun Yu.S., Soldatov V.P., Fedorenko A.N., Kolesnikov S.I. *Biologicheskaya aktivnost' burozemov starovozrastnykh vyrubok Zapadnogo Kavkaza* [Biological activity of old-age cuttings cambisols in Western Caucasus]. Lesnoy vestnik / Forestry Bulletin, 2023, vol. 27, no. 4, pp. 47–59. DOI: 10.18698/2542-1468-2023-4-47-59

References

[1] Val'kov V.F., Kazeev K.Sh., Kolesnikov S.I. *Pochvy Yuga Rossii* [Soils of Southern Russia]. Rostov-na-Donu: Jeverest, 2008, p. 276.
[2] Ivonin V.M., Terteryan A.V. *Eroziya pochvy vo vremya livney v proizvodnykh lesakh Severo-Zapadnogo Kavkaza* [Soil erosion during heavy rainfall in the derived forests of the North West Caucasus]. Lesnoy Zhurnal (Russian Forestry Journal), 2015, no. 1 (343), pp. 54–61.
[3] Dymov A.A. *Vliyanie sploshnykh rubok v boreal'nykh lesakh Rossii na pochvy (obzor)* [Impact of clearcuts in Russian boreal forests on soils (overview)] Pochvovedenie [Eurasian Soil Science], 2017, no. 7, pp. 787–798. http://www.doi.org/10.7868/S0032180X17070024
[4] Creamer R.E., Hannula S.E., VanLeeuwen J.P., Stone D., Rutgers M., Schmelz R.M., deRuiter P.C. Hendriksen N.B., Bolger T., Bouffaud M.L., Buee M., Carvalho F., Costa D., Dirilgen T., Francisco R., Griffiths B.S., Griffiths R., Martin F., daSilva M.P.,

Mendes S., Morais P.V. Pereira C., Philippot L., Plassart P., Redecker D., Römbke J., Sousa J.P., Wouterse M., Lemanceau P. Ecological network analysis reveals the inter-connection between soil biodiversity and ecosystem function as affected by land use across Europe. Applied Soil Ecology, 2016, no. 97, pp. 112–124. https://doi.org/10.1016/j.apsoil.2015.08.006

[5] Thiele-Bruhn S., Schloter M., Wilke B.-M., Beaudette L. A., Martin-Laurent F., Cheviron N., Mougin C., Römbke J. Identification of new microbial functional standards for soil quality assessment. Soil, 2020, no. 6, pp. 17–34.

[6] Kozun Y.S., Kazeev K.Sh., Kolesnikov S.I. Climatic gradients of biological properties of zonal soils of natural lands. Geoderma, 2022, no. 425, p. 116031. https://doi.org/10.1016/j.geoderma.2022.116031

[7] Nikitin D.A., Semenov M.V., Chernov T.I., Ksenofontova N.A., Zhelezova A.D., Ivanova E.A., Khitrov N.B., Stepanov A.L. *Mikrobiologicheskie indikatory ekologicheskikh funktsiy pochv (obzor)* [Microbiological indicators of soil ecological functions (overview)]. Pochvovedenie [Eurasian Soil Science], 2022, no. 2, pp. 228–243. http://www.doi.org/10.31857/S0032180X22020095

[8] Sinsabaugh R.L., Lauber C.L., Weintraub M.N., Ahmed B., Allison S.D., Crenshaw C., Contosta A.R., Cusack D., Frey S., Gallo M.E., Gartner T.B., Hobbie S.E., Holland K., Keeler B.L., Powers J.S., Stursova M., Takacs-Vesbach C., Waldrop M.P., Wallenstein M.D., Zak D.R., Zeglin L.H. Stoichiometry of soil enzyme activity at global scale. Ecology Letters, 2008, no. 11, pp. 1252–1264.

[9] Luo L., Meng H., Gu J.D. Microbial extracellular enzymes in biogeochemical cycling of ecosystems. J. of Environmental Management, 2017, no. 197(15), pp. 539–549. https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2017.04.023

[10] Cao R., Yang W., Chang C., Wang Z., Wang Q., Li H., Tan B. Differential seasonal changes in soil enzyme activity along an altitudinal gradient in an alpine-gorge region. Applied Soil Ecology, 2021, no. 166, p. 104078. https://doi.org/10.1016/j.apsoil.2021.104078

[11] Raiesi F., Pejman M. Assessment of post-wildfire soil quality and its recovery in semi-arid upland rangelands in Central Iran through selecting the minimum data set and quantitative soil quality index. Catena, 2021, no. 201, p. 105202. https://doi.org/10.1016/j.catena.2021.105202

[12] Gorobtsova O.N., Minkina T.M., Uligova T.S., Tembotov R.Kh., Khakunova E.M. *Biologicheskaya aktivnost' gornykh i ravninnykh chernozemov Tsentral'nogo Kavkaza (v granitsakh Kabardino-Balkarii)* [Biological activity of mountain and plain chernozems of the Central Caucasus (within Kabardino-Balkaria)]. Povolzhskiy ekologicheskiy zhurnal, 2018, no. 2, pp. 183–196. https://doi.org/10.18500/1684-7318-2018-2-183-196

[13] Lykhman V.A., Bezuglova O.S., Gorovtsov A.V., Polienko E.A. *Vliyanie guminovogo preparata na strukturnoe sostoyanie i biologicheskuyu aktivnost' chernozema obyknovennogo karbonatnogo v dinamike* [Effect of humic preparation on the structural condition and biological activity of ordinary carbonate chernozem in dynamics]. Nauchnyy zhurnal Rossiyskogo NII problem melioratsii, 2018, no. 3 (31), pp. 100–120. DOI: 10.31774/2222-1816-2018-3-100-120

[14] Naimi O.I., Bezuglova O.S., Polienko E.A., Lykhman V.A., Gorovtsov A.V., Povolotskaya Yu.S., Dubinina M.N., Patrikeev E.S. *Fosfatnyy rezhim i aktivnost' fosfatazy v chernozeme obyknovennom pri vozdelyvanii nuta* [Phosphate regime and phosphatase activity in common chernozem under chickpea cultivation]. Agrokhimicheskiy vestnik, 2020, no. 3, pp. 25–29. DOI: 10.24411/1029-2551-2020-10034

[15] Gorobtsova O.N., Uligova T.S., Gedgafova F.V., Tembotov R.Kh., Khakunova E.M. *Biologicheskaya aktivnost' pochv v poyase shirokolistvennykh lesov Tsentral'nogo Kavkaza* [Biological activity of soils in the broad-leaved forest belt of the Central Caucasus]. Lesovedenie [Russian Journal of Forest Science], 2021, no. 1, pp. 78–92. http://www.doi.org/10.31857/S0024114821010046

[16] Gabbasova I.M., Garipov T.T., Komissarov M.A., Suleymanov R.R., Suyundukov Ya.T., Khasanova R.F., Sidorova L.V., Komissarov A.V., Suleymanov A.R., Nazyrova F.I. *Vliyanie pozharov na svoystva stepnykh pochv Zaural'ya* [The impact of fires on the properties of steppe soils in the trans-Ural region]. Pochvovedenie [Eurasian Soil Science], 2019, t. 52, no. 12, pp. 1598–1607.

[17] Maksimova E.Yu *Otsenka primeneniya guminovykh preparatov v kachestve meliorantov dlya rekul'tivatsii degradirovannykh postpirogennykh pochv* [Evaluation of the use of humic preparations as ameliorants for reclamation of degraded post-pyrogenic soils]. Agrokhimicheskiy vestnik, 2018, no. 1, pp. 46–41.

[18] Vilkova V.V., Kazeev K.S., Kolesnikov S.I., Shkhapatsev A.K. Reaction of the enzymatic activity of soils of xerophytic forests on the Black sea coast in the Caucasus to the pyrogenic impact. Arid Ecosystems, 2022, no. 1, pp. 93–98.

[19] Lukina N.V., Kuznetsova A.I., Gornov A.V., Shevchenko N.E., Tikhonova E.V., Teben'kova D.N., Orlova M.A., Geras'kina A.P., Bakhmet O.N., Kryshen' A.M., Kataev A.D. *Akkumulyatsiya ugleroda v lesnykh pochvakh i suktsessionnyy status lesov* [Carbon storage in forest soils and the successional status of forests]. Moscow: Tovarishchestvo nauchnykh izdaniy KMK, 2018, 232 p.

[20] Shevchenko N.E., Kuznetsova A.I., Teben'kova D.N., Smirnov V.E., Geras'kina A.P., Gornov A.V., Grabenko E.A., Tikhonova E.V., Lukina N.V. *Suktsessionnaya dinamika rastitel'nosti i zapasy pochvennogo ugleroda v khvoyno-shirokolistvennykh lesakh Severo-Zapadnogo Kavkaza* [Successional vegetation dynamics and soil carbon stocks in coniferous-broadleaved forests of the Northwest Caucasus]. Lesovedenie [Russian Journal of Forest Science], 2019, no. 3, pp. 163–176. http://www.doi.org/10.1134/S0024114819030082

[21] Mayer M., Prescott C.E., Abaker W.E.A. Tamm Review: Influence of forest management activities on soil organic carbon stocks: A knowledge synthesis. Forest Ecology and Management, 2020, no. 466(15), p. 118127. https://doi.org/10.1016/j.foreco.2020.118127

[22] Xu M., Liu H., Zhang Q., Zhang Z., Ren C., Feng Y., Yang G., Han X., Zhang W. Effect of forest thinning on soil organic carbon stocks from the perspective of carbon-degrading enzymes. Catena, 2022, no. 218, p. 106560. https://doi.org/10.1016/j.catena.2022.106560

[23] Huang H., Tian D., Zhou L., Su H., Ma S., Feng Y., Z. Tang, Zhu J., Ji C., Fang J. Effects of afforestation on soil microbial diversity and enzyme activity: A meta-analysis. Geoderma, 2022, no. 423, p. 115961. https://doi.org/10.1016/j.geoderma.2022.115961

[24] Polyakov A.I. *Izmenenie gorno-lesnykh ekosistem Severnogo Kavkaza vsledstvie vyrubki lesa* [Changes in mountain forest ecosystems of the North Caucasus due to logging]. Izvestiya vuzov. Severo-Kavkazskiy region. Estestvennye nauki [Bulletin of higher education institutes North Caucasus region. Natural sciences], 2010, no. 4, pp. 113–114.

[25] Ter-Misakyants T.A. *Izmenenie biologicheskikh svoystv dernovo-karbonatnykh pochv Kavkaza posle vyrubki lesa* [Changes in biological properties of sod-carbonate soils of the Caucasus after logging]. Izvestiya vuzov. Severo-Kavkazskiy region. Seriya: Estestvennye nauki [Bulletin of higher education institutes North Caucasus region. Natural sciences], 2013, no. 3 (175), pp. 57–59.
[26] Kazeev K.Sh., Soldatov V.P., Shkhapatsev A.K., Shevchenko N.E., Grabenko E.A., Ermolaeva O.Yu., Kolesnikov S.I. *Izmenenie svoystv dernovo-karbonatnykh pochv posle sploshnoy rubki v khvoyno-shirokolistvennykh lesakh Severo-Zapadnogo Kavkaza* [Changes in the Properties of Calcareous Soils after Clearcutting in the Coniferous-Deciduous Forests of the Northwestern Caucasus]. Lesovedenie [Russian Journal of Forest Science], 2021, no. 4, pp. 426–436. http://www.doi.org/10.31857/S0024114821040069
[27] Shkhapatsev A.K., Soldatov V.P., Kazeev K.Sh., Grabenko E.A., Kolesnikov S.I. Biological activity of soils of low-mountain reliefs in Adygeya after forest felling. Indian J. of Ecology, 2021, no. 48(5), pp. 1383–1388.
[28] Fridland V.M. *Problemy geografii, genezisa i klassifikatsii pochv* [Problems of geography, genesis and classification of soils]. Moscow: Nauka, 1986, 243 p.
[29] Kostenko I.V. *Atlas pochv Gornogo Kryma* [Soil Atlas of the Mountain Crimea]. Kiev: Redaktsiya zhurnala «Agrarnaya nauka», 2014, 184 p.
[30] *Polevye metody issledovaniya fizicheskikh svoystv i rezhimov pochv* [Field methods for studying the physical properties and regimes of soils]. Red. E.V. Shein. Moscow: MGU, 2001, 200 p.
[31] Kazeev K.Sh., Kolesnikov S.I., Akimenko Yu.V., Dadenko E.V. *Metody biodiagnostiki nazemnykh ekosistem* [Biodiagnostic methods for terrestrial ecosystems]. Rostov-na-Donu: Izd-vo JuFU, 2016, 356 p.
[32] Vorob'eva L.A. *Khimicheskiy analiz pochv* [Soil chemical analysis]. Moscow: MGU, 1998, 272 p.
[33] Mineev V.G. *Agrohimiya* [Agrochemicals]. Moscow: VNIIA im. D.N. Pryanishnikova, 2001, 689 p.
[34] Weil R., Islam K. R., Stine M.A., Gruver J.B., Samson-Liebig S.E. Estimating active carbon for soil quality assessment: A simple method for laboratory and field use. American J. of Alternative Agriculture, 2003, v. 18(1), pp. 3–17. http://www.doi.org/10.1079/AJAA200228
[35] Dadenko E.V., Kazeev K.Sh., Kolesnikov S.I. *Metody opredeleniya fermentativnoy aktivnosti pochv* [Methods for determining the enzymatic activity of soils]. Rostov-na-Donu: JuFU, 2021, 174 p.
[36] Evstegneeva N.A., Kolesnikov S.I., Minnikova T.V., Timoshenko A.N. *Otsenka ekotoksichnosti tyazhelykh metallov, metalloidov i nemetallov, soderzhashchikhsya v otkhodakh predpriyatiy gornoy promyshlennosti* [Assessment of ecotoxicity of heavy metals, metalloids and nonmetals contained in mining wastes]. Gornyy informatsionno-analiticheskiy byulleten' (nauchno-tekhnicheskiy zhurnal), 2023, no. 5–1, pp. 73–85. DOI: 10.25018/0236_1493_2023_51_0_73
[37] Galstyan A.Sh. *Fermentativnaya aktivnost' pochv Armenii* [Enzyme activity of soils in Armenia]. Erevan: Ayastan, 1974, 275 p.
[38] Kandashova K.A., Kazeev K.Sh., Kolesnikov S.I. *Izmenenie ekologo-biologicheskikh svoystv pochv yuga Rossii pri ogleenii* [Changes in the ecological and biological properties of soils in southern Russia during gleying]. Izvestiya vuzov. Severo-Kavkazskiy region. Seriya: Estestvennye nauki [Bulletin of higher education institutes North Caucasus region. Natural sciences], 2016, no. 2 (190), pp. 61-67.
[39] Orlov D.S., Biryukova O.N., Rozanova M.S. *Real'nye i kazhushchiesya poteri organicheskogo veshchestva pochvami Rossiyskoy Federatsii* [Real and apparent losses of organic matter by the soils of the Russian Federation]. Pochvovedenie [Eurasian Soil Science], 2004, no. 8, pp. 918–926.
[40] Biryukov M.V., Biryukova O.N. *Issledovanie vozdeystviya guminovykh kislot s pomoshch'yu bakterial'nogo lyuminestsentnogo testa* [Study of the impact of humic acids using a bacterial luminescent test]. Vestnik Moskovskogo universiteta. Seriya 16: Biologiya [Bulletin of the Moscow University. Series 16: Biology], 2015, no. 2, pp. 35–38.
[41] Zvyagintsev D.G. *Biologicheskaya aktivnost' pochv i shkaly dlya otsenki nekotorykh ee pokazateley* [Biological activity of soils and scales for assessing some of its indicators]. Pochvovedenie [Eurasian Soil Science], 1978, no. 6, pp. 48–54.
[42] Kazeev K.Sh., Kolesnikov S.I., Val'kov V.F. *Biologiya pochv Yuga Rossii* [Soil biology of southern Russia]. Rostov-na-Donu: CVVR, 2004, 350 p.
[43] Faizova V.I. *Fermentativnaya aktivnost' chernozemov tsentral'nogo Predkavkaz'ya* [Enzyme activity of chernozems of the central Caucasus]. Vestnik APK Stavropol'ya, 2014, no. 3, pp. 154–157.
[44] Stone M.M., Weiss M.S., Goodale C.L, Adams M.B., Fernandez I.J., German D.P., Allison S.D. Temperature sensitivity of soil enzyme kinetics under N-fertilization in two temperate forests. Global Change Biology, 2012, no. 18(3), pp. 1173–1184. https://doi.org/10.1111/j.1365-2486.2011.02545.x
[45] Wu Y., Zhou H.K., Sun W., Zhao Q.F., Liang M., Chen W.J., Guo Z.Q., Jiang Y.K., Jiang Y., Liu G.B., Xue S. Temperature sensitivity of soil enzyme kinetics under N and P fertilization in an alpine grassland. China Science of The Total Environment, 2022, no. 838 (Part 1, 10), p. 156042. https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2022.156042
[46] Kolesnikov S., Minnikova T., Kazeev K., Akimenko Y., Evstegneeva N. Assessment of the ecotoxicity of pollution by potentially toxic elements by biological indicators of haplic chernozem of Southern Russia (Rostov region). Water, Air, & Soil Pollution, 2022, no. 233, p. 18. https://doi.org/10.1007/s11270-021-05496-3

Acknowledgments

We thank E.A. Grabenko, researcher of the Institute of Geography, Russian Academy of Sciences, and N.E. Shevchenko, researcher of the Center for Forest Ecology and Productivity, Russian Academy of Sciences, Candidate of Biological Sciences, for consultation and assistance in choosing research objects.

The research was supported by the leading scientific school of the Russian Federation (NSh-449.2022.5) and the Program of Strategic Academic Leadership of Southern Federal University («Priority 2030», № SP-12-22-9).

Authors' information

Shkhapatsev Aslan Kaplanovich✉ — Cand. Sci. (Agriculture), Dean of the Faculty of Agrarian Technologies, Maikop State Technological University, f_agr_technolog@mkgtu.ru

Kazeev Kamil' Shagidullovich — Dr. Sci. (Geographi), Professor, Director of the Academy Biology and Biotechnology South Federal University, Kamil_kazeev@mail.ru

Kozun' Yuliya Sergeevna — Cand. Sci. (Biology), Associate Professor of the Department of Ecology and Nature Management, Academy of Biology and Biotechnology, South Federal University, Kozun@sfedu.ru

Soldatov Vasiliy Petrovich — Cand. Sci. (Biology), Research Laboratory Assistant, Research Center «Ecology and Nature Management», Academy of Biology and Biotechnology, South Federal University Vsoldatov@sfedu.ru

Fedorenko Anastasiya Nikolaevna — Student of the Academy of Biology and Biotechnology, South Federal University, Afedorenko@sfedu.ru

Kolesnikov Sergey Il'ich — Dr. Sci. (Agriculture), Professor, Head of the Department of Ecology and Nature Management, Academy of Biology and Biotechnology, South Federal University Kolesnikov@sfedu.ru

Received 30.01.2023.
Approved after review 24.04.2023.
Accepted for publication 25.05.2023.

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

УДК 630* 629.7.051
DOI: 10.18698/2542-1468-2023-4-60-72
Шифр ВАК 4.1.3

ОЦЕНКА СОВРЕМЕННОГО СОСТОЯНИЯ АВИАЛЕСООХРАННЫХ РАБОТ НА ЗЕМЛЯХ ОСОБО ОХРАНЯЕМЫХ ПРИРОДНЫХ ТЕРРИТОРИЙ ФЕДЕРАЛЬНОГО ЗНАЧЕНИЯ

Н.А. Коршунов[1], В.А. Савченкова[1, 2]✉, А.В. Перминов[1], М.Е. Конюшенков[1]

[1]ФБОУ «Всероссийский научно-исследовательский институт лесоводства и механизации лесного хозяйства» (ФБОУ ВНИИЛМ), Россия, 141202, Московская обл., г. Пушкино, ул. Институтская, д. 15
[2]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

v9651658826@yandex.ru

Представлена оценка авиалесоохранных работ на землях особо охраняемых природных территорий. Рассмотрены недостатки авиационного мониторинга лесов. Проведен анализ фактической горимости лесов на землях особо охраняемых природных территорий. Для оценки рисков проведен ретроспективный анализ зарегистрированных термоточек в системах космического мониторинга лесных пожаров информационной системы дистанционного мониторинга Рослехоза (ИСДМ-Рослесхоз) и FIRMS по 111-ти особо охраняемых природных территорий за период от 2002 по 2021 годы. Отсутствие пожаров в отдельные периоды не исключает риски их возникновения. На основании анализа термоточек выявлено преобладание весенних пожаров. Приведено описание районов, характеризующихся возникновением пожаров в зависимости от сезона года. Представлен результат анализа ситуации с возникновением лесных пожаров на землях особо охраняемых природных территорий в разрезе федеральных округов. В ходе исследования системы охраны лесов на землях особо охраняемых природных территорий была проведена экспертная оценка организационной структуры, форм и состава команд пожаротушения, действующих на землях особо охраняемых природных территорий федерального значения, а также наличия сил и средств пожаротушения. Проведена оценка численности персонала, привлекаемого для тушения природных и лесных пожаров, и состав команд, а также их техническая оснащенность. Проанализирована структура лесопожарных формирований, система связи и оповещения для наземных и авиационных сил. Проведена экспертная оценка эффективности маршрутов авиапатрулирования на землях особо охраняемых природных территорий. Выявлена проблема удаленности мест базирования воздушных судов. Предложены варианты решения проблем для участков с низкой и высокой горимостью. Отмечена проблема отсутствия утвержденной единой методики оценки вероятности ландшафтных (природных) пожаров на землях иных категорий, с территории которых может возникнуть угроза перехода огня на земли особо охраняемых природных территорий. Разработаны предложения по формированию оптимальных патрульных маршрутов для пилотируемой и беспилотной авиации.
Ключевые слова: охрана лесов, мониторинг, беспилотные авиационные системы, маршруты авиапатрулирования, мобильные команды пожаротушения

Ссылка для цитирования: Коршунов Н.А., Савченкова В.А., Перминов А.В., Конюшенков М.Е. Оценка современного состояния авиалесоохранных работ на землях особо охраняемых природных территорий федерального значения // Лесной вестник / Forestry Bulletin, 2023. Т. 27. № 4. С. 60–72.
DOI: 10.18698/2542-1468-2023-4-60-72

Авиационная охрана лесов и природных комплексов от природных пожаров — есть комплекс взаимосвязанных мероприятий по предупреждению, обнаружения и тушения пожаров [1, 2]. Авиационное патрулирование производится по утвержденным маршрутам, как правило, по границам особо охраняемых природных территорий (ООПТ), обеспечивая возможность осмотра больших площадей, совмещение патрулирования с разведкой пожара с воздуха и оперативной доставки лесопожарных сил. На удаленных и труднодоступных территориях авиационное патрулирование зачастую является единственной возможностью своевременного обнаружения пожаров, так как обнаружение спутниковыми системами дистанционного мониторинга в настоящее время не обладают технической возможностью оперативно обнаруживать лесные и другие природные пожары на малых площадях. При высокой природной и антропогенной пожарной опасности авиапатрулирование территории можно проводить в дни с IV и V классами пожарной опасности по условиям погоды с высокой внутримассовой грозовой активностью [3, 4]. Авиапатрулирование отличается высокой производительностью — до 1–2 млн га за полет, что отличает его от других способов и средств, а также характеризуется высокой оперативной информированностью о пожаре и условиях его тушения.

© Автор(ы), 2023

Авиационный мониторинг в условиях ООПТ имеет некоторые недостатки: дороговизну и сложность организации полетов воздушных судов в условиях редкой сети аэродромов. Традиционно для ООПТ представляется затруднительным применение авиапожарных команд при авиапатрулировании, поскольку это требует наличия профессиональных структур — авиабаз, авиаотделений, групп парашютистов-пожарных и пр. В последние годы значительно расширилось использование легких вертолетов, способных доставлять силы пожаротушения посадочным способом на небольшие по размерам площадки, что дает возможность формирования групп пожаротушения из сотрудников организаций, уполномоченных на ведение хозяйственной и инспекторской деятельности на землях ООПТ, и обеспечило их участие в пожаротушении. Такая тенденция будет возрастать в среднесрочной перспективе, что важно учитывать в ходе дальнейших исследований.

Цель работы

Цель работы — совершенствование авиационной охраны ООПТ от природных пожаров, в том числе путем повышения эффективности авиационного мониторинга.

Объекты и методы исследования

При проведении исследований основными методами работы служили аналитический, сопоставительный и сравнительный анализы, объектом исследования является система охраны лесов от пожаров на землях ООПТ федерального значения.

В ходе исследования получены результаты, которые можно внедрять в практическую деятельность лесопожарных формирований или групп пожаротушения федеральных государственных бюджетных учреждений, осуществляющих управление государственными природными заповедниками.

Результаты и обсуждение

Учитывая указанную цель сформулированы следующие задачи:

– анализ статистической информации случаев возникновения лесных и природных пожаров (количество пожаров и площади, пройденные огнем), возникших на землях ООПТ за временной период не менее 12 лет;

– анализ статистической информации фактического наличия ресурсов пожаротушения в ООПТ (приборы, инвентарь, техника и пр.), наличия противопожарной техники и оборудования, специального снаряжения и инвентаря, средств коммуникации в командах пожаротушения, действующих на землях ООПТ федерального значения;

– научно обоснованный выбор методики создания маршрутов авиационного патрулирования лесов на пилотируемых и беспилотных воздушных суднах для мониторинга пожарной опасности, с учетом требований Лесного кодекса Российской Федерации, Воздушного кодекса Российской Федерации и федеральных авиационных правил (ФАП).

Анализ фактической горимости на землях ООПТ за период 2011–2021 гг. показал, что в среднем ежегодно регистрируется 200…250 пожаров, за исключением отдельных лет. Так, например, пик горимости наблюдался в 2011 г. — более 330 пожаров (рис. 1).

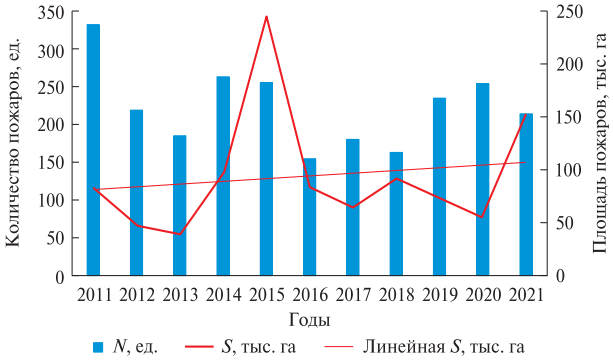


Рис. 1. Горимость на землях 226 особо охраняемых природных территорий федерального значения (заповедников, национальных парков, заказников) за период 2011–2021 гг.

Fig. 1. Fire danger on the lands of 226 protected areas of federal significance (nature reserves, national parks, nature reserves) for the period 2011–2021

Ежегодно площади, пройденные огнем, достигают значительного размера — 60…100 тыс. га. Максимум зафиксирован в 2015 г. — более 240 тыс. га. При этом наблюдается четкая тенденция: ежегодное увеличение площади, пройденной огнем, что является негативным маркером, косвенно отображающим фактическую эффективность борьбы с лесными и другими природными пожарами.

За рассматриваемый период на землях 104 ООПТ (40 % общего количества территорий) пожары не были зарегистрированы, хотя отсутствие зафиксированных пожаров не означает, что отсутствуют риски их возникновения.

Для оценки таких рисков, в том числе возникших вследствие перехода огня с сопредельных территорий, был проведен ретроспективный анализ зарегистрированных термоточек в системах космического мониторинга лесных пожаров информационной системы дистанционного мониторинга Рослесхоза (ИСДМ-Рослесхоз) и FIRMS по 111 ООПТ за период от 2002 по 2021 гг. [5].

Результаты анализа выборки данных показали, что на весенний период приходится 41 %

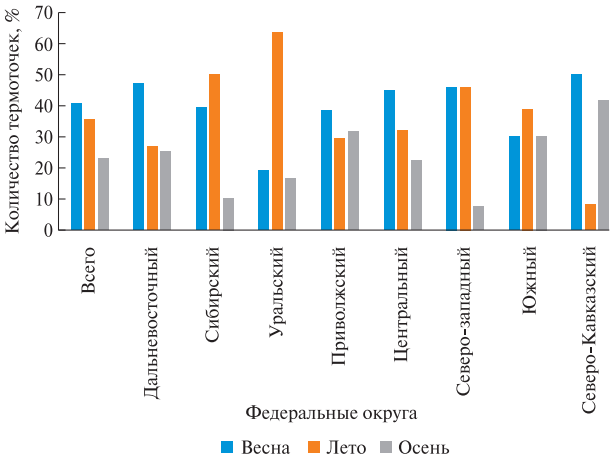


Рис. 2. Условное распределение термоточек в течение пожароопасного сезона на 111 особо охраняемых природных территориях субъектов Российской Федерации и на сопредельных с ними землях, по данным систем космического мониторинга, в период 2002–2021 гг.

Fig. 2. Conditional distribution of thermal points during the fire season in 111 protected areas and adjacent lands according to space monitoring systems, in the period 2002–2021, as a percentage

термоточек, на летний — 36, на осенний — 23 % (рис. 2). Это свидетельствует об остроте проблемы весенних пожаров.

Для лесорастительных зон степи и лесостепи характерно преобладание травяных пожаров, распространяющихся по сухому растительному покрову, которые характеризуются скоротечностью, распространяются на большие площади, обычно группируются вдоль дорог, вокруг мест проживания людей и ведения хозяйственной деятельности [6, 7]. Пожары летнего периода характерны для лесных районов — таежных и горнотаежных, которые часто возникают на отдаленных и труднодоступных лесных участках вследствие грозовых разрядов. Их обнаружение затруднено, поэтому требуется организация авиационного патрулирования на пилотируемых или беспилотных воздушных судах [8, 9].

В осенний период традиционны пожары в лесостепной зоне, в лесах с мертвопокровным типом напочвенного покрова, в том числе в горных лесах. Во многом ситуация схожа с весенним периодом, но отличается меньшим объемом подвергшихся пожарам площадей и невысокой их напряженностью.

В ООПТ, расположенных на территории Центрального федерального округа, ситуация в целом повторяет средние значения по всем рассматриваемым ООПТ страны. Здесь имеются все основные типы лесов и категории земель, однако, более высокий уровень урбанизации и хозяйственного освоения территории обусловливает преобладание весенних пожаров. В то же время густота дорожной сети и хорошая обеспеченность пожарными подразделениями способствуют более эффективному обнаружению пожаров и быстрой реакции соответствующих служб. Как следствие, площади, пройденные огнем, относительно невелики.

В Южном и Северо-Кавказском федеральных округах на землях ООПТ традиционно фиксируется относительно небольшое количество пожаров и термоточек. По мере продвижения от равнинных к горным районам существенно уменьшается доля «летних» термоточек. Лиственные леса и зеленый травяной покров значительно снижают вероятность возникновения пожаров. В горной местности загорания лесных горючих материалов возможны в мертвопокровных типах лесов в позднеосенний или ранневесенний периоды.

Отличается ситуация в Уральском, Сибирском и Северо-Западном федеральных округах, в регионах, на которые приходится значительные площади таежных светлохвойных и темнохвойных лесов, а также притундровые леса. Для них характерна повышенная пожарная опасность в летний период по мере просыхания лишайниковых, моховых и травяно-моховых типов напочвенного покрова [10].

В этих регионах риск возгорания лесных горючих материалов совпадет с пиками грозовой активности и приурочен к концу июня — июлю. Традиционно количество пожаров, по сравнению с европейскими и южными регионами страны невелико, однако на землях ООПТ они развиваются преимущественно в труднодоступных районах, в условиях малой густоты сети дорог и населенных пунктов. Как следствие, своевременное обнаружение пожаров и доступ к ним необходимого и достаточного количества сил и средств пожаротушения затруднены. При этом время действия и итоговые площади «летних» пожаров, стоимость работ по тушению и ресурсный ущерб относительно велики.

Ситуация в Дальневосточном федеральном округе уникальна. Значительные по размерам территории в сочетании с условиями, характерными как для южных районов степи и лесостепи, так и для среднетаежных групп лесов, притундровых лесов формируют наибольшие риски пожаров для земель ООПТ. Весной скоротечные травяные пожары в условиях трудностей организации систем обнаружения и своевременного прибытия сил пожаротушения обусловливают наибольшие значения площадей, пройденных огнем от ландшафтных (природных) пожаров. В летний период преобладают лесные пожары в отдаленных и труднодоступных местах, как правило, вследствие гроз. При тушении таких пожаров отмечаются факторы постоянного дефицита сил и ограниченной транспортной доступности.

Часто для их тушения требуется авиационное обеспечение. Все это вместе способствует развитию крупных лесных пожаров длительностью в несколько недель.

Спутниковые данные показали, что практически для всех ООПТ, которые в статистике лесных и природных пожаров за период 2011–2021 гг. не имели зарегистрированных пожаров, имеются многочисленные случаи зафиксированных термоточек на сопредельных землях. Особенно в весенний период (апрель, май) для южных районов, в летний (июль, начало августа) — для северных районов, включая районы Крайнего Севера, арктической зоны с напочвенным покровом растительности, характерным для зоны тундры.

Таким образом, риски возникновения пожаров имеются практически на всех ООПТ федерального значения.

В ходе исследования системы охраны лесов на землях ООПТ была проведена экспертная оценка организационной структуры, форм и состава команд пожаротушения, действующих в ООПТ федерального значения, а также наличия сил и средств пожаротушения [11, 12].

По данным планов тушения лесных пожаров и сводных планов тушения лесных пожаров, в 136 федеральных государственных бюджетных учреждениях (ФГБУ) численность персонала, привлекаемого для тушения природных и лесных пожаров, находится на уровне 3,2 тыс. чел. Команды распределены неравномерно и «привязаны» к «своим» ООПТ, что существенно затрудняет маневрирование силами и средствами. Значительные расстояния на региональном уровне не позволяют оперативно увеличивать силы в наиболее горимых ООПТ в периоды высокий и чрезвычайной горимости.

Численность и состав команд также неоднородны, фактически зависят не от традиционной горимости на землях ООПТ, а от организационных и финансовых возможностей ФГБУ. Следует отметить важную особенность системы организаций ООПТ федерального значения: персонал команд тушения представлен инспекторским составом ООПТ, т. е. работниками, для которых тушение лесных и природных пожаров не является основной профессиональной деятельностью. Это обстоятельство важно учитывать при формировании предложений по оптимальной оснащенности сил команд пожаротушения для ООПТ. Численность команд пожаротушения в организациях ООПТ составляет от 5 до 20 чел. в отдельных ООПТ европейской части страны и до 80…90 чел. в отдельных ФГБУ в азиатской части. Диапазон охраняемых площадей может находиться в пределах от нескольких тысяч до одного миллиона гектар и более. Это означает, что в восточных регионах страны количество пожарных на условную единицу охраняемой площади ООПТ может быть даже меньше, чем в западных.

На начало 2022 г. 136 ФГБУ имеется около 300 пожарных автоцистерн, более 300 ед. тракторной техники, более 1000 ед. высокопроходимой техники (легковые и грузовые автомобили, вездеходы, автобусы и вахтовые автомобили), более 310 катеров и лодок. Имеющийся уровень технической оснащенности организаций ООПТ федерального значения имеет явный приоритет в пользу мобильности «легких» команд, способных применять ручные методы и средства тушения, мобильное водоподающее оборудование [13–15]. Это обстоятельство важно учитывать при формировании предложений по оптимальной оснащенности сил команд пожаротушения для ООПТ.

По структуре лесопожарные формирования представлены 46 пожарно-химическими станциями (ПХС) 1-го типа и 32 ПХС 2-го типа (данные по состоянию на 01.03.2022 г). Отсутствуют ПХС 3-го типа, несмотря на то что количество и состав техники в некоторых ФГБУ позволяет сформировать полноценную усиленную лесопожарную станцию 3-го типа (современный аналог ПХС-3). Например, ФГБУ «Национальный парк «Бузулукский бор» имеет наибольшее количество — 11 ПХС 1-го типа и 2 ПХС 2-го типа при охраняемой территории в 107 тыс. га, что соответствует типовой нагрузке одной ПХС 2-го типа в среднетаежной зоне. Следует отметить, что земли данного ООПТ имеют рекордные показатели горимости — более 40 пожаров в отдельные годы. В ФГБУ, расположенных в наиболее «горимом» и значительном по площади имеющихся ООПТ Дальневосточном федеральном округе, имеется всего четыре ПХС 1-го типа и семь ПХС 2-го типа. В составе ФГБУ, расположенных в Сибирском федеральном округе, имеется всего две ПХС 1-го типа и две ПХС 2-го типа в трех ООПТ. Тогда как в ООПТ в Приволжском федеральном округе — 31 ПХС.

Таким образом, сил пожаротушения, которыми располагают ФГБУ, достаточно только для условий малой горимости лесов и природных территорий, за исключением отдельных ООПТ. Команды пожаротушения способны действовать на лесных и природных пожарах на ранней стадии их развития или на малых площадях. Рост плотности пожаров (количество обнаруженных и действующих пожаров в день) до 3–5 единиц в большинстве случаев провоцирует резкий дефицит сил, что приводит к появлению крупных лесных пожаров [16]. В большинстве ФГБУ дополнительных команд для длительной работы на крупных лесных и природных пожарах не имеется.

Техническая оснащенность в основном достаточна для обеспечения работы существующих оперативных команд и в целом сбалансирована с учетом многовариантности условий ООПТ и ограничений, направленных на сбережение уязвимых природных комплексов [17–20]. Однако имеется потребность в существенном повышении технической мобильности как наиболее критичном доминирующем факторе, обеспечивающем эффективность работы оперативных сил. Есть потребность формирования в нескольких ФГБУ резервов команд пожаротушения, способных оперативно оказать помощь ООПТ в кризисных регионах.

Формирование единой системы связи и оповещения для наземных и авиационных сил заключается в организации работы аналогов пунктов диспетчерского управления, когда информационный обмен направляется и распределяется через один условный узел связи (пункт), обслуживающий нескольких участников (потребителей информации). Это требует унификации форм типовых сообщений и процедур действий, интеграции каналов технической связи (радио-, телефонная и электронная связь), взаимодействия ответственных лиц организаций, вовлеченных в решение общих целей и задач. Это позволяет синхронизировать работу наземных и авиационных подразделений, организовать их эффективное взаимодействие [21]. В условиях ООПТ это возможно через организацию работы диспетчерского пункта при ФГБУ или делегирования выполнения части работ по информационному обеспечению и координации диспетчерским пунктам специализированной диспетчерской службы субъекта Российской Федерации. Они располагаются, как правило, в авиационных отделениях, лесничествах, лесопожарных станциях и действуют в соответствии с Приказом Рослесхоза от 28.05.2012 г. № 218 «Об утверждении Методических указаний по вопросам организации и функционирования специализированных диспетчерских служб органов исполнительной власти субъектов Российской Федерации, уполномоченных в области лесных отношений».

В лесном комплексе в ходе многолетнего опыта выработан подход к планированию маршрутов авиационного патрулирования лесов с высоким риском возникновения пожаров, обеспечивающих возможность осмотра подведомственной территории в полном объеме:

до границы указанной территории расстояние не должно превышать 30 км;

между линиями заданного пути должно быть пространство не более 60 км;

в ходе патрулирования не допускается значительное наложение полос осмотра одной территории с разных направлений маршрута.

В горной местности маршруты могут отличаться от рекомендованных значений. Их разрабатывают с учетом влияния сложного рельефа, который может ограничивать обзорность наблюдателю, мощность двигателей воздушного судна и его допустимая полетная масса, рабочие высоты. В оптимальных условиях летчик-наблюдатель невооруженным взглядом способен по дымовому следу обнаружить загорание площадью 0,1 га с дистанции 30 км (при стандартной прозрачности атмосферы) при высоте полета воздушного судна на высотах 600…1000 м над рельефом местности. Следует учитывать, что в условиях действия в регионе крупных природных пожаров, а также при определенных изменениях погодных условий (приземном тумане, локальных осадках, низкой облачности, пыли в воздухе, инверсии воздуха и пр.), дистанция обнаружения может существенно снижаться до 10…15 км и менее вследствие уменьшения прозрачности атмосферы и ухудшения горизонтальной видимости. По этой причине, как правило, для ООПТ разрабатывают и утверждают несколько авиамаршрутов в случае развития разных ситуаций.

В рамках исследований проведена экспертная оценка эффективности маршрутов авиапатрулирования ООПТ, приведенных в Планах тушения лесных пожаров в лесах лесничеств на 2022 г., и Сводных планах тушения лесных пожаров на территории субъектов Российской Федерации на 2022 г.

По оценкам 168 заповедников и национальных парков федерального значения получены следующие данные: 53 % ООПТ имеют площадь менее 100 тыс. га; 13 % – от 100 до 200; 17 — от 200 до 500; 9 — от 0,5 до 1 млн га; 8 % ООПТ имеют площадь свыше 1 млн га. Это означает, что в подавляющем большинстве случаев размеры осматриваемой площади ООПТ существенно меньше типовой нагрузки на воздушное судно, часто для осмотра достаточно 15…30 мин. Однако основная проблема заключается в том, что места базирования воздушных судов (аэродромы, аэропорты) находятся на значительном удалении от ООПТ, следовательно, могут возникать не производительные затраты летного времени. Поэтому для большинства ООПТ оптимальной является интеграция части полета над ООПТ в уже существующие маршруты авиапатрулирования лесов на землях лесного фонда, осуществляемые подведомственными учреждениями уполномоченных органов государственной власти субъектов Российской Федерации в области лесных отношений [22]. Например, для ФГБУ «Государственный природный заповедник «Малая Сосьва» имени В.В. Раевского» и ФГБУ «Государственный природный заповедник «Юганский» целесообразно разработать отдельные маршруты, включающие

в себя осмотры земель лесного фонда и части земель ООПТ. Также следует отметить, что малые размеры многих ООПТ позволяют проводить осмотр с борта воздушного судна без пролета непосредственного над ООПТ, т. е. за счет 30-километровой дистанции видимости. Это позволяет существенно уменьшить финансовые затраты. В Планах тушения многих лесничеств на ООПТ эта практика отображена.

В ходе исследований отдельная проблема отмечена для ООПТ, обладающих значительной площадью — около 1 млн га. Как правило, эти ООПТ сосредоточены в труднодоступных и малоосвоенных восточных и северных районах Сибири и Дальнего Востока. Подобные размеры ООПТ характеры для работы полноценного авиационного отделения с собственными маршрутами, дежурными самолетами и вертолетами, с наличием авиапожарных команд. Подобный подход требует формирования определенной инфраструктуры, посадочных площадок, диспетчерских пунктов, мест постоянного базирования мобильных команд, оборудования для обслуживания воздушных судов, запасов топлива. При этом с учетом фактора нерегулярной горимости вследствие абсолютного доминирования природных причин появления загораний (пожаров от гроз), существенные финансовые инвестиции в организацию подобного авиаотделения могут быть не оправданы. В этой ситуации возможны два варианта.

1. Для ООПТ с относительно низкой горимостью лесов целесообразно сформировать систему обнаружения пожаров как симбиоз регулярного использования космических средств мониторинга и эпизодического авиационного патрулирования пилотируемой авиации. В любом случае для такой территории необходимо также разработать и утвердить оптимальные авиационные маршруты для патрульных самолетов, предусмотреть варианты наличия и применения дежурных мобильных команд на вертолетах, критерии их эффективного применения.

2. Для охраны ООПТ с высокой горимостью целесообразно создать полноценное авиаотделение, но как элемент более крупной системы охраны территорий от пожаров (регионального или федерального уровня), когда ресурсные затраты могут быть оправданы и использованы для решения задач на других географических направлениях. Это потребует нормативно-правовых решений и целевого финансирования. Подобный подход реализован при формировании авиационной охраны лесов от пожаров на Байкальской природной территории (БПТ). Потенциал расширения данной практики имеется для некоторых крупных кластеров ООПТ на Урале, Сибири и Дальнем Востоке.

Текущая ситуация для ООПТ, располагающихся в БПТ, где полномочия по охране лесов от пожаров распределены между Минприроды России и Федеральным агентством лесного хозяйства с апреля 2021 г., имеет отличия от общей.

Локальная система авиационной охраны лесов от пожаров для БПТ еще находится в стадии формирования, поэтому пока приняты решения, эффективность которых не очевидна [23, 24]. Например, в Плане тушения государственного природного заповедника (ГПЗ) «Джергинский» на 2022 г. указан основной маршрут авиапатрулирования длиной 470 км с вылетом воздушного судна из с. Баргузин, при этом на непосредственный осмотр заповедника приходится менее 20 % полета, остальное время полет проходит над лесами земель лесного фонда, по которым полномочия по охране лесов от пожаров выполняют региональные уполномоченные органы. В плане тушения национального парка «Забайкальский национальный парк» на 2022 г. указан маршрут по осмотру сразу двух ООПТ протяженностью 317 км. В целом указанный объединенный маршрут обеспечивает осмотр 100 % территории Забайкальского национального парка и Баргузинского заповедника. Однако недостатком представленного маршрута является то, что расстояния между параллельными линиями маршрута составляют всего 15…36 км, значит, происходит двойной осмотр территории за короткий отрезок времени (в течение 1 ч). Территории всех трех ООПТ патрулируются воздушными судами по двум независимым маршрутам из с. Баргузин (рис. 3). Это означает, что имеется возможность реализации одного объединенного маршрута сразу на три ООПТ. Расчеты показывают, что возможна разработка трех-четырех объединенных маршрутов авиапатрулирования с полезным действием на уровне 70–80–90 % времени полета, для выполнения которых достаточно применения одного воздушного судна (рис. 4). При этом длина таких маршрутов будет варьировать в диапазоне 470…600 км (примерно 3,5…4 летных часа), что соответствует типовой нагрузке для самолета АН-2. Для маршрута с максимальным значением времени возможен осмотр сразу четырех ООПТ, включая «Фролихинский заказник». Также остается запас летного времени самолета АН-2 для осуществления высадки групп парашютистов-пожарных при необходимости.

Указанные в Планах тушения маршруты не являются ошибочными, они могут быть актуальными при определенных условиях развития лесопожарной ситуации, например при «вспышках» грозовых пожаров или при задействовании групп десантников-пожарных на вертолетах. Территория ГПЗ «Джергинский» отдалена от с. Баргузин,

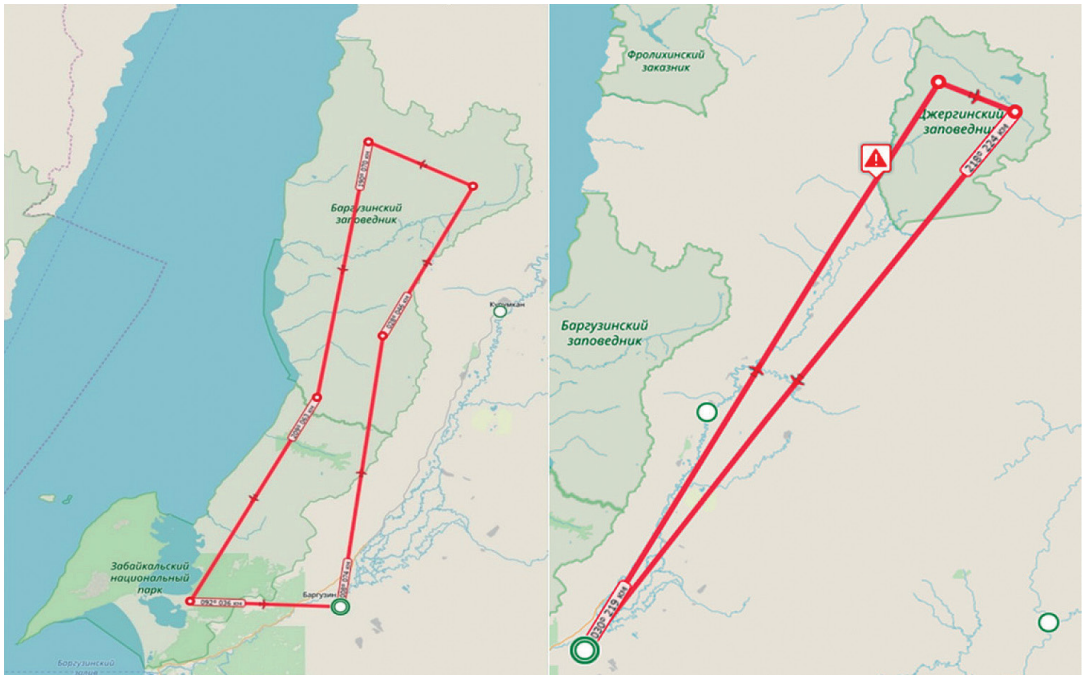


Рис. 3. Карты-схемы маршрутов авиационного патрулирования лесов на территории государственных природных заповедников «Джергинский», «Забайкальский национальный парк» и «Баргузинский заповедник» на пожароопасный сезон 2022 г. (Республика Бурятия)

Fig. 3. Maps-schemes of routes of aviation patrol of forests on the territory of the GPP «Dzherginsky» and «Zabaikalsky National Park», GPP «Barguzinsky Reserve» for the fire season of 2022 (the Republic of Buryatia)

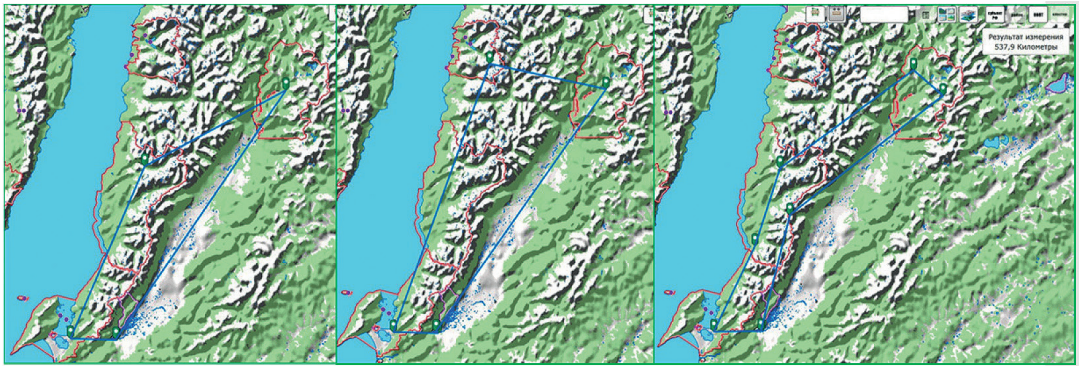


Рис. 4. Возможные варианты объеденных маршрутов авиационного патрулирования для осмотра ООПТ ФГБУ «Государственный заповедник «Джергинский» и ФГБУ «Заповедное Подлеморье»

Fig. 4. Possible variants of combined air patrol routes for the inspection of the protected areas of the Federal State Budgetary Institution «State Reserve «Dzherginsky» and the Federal State Budgetary Institution «Reserved Podlemorye»

где базируются авиапожарные команды, на расстояние более 200 км. Это означает, что в случае возникновения пожара время прибытия вертолета типа Ми-8 с группами десантников-пожарных составит более 1 ч. Для работы вертолета потребуется использование дополнительных топливных баков. Время полета с учетом проведения высадки десантников к месту обнаруженного пожара составит не менее 2,5 ч.

Для условий определенных ООПТ целесообразно разрабатывать и официально утверждать несколько маршрутов авиационного патрулирования с учетом различных ситуаций.

Вопрос эффективности маршрутов авиапатрулирования тесно связан с периодичностью проведения осмотров. Полеты должны проводиться в периоды высокой вероятности появления пожаров согласно требованиям приказа Минприроды России от 15.11.2016 г. № 597 «Об утверждении Порядка организации и выполнения авиационных работ по охране лесов от пожаров и Порядка организации и выполнения авиационных работ по защите лесов».

Фактически основные действия подразделении по охране от лесных и природных пожаров, их готовность, дежурство, кратность осмотров (работа наблюдательных пунктов, вышек) и патрулирований (наземных, водных, авиационных) подчинены определенному регламенту, который зависит от текущего класса пожароопасной по условиям погоды на конкретный день.

Определение действующего класса пожароопасной по условиям погоды проводится на основании методики, утвержденной приказом Федерального агентства лесного хозяйства от 05.07.2011 г. № 287 «Об утверждении классификации природной пожарной опасности лесов и классификации пожарной опасности в лесах в зависимости от условий погоды».

Следует отметить, что приказы Минприроды № 287, № 597, а также приказ Минприроды России от 01.04.2022 г. № 244 «Об утверждении Правил тушения лесных пожаров» и приказ Рослесхоза от 23.06.2014 г. № 276 «Об утверждении Порядка осуществления мониторинга пожарной опасности в лесах и лесных пожаров», «действуют» совместно как элементы одного комплекса мероприятий, дополняя друг друга. Поэтому для условий ООПТ в целях унификации действий целесообразно применять единые методы оценки и значения классов с теми, которые применяют уполномоченные органы субъектов Российской Федерации.

На текущий момент для оценки вероятности ландшафтных (природных) пожаров на землях иных категорий, с которых может распространяться угроза перехода огня на земли ООПТ, какие-либо другие методики отсутствуют.

Правовая и экспертная оценки проблематики организации авиационной охраны от лесных и природных пожаров на ООПТ включает в себя проблему применения беспилотных летательных аппаратов (БЛА) или беспилотных авиационных систем (БАС) [25].

По состоянию на 2022 г. в организациях ООПТ федерального значения заявлено об использования более 160 беспилотных комплексов. В основном это портативные вертолеты (мультикоптеры) малых классов с низкой стоимостью, в меньшей степени самолетные комплексы малых классов с повышенными характеристиками дальности полета и эффективным радиусом каналов связи. Ежегодно применение подобной техники в природоохранном деле и лесоохранной сфере стабильно растет. Актуальность приобретает методическое и нормативное регулирование этих процессов.

Во всех случаях применения для авиационных работ БАС или БЛА необходимо руководствоваться требованиями воздушного законодательства (Воздушный кодекс Российской федерации, федеральные авиационные правила). Согласно законодательству, оператор БЛА или БАС выполняет функцию командира беспилотного воздушного судна (БВС), со всеми вытекающими механизмами юридической ответственности. Для использования БВС в российском воздушном пространстве действует только разрешительная система применения, т. е. полеты должны быть заранее согласованы с органами управления воздушным движением.

Использование воздушного пространства БВС осуществляется посредством установления временного и местного режимов, а также кратковременными ограничениями в интересах пользователей воздушного пространства, организующих полеты БВС.

Анализ показал, что 66 % ООПТ федерального значения имеют площадь менее 200 тыс. га. Это означает, что имеется техническая возможность организации авиационного мониторинга на БАС самолетного типа (как правило, аппараты с полетной массой менее 10 кг) с эффективными радиусами по радиоканалу до 50 км.

На расширение практики применения БВС для авиационного мониторинга за пожарами на ООПТ имеются следующие ограничения:

– технические — устойчивость передачи данных (востребован режим видео on-line) на значительные расстояния, сложный рельеф местности;

– административные — ограничения на использования воздушного пространства в связи с близостью государственной границы, зон аэропортов, военных объектов, наличием полетов других воздушных судов;

– экономические — стоимость эксплуатации комплексов и проведения миссии.

Перспективность применения БВС состоит в том, что в условиях ООПТ представляется возможным минимизировать сопутствующее воздействие на фауну охраняемого комплекса, снизить объемы перемещения персонала и техники в уязвимой среде.

В положениях заповедников традиционно предусмотрено ограничение на использование пилотируемой авиации над ООПТ на высотах полета ниже 2000 м. Однако приказом Минтранса России от 24.07.2020 г. № 255 «Об установлении зон ограничения полетов» устанавлено, что каждый заповедник имеет свой номер зоны, например: «USR973 — Денежкин Камень. Ограничения круглосуточно, минимальная высота 1600 футов (500 м)». Таким образом, согласно приказам Минтранса России, постоянные зоны ограничения полетов могут устанавливаться над государственными природными заповедниками в размере на высотах не менее 500 м от поверхности земли.

Положения заповедников в части ограничений для полетов пилотируемой авиации требуют актуализации.

Для формирования оптимальных патрульных маршрутов для пилотируемой и беспилотной авиации в рамках исследовательской работы разработаны нижеследующие предложения:

1. При разработке маршрутов воздушных судов целесообразно оценить допустимую площадную нагрузку. Площадная нагрузка на воздушное судно — это допустимые размеры обслуживаемой территории, закрепляемой за самолетами (вертолетами), при которых обеспечивается требуемый режим полетов и обслуживание лесных и природных пожаров по установленной технологической схеме.

Допустимая площадная нагрузка может быть определена по формуле

$$S = 0{,}0002\ \text{п}RL,$$

где S — допустимая площадная нагрузка, млн га;

п — коэффициент полезности маршрута (КПМ);

R — радиус обзора с борта воздушного судна (ВС), км;

L — оптимальная протяженность маршрута, км.

Коэффициент полезности маршрута определяется как отношение осматриваемой с маршрута площади в пределах охраняемой территории к расчетной площади, соответствующей протяженности этого маршрута. Оптимально, когда коэффициент составляет 0,7…0,8 и более. Радиус обзора с пилотируемого ВС принимается 30 км. Оптимальная протяженность маршрута патрулирования зависит от кратности патрулирования и плотности пожаров на единицу охраняемой территории, технических параметров воздушного судна (крейсерская скорость полета, дальность).

2. Для БВС размеры и протяженность маршрута будут ограничены радиусом действия по радиоканалу, поскольку при выполнении патрулирования требуется обеспечение устойчивого канала передачи видеоинформации в режиме реального времени (on-line). Площадные нагрузки для БАС с радиусом действия по радиоканалу до 50 км находится в диапазоне 100…300 тыс. га. Радиус обзора с БЛА может быть существенно ниже 30 км, что зависит от целевой нагрузки и мощности приемо-передающего оборудования в составе всего комплекса. При разработке маршрута необходимо указать значения радиуса обзора с БВС равной дистанции, с которой оператор беспилотного комплекса способен устойчиво идентифицировать дымовую колонку загорания площадью 0,1 га при высоте полета БЛА 500 м над рельефом местности, действуя в режиме реального времени.

3. Маршруты патрулирования планируют по наиболее опасным в пожарном отношении участкам, где высока вероятность возникновения загораний. При этом учитывается возможность осмотра всей ООПТ. Интервал между линиями полета пилотируемого ВС не должен превышать 60 км (для БВС не более двух значений радиуса обзора), а от маршрута до границы обслуживаемой площади — не более 30 км (для БВС не более радиуса обзора). Патрулирование осуществляется таким образом, чтобы не было больших перекрытий при осмотре одной территории с разных сторон маршрута. Допускается пересечение линии маршрута участков районов применения наземных сил и средств пожаротушения. Линии полетов прокладываются с использованием картографического материала после определения нормативной площадной нагрузки на пилотируемый летательный аппарат.

4. С учетом размеров и конфигурации ООПТ допускается разработка и утверждение следующих маршрутов:

– целевого маршрута — полет ВС полностью осуществляется для решения задач охраны ООПТ;

– объединенного маршрута — полет ВС осуществляется для решения задач охраны нескольких ООПТ;

– интегрированного маршрута — одна часть полета ВС осуществляется для решения задач ООПТ, другая часть направлена на решение задач других потребителей (заказчиков услуг).

Для ООПТ с незначительной площадью допускается интегрированный маршрут, когда осматриваемая площадь территории попадает в радиус обзора, но при этом линия полета воздушного судна над ООПТ не находится.

5. В ходе проведения наземного патрулирования допускается использование переносных БЛА для увеличения радиуса осмотра. Требования по составлению маршрутов полетов для них при осуществлении наземного патрулирования не устанавливаются. Применение данных беспилотных летательных аппаратов происходит на малых высотах, так, чтобы не препятствовать работе патрульных воздушных судов.

Выводы

В условиях ООПТ оптимальным является использование «легких» сил пожаротушения, состоящих из автономных групп по 5–6 чел. с транспортными средствами и с возможностью аэромобильной доставки. Для большинства специалистов команд пожаротушения на землях ООПТ требуется уделять внимание специализированной подготовке работ с воздушными судами (в том числе беспилотными), взаимодействию

с экипажами воздушных судов, адаптации индивидуального и группового снаряжения и оборудования команд к автономным действиям, транспортировке на ВС.

Особо охраняемые природные территории имеют определенное преимущество для применения БАС — они обладают относительно изолированными зонами для применения авиации, что упрощает процедуру использования ведомственных БВС, а также использование малых вертолетов (мультикоптеров) на близком расстоянии при проведения наземного патрулирования лесов или непосредственно при тушении пожаров либо в режиме стационарного наблюдательного пункта (вышки).

Кроме того, облегчается использование беспилотных самолетов для авиационного патрулирования лесов в труднодоступной местности на средних дистанциях (в радиусе до 50 км от места старта ВС). Здесь ограничением может быть рельеф местности, которые будет препятствовать прохождению ультракоротковолновых сигналов радиосвязи, снижать дистанцию передачи видео.

На начало второго десятилетия XXI в. не существует утвержденных методик расчета площадной нагрузки на БВС и критерия построения патрульных маршрутов. Лимитирующими для построения оптимальных маршрутов являются следующие параметры:

– дальность полета аппарата;

– эффективный радиус радиоканала (требуется передача видео, как правило, на более чем 50 км);

– дистанция устойчивого обнаружения точек дыма или загорания посредством целевой нагрузки аппарата (для БЛА малых классов на уровне менее 10…15 км);

– полетные ограничения по значениям ветра, осадков.

Определенным сдерживающим обстоятельством для развития беспилотной авиации в системе ООПТ являются противоречия в воздушном законодательстве в части подготовки кадров. Это проблема выходит за рамки данной научной исследовательской работы.

Правовые условия для использования беспилотной авиации на землях ООПТ благоприятны: 66 % ООПТ имеют площадь зоны лесоавиационных работ равной производительности БАС самолетного типа малого класса.

Список литературы

[1] Коровин Г.Н., Андреев Н.А. Авиационная охрана лесов. М.: Агропромиздат, 1988. 223 с.

[2] Щетинский Е.А. Авиационная охрана лесов. М.: ВНИИЛМ, 2001. 488 с.

[3] Матвеев П.М., Матвеев А.М Лесная пирология. Красноярск: СибГТУ, 2002. 316 с.

[4] Бобринский А.Н., Воронов М.А., Коршунов Н.А., Ловцова Н.В., Петров А.П., Проказин Н.Е. Правоприменение и управление в сфере использования, охраны, защиты и воспроизводства лесов / Под ред. А.П. Петрова. М.: Всемирный банк, 2015. 252 с.

[5] Котельников Р.В., Лупян Е.А., Барталев С.А., Ершов Д.В. Космический мониторинг лесных пожаров: история создания и развития ИСДМ-Рослесхоз // Лесоведение, 2019. № 5. С. 399-409.

[6] Степные пожары и управление пожарной ситуацией в степных ООПТ: экологические и природоохранные аспекты. Аналитический обзор. М.: Изд-во Центра охраны дикой природы, 2015. 144 с.

[7] Куксин Г.В., Крейндлин М.Л. Степные пожары: профилактика, тушение, правовые аспекты. Методические рекомендации для сотрудников особо охраняемых природных территорий. М.: Изд-во Центра охраны дикой природы, 2014. 128 с.

[8] Валендик Э.Н. Районирование территории Сибири и Дальнего Востока по условиям возникновения крупных лесных пожаров // Методы и средства борьбы с лесными пожарами. М: ВНИИЛМ, 1986. С. 102–118.

[9] Иванов В.А., Иванова Г.А., Москальченко С.А. Справочник по тушению природных пожаров. Проект ПРООН/МКИ Расширение сети ООПТ для сохранения Алтае-Саянского экорегиона. Красноярск: Институт леса им. В.Н. Сукачева Сибирского отделения Российской академии наук, 2011, 130 с.

[10] Иванов В.А., Иванова Г.А., Москальченко С.А., Коршунов Н.А. Лесные горючие материалы и пожароопасность насаждений Сибири: справочник учебный. Красноярск: СибГУ им. М.Ф. Решетнева, 2017. 93 с.

[11] Коршунов Н.А., Савченкова В.А., Перминов А.В., Калинин М.С. Оценка состояния лесопожарной системы страны // Лесохозяйственная информация, 2019. № 3. С. 82–93.

[12] Жаринов С.Н., Голубева Е.И., Зимин М.В. Концептуальные основы организации охраны лесов от пожаров // Вопросы лесной науки, 2020. Т. 3. № 3. С. 1–8.

[13] Коршунов Н.А., Мартынюк А.А., Савченкова В.А., Калинин М.С. Оценка состояния средств тушения лесных пожаров и экономической эффективности их применения // Лесохозяйственная информация, 2019. № 1. С. 77–88.

[14] Перминов А.В., Савченкова В.А., Коршунов Н.А., Конюшенков М.Е. Перспективы применения мотовездеходов в лесном хозяйстве // Лесохозяйственная информация, 2021. № 3. С. 59–69.

[15] Белов В.А., Куличенко В.В., Модин В.И. Применение лесопожарных мотопомп при борьбе с лесными пожарами. Методические рекомендации. С-Петербург: ЛенНИИЛХ, 1992. 33 с.

[16] Коршунов Н.А., Щетинский Е.А., Воронов М.А., Павлухина Е.А. Справочник руководителя тушения лесного пожара. Пушкино: ФАУ ВИПКЛХ, 2017. 192 с.

[17] Вонский С.М., Наумов В.Б., Жданко В.А. Лесные пожары и способы их тушения. Под ред. Е.С. Арцибашева. Ленинград: ЛенНИИЛХ, 1989. 57 с.

[18] Куксин Г.М., Крейдлин М.Л., Коршунов Н.А. Рекомендации по тушению торфяных пожаров на осушенных болотах. Опыт работы добровольных лесных пожарных. М.: Гринпис, 2017. 112 с.

[19] Справочник добровольного лесного пожарного. Методические рекомендации для добровольцев. М.: Гринпис, 2017. 151 с.

[20] Ефимцев Ю.А., Бобринский А.Н., Сличенкова И.А., Перминов А.В. Охрана труда при выполнении полевых работ в лесном фонде. Ярославль: Канцлер, ВИПКЛХ, 2019. 156 с.

[21] Котельников Р.В., Коршунов Н.А., Гиряев Н.М. Задачи принятия решений в области охраны лесов от пожаров: основные приоритеты развития информационного обеспечения // Сибирский лесной журнал, 2017. № 5. С. 18-24. DOI: 10.15372/SJFS20170502

[22] Распоряжение Губернатора Ханты-мансийского автономного округа – Югры от 11 марта 2022 г № 58-рг «О сводном плане тушения лесных пожаров на территории Ханты-Мансийского автономного округа - Югры на период пожароопасного сезона 2022 года». URL: https://docs.cntd.ru/document/578139986 (дата обращения 11.04.2022).

[23] Указ Главы Республики Бурятия от 17 марта 2022 г. № 52 «Об утверждении Сводного плана тушения лесных пожаров на территории Республики Бурятия на период пожароопасного сезона 2022 года». URL: https://base.garant.ru/403725146/ (дата обращения 14.04.2022).

[24] Сводный план тушения лесных пожаров на территории Иркутской области на период пожароопасного сезона 2022 года. URL: https://irkobl.ru/sites/alh/OhranaIZaschita/Deyatelnost/OhranaOtPojar/2021/ (дата обращения 13.04.2022).

[25] Коршунов Н.А., Савченкова В.А., Перминов А.В., Конюшенков М.Е. Перспективные направления применения беспилотных авиационных систем в лесном комплексе // Лесохозяйственная информация, 2022. № 2. С. 34-46. DOI 10.24419/LHI.2304-308з.2022.2.03

Сведения об авторах

Коршунов Николай Александрович — канд. с.-х. наук, зав. отделом лесной пирологии и охраны лесов от пожаров, Центр развития приоритетных беспилотных технологий в лесной отрасли, ФБУ ВНИИЛМ, letnab21@yandex.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» МГТУ им. Н.Э. Баумана (Мытищинский филиал), 9651658826@yandex.ru

Перминов Анатолий Викторович — ст. науч. сотр. отдела лесной пирологии и охраны лесов от пожаров — Центр развития приоритетных беспилотных технологий в лесной отрасли, ФБУ ВНИИЛМ, avperminov@mail.ru

Конюшенков Михаил Евгеньевич — зам. зав. отделом лесной пирологии и охраны лесов от пожаров — Центр развития приоритетных беспилотных технологий в лесной отрасли, ФБУ ВНИИЛМ, 4x4drive@mail.ru

Поступила в редакцию 28.12.2022.
Одобрено после рецензирования 30.03.2023.
Принятакпубликации 14.06.2023.

ASSESSMENT OF AVIATION PROTECTION WORKS ON LANDS OF PROTECTED AREAS OF FEDERAL SIGNIFICANCE

N.A. Korshunov[1], V.A. Savchenkova[1, 2]✉, A.V. Perminov[1], M.E. Konyushenkov[1]

[1]All-Russian Scientific Research Institute for Forestry and Forestry Mechanization, 15, Institutskaya st., 141202, Pushkino, Moscow reg., Russia
[2]BMSTU (Mytishchi branch), 1, 1st Institutskaya st., 141005, Mytishchi, Moscow reg., Russia

v9651658826@yandex.ru

The assessment of air protection works on the lands of specially protected natural territories is presented. The disadvantages of aviation forest monitoring are considered. The analysis of the actual fire danger of forests on the lands of specially protected natural territories is carried out. To assess the risks of 111 specially protected natural territories for the period from 2002 to 2021, a retrospective analysis of the registered thermal points in the systems of space monitoring of forest fires of the information system of remote monitoring of Rosleshoz (ISDM-Rosleshoz) and FIRMS was made. The absence of fires in certain periods does not exclude the risks of their occurrence. Based on the analysis of thermal points, the predominance of spring fires was revealed. The description of the areas characterized by the occurrence of fires depending on the season of the year is given. The result of the analysis of the situation with the occurrence of forest fires on the lands of specially protected natural territories in the context of federal districts is presented. During the study of the forest protection system on the lands of specially protected natural territories, an expert assessment of the organizational structure, forms and composition of fire extinguishing teams, as well as the availability of fire extinguishing forces and means was carried out. The structure of forest fire formations, a communication and warning system for ground and aviation forces are analyzed. An expert assessment of the effectiveness of air patrol routes on the lands of specially protected natural territories was carried out. The problem of remoteness of aircraft bases has been identified. Solutions to problems for areas with low and high burnability are proposed. The problem of the absence of an approved unified methodology for assessing the probability of landscape (natural) fires on lands of other categories, from the territory of which there may be a threat of fire transfer to the lands of specially protected natural territories, is revealed. Proposals have been developed for the formation of optimal patrol routes for manned and unmanned aircraft.
Keywords: forest protection, monitoring, unmanned aircraft systems, air patrol routes, mobile firefighting teams

Suggested citation: Korshunov N.A., Savchenkova V.A., Perminov A.V., Konyushenkov M.E. *Otsenka sovremennogo sostoyaniya avialesookhrannykh rabot na zemlyakh osobo okhranyaemykh prirodnykh territoriy federal'nogo znacheniya* [Assessment of aviation protection works on lands of protected areas of Federal significance]. Lesnoy vestnik / Forestry Bulletin, 2023, vol. 27, no. 4, pp. 60–72.
DOI: 10.18698/2542-1468-2023-4-60-72

References

[1] Korovin G.N., Andreev N.A. *Aviatsionnaya okhrana lesov* [Aviation protection of forests]. Moscow: Agropromizdat, 1988, 223 p.
[2] Shchetinskiy E.A. *Aviatsionnaya okhrana lesov* [Aviation protection of forests]. Moscow: VNIILM, 2001, 488 p.
[3] Matveev P.M., Matveev A.M *Lesnaya pirologiya* [Forest pyrology]. Krasnoyarsk: SibGTU, 2002, 316 p.
[4] Bobrinskiy A.N., Voronov M.A., Korshunov N.A., Lovtsova N.V., Petrov A.P., Prokazin N.E. *Pravoprimenenie i upravlenie v sfere ispol'zovaniya, okhrany, zashchity i vosproizvodstva lesov* [Law enforcement and management in the field of use, protection, protection and reproduction of forests]. Ed. A.P. Petrov. Moscow: World Bank, 2015, 252 p.
[5] Kotel'nikov R.V., Lupyan E.A., Bartalev S.A., Ershov D.V. *Kosmicheskiy monitoring lesnykh pozharov: istoriya sozdaniya i razvitiya ISDM-Rosleskhoz* [Space monitoring of forest fires: the history of the creation and development of ISDM-Rosleskhoz]. Lesovedenie, 2019, no. 5, pp. 399–409.
[6] *Stepnye pozhary i upravlenie pozharnoy situatsiey v stepnykh OOPT: ekologicheskie i prirodookhrannye aspekty. Analiticheskiy obzor* [Steppe fires and fire situation management in steppe protected areas: ecological and environmental aspects. Analytical review]. Moscow: Publishing House of the Center for Wildlife Conservation, 2015, 144 p.
[7] Kuksin G.V., Kreyndlin M.L. *Stepnye pozhary: profilaktika, tushenie, pravovye aspekty. Metodicheskie rekomendatsii dlya sotrudnikov osobo okhranyaemykh prirodnykh territoriy* [Steppe fires: prevention, extinguishing, legal aspects. Guidelines for employees of specially protected natural areas. Moscow: Izd-vo Tsentra okhrany dikoy prirody [Publishing House of the Center for Wildlife Conservation], 2014, 128 p.
[8] Valendik E.N. *Rayonirovanie territorii Sibiri i Dal'nego Vostoka po usloviyam vozniknoveniya krupnykh lesnykh pozharov* [Zoning of the territory of Siberia and the Far East according to the conditions for the occurrence of large forest fires]. Metody i sredstva bor'by s lesnymi pozharami [Methods and means of combating forest fires]. Moscow: VNIILM, 1986, pp. 102–118.
[9] Ivanov V.A., Ivanova G.A., Moskal'chenko S.A. *Spravochnik po tusheniyu prirodnykh pozharov. Proekt PROON/MKI Rasshirenie seti OOPT dlya sokhraneniya Altae-Sayanskogo ekoregiona* [Handbook for extinguishing natural fires. UNDP/MKI project Expansion of the network of protected areas for the conservation of the Altai-Sayan Ecoregion]. Krasnoyarsk: Krasnoyarsk: Institute of Forestry. V.N. Sukachev, Siberian Branch of the Russian Academy of Sciences, 2011, 130 p.
[10] Ivanov V.A., Ivanova G.A., Moskal'chenko S.A., Korshunov N.A. *Lesnye goryuchie materialy i pozharoopasnost' nasazhdeniy Sibiri: spravochnik uchebnyy* [Forest combustible materials and the fire hazard of plantations in Siberia: a study guide]. Krasnoyarsk: SibGU im. M.F. Reshetneva, 2017, 93 p.
[11] Korshunov N.A., Savchenkova V.A., Perminov A.V., Kalinin M.S. *Otsenka sostoyaniya lesopozharnoy sistemy strany* [Assessment of the state of the country's forest fire system]. Lesokhozyaystvennaya informatsiya [Forestry Information], 2019, no. 3, pp. 82–93.

[12] Zharinov S.N., Golubeva E.I., Zimin M.V. *Kontseptual'nye osnovy organizatsii okhrany lesov ot pozharov* [Conceptual foundations for organizing the protection of forests from fires]. Voprosy lesnoy nauki [Questions of forest science], 2020, v. 3, no. 3, pp. 1–8.
[13] Korshunov N.A., Martynyuk A.A., Savchenkova V.A., Kalinin M.S. *Otsenka sostoyaniya sredstv tusheniya lesnykh pozharov i ekonomicheskoy effektivnosti ikh primeneniya* [Assessment of the state of means of extinguishing forest fires and the economic efficiency of their use]. Lesokhozyaystvennaya informatsiya [Forestry Information], 2019, no. 1, pp. 77–88.
[14] Perminov A.V., Savchenkova V.A., Korshunov N.A., Konyushenkov M.E. *Perspektivy primeneniya motovezdekhodov v lesnom khozyaystve* [Prospects for the use of ATVs in forestry]. Lesokhozyaystvennaya informatsiya [Forestry Information], 2021, no. 3, pp. 59–69.
[15] Belov V.A., Kulichenko V.V., Modin V.I. *Primenenie lesopozharnykh motopomp pri bor'be s lesnymi pozharami. Metodicheskie rekomendatsii* [The use of forest fire motor pumps in the fight against forest fires. Guidelines]. St. Petersburg: LenNIILKh, 1992, 33 p.
[16] Korshunov N.A., Shchetinskiy E.A., Voronov M.A., Pavlukhina E.A. *Spravochnik rukovoditelya tusheniya lesnogo pozhara* [Handbook of the forest fire extinguishing manager]. Pushkino: FAU VIPKLH, 2017, 192 p.
[17] Vonskiy S.M., Naumov V.B., Zhdanko V.A. *Lesnye pozhary i sposoby ikh tusheniya* [Forest fires and ways to extinguish them]. Ed. E.S. Artsibasheva. Leningrad: LenNIILKh, 1989, 57 p.
[18] Kuksin G.M., Kreydlin M.L., Korshunov N.A. *Rekomendatsii po tusheniyu torfyanykh pozharov na osushennykh bolotakh. Opyt raboty dobrovol'nykh lesnykh pozharnykh* [Recommendations for extinguishing peat fires in drained bogs. Experience of volunteer forest firefighters]. Moscow: Greenpeace, 2017, 112 p.
[19] *Spravochnik dobrovol'nogo lesnogo pozharnogo. Metodicheskie rekomendatsii dlya dobrovol'tsev* [Volunteer Forest Fire Handbook. Guidelines for volunteers]. Moscow: Greenpeace, 2017, 151 p.
[20] Efimtsev Yu.A., Bobrinskiy A.N., Slichenkova I.A., Perminov A.V. *Okhrana truda pri vypolnenii polevykh rabot v lesnom fonde* [Occupational safety during field work in the forest fund]. Yaroslavl: Chancellor, VIPKLH, 2019, 156 p.
[21] Kotel'nikov R.V., Korshunov N.A., Giryaev N.M. *Zadachi prinyatiya resheniy v oblasti okhrany lesov ot pozharov: osnovnye prioritety razvitiya informatsionnogo obespecheniya* [Decision-making tasks in the field of forest fire protection: the main priorities for the development of information support]. Sibirskiy lesnoy zhurnal [Siberian Forestry Journal], 2017, no. 5, pp. 18–24. DOI: 10.15372/SJFS20170502
[22] *Rasporyazhenie Gubernatora Khanty-mansiyskogo avtonomnogo okruga – Yugry ot 11 marta 2022 g № 58-rg «O svodnom plane tusheniya lesnykh pozharov na territorii Khanty-Mansiyskogo avtonomnogo okruga – Yugry na period pozharoopasnogo sezona 2022 goda»* [Order of the Governor of the Khanty-Mansiysk Autonomous Okrug – Yugra dated March 11, 2022 no. 58-rg «On the consolidated plan for extinguishing forest fires in the Khanty-Mansiysk Autonomous Okrug – Yugra for the period of the fire season 2022»]. Available at: https://docs.cntd.ru/document/578139986 (accessed 11.04.2022).
[23] *Ukaz Glavy Respubliki Buryatiya ot 17 marta 2022 g. № 52 «Ob utverzhdenii Svodnogo plana tusheniya lesnykh pozharov na territorii Respubliki Buryatiya na period pozharoopasnogo sezona 2022 goda»* [Decree of the Head of the Republic of Buryatia dated March 17, 2022 No. 52 «On approval of the Consolidated plan for extinguishing forest fires on the territory of the Republic of Buryatia for the period of the fire season 2022»]. Available at: https://base.garant.ru/403725146/ (accessed 14.04.2022).
[24] *Svodnyy plan tusheniya lesnykh pozharov na territorii Irkutskoy oblasti na period pozharoopasnogo sezona 2022 goda* [Consolidated plan for extinguishing forest fires in the Irkutsk region for the period of the fire season 2022]. Available at: https://irkobl.ru/sites/alh/OhranaIZaschita/Deyatelnost/OhranaOtPojar/2021/ (accessed 13.04.2022).
[25] Korshunov N.A., Savchenkova V.A., Perminov A.V., Konyushenkov M.E. *Perspektivnye napravleniya primeneniya bespilotnykh aviatsionnykh sistem v lesnom komplekse* [Perspective directions for the use of unmanned aerial systems in the forest complex]. Lesokhozyaystvennaya informatsiya [Forestry Information], 2022, no. 2, pp. 34–46. DOI 10.24419/LHI.2304-308z.2022.2.03

Authors' information

Korshunov Nikolay Aleksandrovich – Cand. Sci. (Agriculture), Head of the Department of Forest pyrology and forest fire protection, Center for Development of Priority Unmanned Technologies in Forestry of the Federal Budgetary Institution All-Russian Research Institute for Silviculture and Mechanization of Forestry, letnab21@yandex.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, Professor of the Department of Forest cultures, breeding and Dendrology, BMSTU (Mytishchi branch) v9651658826@yandex.ru

Perminov Anatoly Viktorovich — Senior Researcher of the Department of forest pyrology and forest fire protection, Center for the Development of Priority Unmanned Technologies in the Forest Sector of the Federal Budgetary Institution All-Russian Research Institute for Silviculture and Mechanization of Forestry, avperminov@mail.ru

Konyushenkov Mikhail Evgen'evich — Deputy Head of the Department of Forest pyrology and forest fire protection — Center for the development of priority unmanned technologies in the forest industry of the Federal Budgetary Institution All-Russian Research Institute for Silviculture and Mechanization of Forestry, 4x4drive@mail.ru

Received 28.12.2022.
Approved after review 30.03.2023.
Accepted for publication 14.06.2023.

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

УДК 630.431(571.11)
DOI: 10.18698/2542-1468-2023-4-73-80
Шифр ВАК 4.1.3

ОСОБЕННОСТИ ПОЖАРООПАСНОГО СЕЗОНА 2022 ГОДА В КУРГАНСКОЙ ОБЛАСТИ

А.М. Ерицов[1], И.М. Секерин[2], А.А. Кректунов[3], С.В. Залесов[2]✉

[1]ФБУ «Центральная база авиационной охраны лесов «Авиалесоохрана», Россия, 141207, Московская обл., г. Пушкино, ул. Горького, д. 20
[2]ФГБОУ ВО «Уральский государственный лесотехнический университет», Россия, 620100, г. Екатеринбург, ул. Сибирский тракт, д. 37
[3]ФГБОУ ВО «Уральский институт государственной противопожарной службы Министерства Российской Федерации по делам гражданской обороны, чрезвычайным ситуациям и ликвидации последствий стихийных бедствий», Россия, 620062, Свердловская область, г. Екатеринбург, ул. Мира, д. 22

Zalesovsv@m.usfeu.ru

Рассмотрена динамика количества лесных пожаров в Курганской обл. и пройденной ими площади в течение пожароопасного сезона 2022 г. Зафиксировано 468 лесных пожаров площадью 123 703,48 га. Установлено сокращение в 2,2 раза количества лесных пожаров по сравнению с 2021 г. и уменьшение в 2 раза количества крупных пожаров. Проведен комплексный анализ погодных условий, оснащенности средствами пожаротушения и привлечения дополнительно сил и средств. Отмечено некоторое увеличение пройденной огнем площади и средней площади лесного пожара, что свидетельствует о тенденции роста горимости лесов. Рекомендуется жесткий контроль за соблюдением правил пожарной безопасности, своевременное введение режима региональной чрезвычайной ситуации и более оперативное маневрирование силами и средствами пожаротушения, а с учетом частичного загрязнения территории лесного фонда радионуклидами и заболоченности — широкое использование авиационных сил и средств при охране лесов от пожаров.

Ключевые слова: Курганская область, лесной пожар, горимость, дополнительные силы и средства пожаротушения, маневрирование

Ссылка для цитирования: 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

Совершенствование охраны и защиты лесов на территории Российской Федерации в целом и в любом из ее регионов невозможно без глубокого комплексного анализа природных условий, лесного фонда, освоенности территории, обеспеченности средствами пожаротушения, оперативности фиксации возникающих пожаров, подготовленности рабочих, участвующих в их ликвидации. Большой практический интерес представляют результаты исследований, посвященные специфике горимости различных категорий земель лесного фонда, эффективности пожаротушения в каждом конкретном регионе при определенных погодных условиях. К сожалению, работ, посвященных этим вопросам, представлено относительно немного в периодических журналах и других научных изданиях [1, 2]. Существенно чаще публикуются материалы о количестве лесных пожаров и пройденной ими площади [3–5], о противопожарной технике [6], способах борьбы с огнем [7, 8] и особенностях противопожарного устройства на землях разных категорий [9, 10]. Однако решить задачу минимизации горимости лесов можно только при условии обобщения имеющегося опыта, полученного в конкретном регионе за предыдущие годы.

Цель работы

Цель работы — анализ горимости лесов Курганской области в 2022 г. и на его основе разработка рекомендаций по недопущению в будущем чрезвычайных ситуаций вследствие совершенствования взаимодействия служб пожаротушения.

Материалы и методы исследования

В ходе проведенных исследований нами проанализированы природные условия, данные о количестве и площадях лесных пожаров, сведения о работе служб пожаротушения в лесном фонде Курганской обл. в пожароопасный сезон 2022 г.

Территория района исследований относится к Западно-Сибирскому подтаежному лесному району. Лесной фонд характеризуется преимущественно березовыми и сосновыми массивами, которые располагаются среди сельскохозяйственных угодий и не покрытых лесной растительностью площадей. Высокая потенциальная вероятность возникновения и быстрого распространения лесных пожаров вызывает необходимость совершенствования охраны и защиты лесов с помощью

© Автор(ы), 2023

эффективного противопожарного устройства территорий, оперативного обнаружения и ликвидации пожаров [11, 12].

В основу исследований положен анализ условий, обеспечивающих горение напочвенных горючих материалов, данных о горимости лесов Курганской обл. в 2022 г. Сведения о фиксации термоточек, а также разрастании площади очагов загорания получены на основе информационной системы дистанционного мониторинга — ИСДМ-Рослесхоз.

При выполнении работы были проанализированы также показатели горимости лесов в сопоставлении с наращиванием привлекаемых из других регионов страны сил пожаротушения.

Результаты и обсуждение

Общая площадь лесного фонда Курганской обл. превышает 1898,4 тыс. га. Класс природной пожарной опасности (КППО) в целом по области — 2,8, что характеризует высокую горимость лесов в регионе при соответствующих погодных условиях и способствует быстрому распространению огня в случае возгораний. За последние пять лет на территории Курганской обл. в среднем ежегодно возникало 483 лесных пожара при пройденной огнем площади 16613 га [13]. Периодически в исследуемом районе устанавливались аномальные погодные условия с продолжительными засушливыми периодами, высокими температурами воздуха и сильной ветровой нагрузкой, когда действующие ландшафтные пожары выходили из-под контроля и распространялись по территории с большой скоростью. За последние 20 лет такие пожароопасные периоды зафиксированы в 2004 и в 2019 гг. В 2004 г. в огне лесных пожаров сгорело около 400 строений и погибло 12 чел. В 2019 г. огнем уничтожено 84 строения.

В начале пожароопасного сезона 2022 г. в Курганской обл. также была зафиксирована экстремальная обстановка. При этом в огне природных пожаров сгорело 77 строений. Из четырех деревень эвакуировано 865 чел. К счастью, человеческих жертв удалось избежать [14]. Такие аномальные погодные условия и чрезвычайная горимость во всех случаях устанавливалась в весенний период, чему способствовало раннее таяние снега, высокие температуры воздуха, сильный ветер, отсутствие осадков и несоблюдение гражданами элементарных правил пожарной безопасности [15].

За период до 13 ноября 2022 г. в Курганской обл. зафиксировано 468 лесных пожаров. При этом пройденная ими площадь составила 123 703,48 га [16]. По показателям фактической горимости лесов 2022 г. существенно отличается от предыдущего года и предшествующих 5 лет (таблица).

По материалам таблицы можно сделать следующие выводы:

– количество пожаров уменьшилось в 2,2 раза, их площадь увеличилась в 2,8 раза; площадь, пройденная огнем, превысила среднегодовую за последние 5 лет в 7,4 раза;

– количество пожаров площадью более 20 га уменьшилось в 2022 г. по сравнению с 2021 г. в 2 раза, однако превысило среднегодовое значение за последние 5 лет в 1,8 раза;

– пожары площадью более 20 га увеличились в 3,2 и 8,7 раза относительно 2021 г. и среднегодового показателя за последние 5 лет, соответственно;

– доля крупных лесных пожаров увеличилась относительно 2021 г. и среднегодового показателя за последние 5 лет соответственно в 1,1 и 2,6 раза;

– показатель оперативности обнаружения пожаров улучшился в 2,1 раза по сравнению с 2021 г. и в 1,3 раза по сравнению со средними многолетними показателями;

Динамика показателей горимости лесов Курганской обл. на 13 ноября 2022 г.

Dynamics of Kurgan region forest fire danger indicators as of November 13, 2022

Показатель	Единица измерения	Год		В среднем за 5 лет
		2021	2022	
Количество лесных пожаров	ед.	1010	468	483
Общая площадь, пройденная пожарами,	га	43 183	123 703	16 613
Количество крупных лесных пожаров	ед.	142	74	40
Площадь, пройденная крупными пожарами	га	38 342	121 639	13 993
Доля крупных лесных пожаров	%	14,1	15,8	6,1
Оперативность обнаружения пожаров на площади менее 5 га	%	83,9	93,2	91,2
Средняя площадь обнаружения одного пожара	га	3,0	1,4	1,8
Средняя общая площадь одного пожара,	га	42,8	264,3	35,1
Пожары, ликвидированные в течение первых суток	%	83,3	88	94,1
Количество суток с IV–V классами пожарной опасности (КПО) по условиям погоды	сут.	168	174	112

Рис. 1. Динамика пожаров в Курганской обл. за 2022 г.
Fig. 1. Dynamics of fires in Kurgan region in 2022

– средняя площадь одного пожара увеличилась в 6,2 раза по сравнению с 2021 г. и в 7,5 раза в сравнению со среднегодовым значением за последние 5 лет, составив 264,3 га.

Доля пожаров, ликвидированных в первые сутки после обнаружения, по годам изменяется несущественно.

Согласно зонирования лесного фонда Курганской обл. по способам мониторинга и ликвидации пожаров 1071 тыс. га относится к зоне авиационного мониторинга, для чего применяется самолет АН-2. Обнаружение осуществляет летчик наблюдатель, а тушение проводится наземными подразделениями. При этом 753,2 тыс. га относится к зоне наземного мониторинга, где обнаружение и тушение пожаров осуществляются наземными подразделениями. Район применения авиационных сил пожаротушения на территории области отсутствует. В то же время в отдельные периоды года по причине доминирования насаждений с высокими КППО возникают ситуации, когда пожарная обстановка становится чрезвычайной. Последнему во многом способствуют отсутствие осадков в течение длительного времени, высокие температуры воздуха и сильные ветровые нагрузки. В их условиях даже при оперативном обнаружении загорания требуется значительное время для доставки людей и техники к месту пожара. За период прибытия наземных лесопожарных формирований площадь очага возгорания многократно увеличивается, что во многом способствует развитию крупных пожаров. В некоторых лесничествах этому способствует заболоченность территории, где невозможно или проблематично использовать наземную лесопожарную технику. Отметим, что 225 тыс. га лесного фонда в Долматовском, Шадринском, Каргапольском и Шатровском лесничествах относятся к зоне радиоактивного загрязнения, где борьбу с огнем должны осуществлять с применением авиации согласно нормативно-правовым документам [17].

В 2022 г. зафиксировано значительное количество суток с высокими (IV–V) классами пожарной опасности по условиям погоды. Указанных суток в 2022 г. было 174, в то время как в среднем ежегодно за последние 5 лет их количество не превышало 112 сут. Пик горимости в 2022 г. сложился в период с 28 апреля по 13 мая (рис. 1).

Известно, что основной причиной природных пожаров является антропогенный фактор. Наши исследования показали, что 279 лесных пожаров (60,5 % общего количества) возникло вследствие неосторожного обращения с огнем местного населения и рекреантов. Расположение лесов области среди земель сельскохозяйственного назначения обусловило приход 139 пожаров (30,2 %) с указанных земель, а также с земель поселений и садовых товариществ. От грозовых разрядов возникло 24 пожара (5,2 %). Кроме того, 13 пожаров (2,8 %) возникло на линейных объектах (дорогах, линиях связи, путепроводах и т. д.), а затем перешло на лесной фонд, и 6 пожаров (1,3 %) пришло на территорию Курганской обл. из других субъектов Российской Федерации и из Республики Казахстан.

Начало пожароопасного сезона зарегистрировано 10 апреля 2022 г., т. е. на 7 сут раньше, чем в 2021 г. (17 апреля). Это обусловило вспышку горимости уже с 13 по 19 апреля — период, когда ежедневно регистрировалось от 3 до 16 пожаров. Всего за 7 сут было зарегистрировано 58 пожаров, а площадь, пройденная огнем, составила 3 005 га. Практически все пожары были ликвидированы в первые сутки (96,6 %).

Экстремальная обстановка сложилась в период с 28 апреля по 11 мая — зарегистрировано 225 лесных пожаров общей площадью 40 658 га [18].

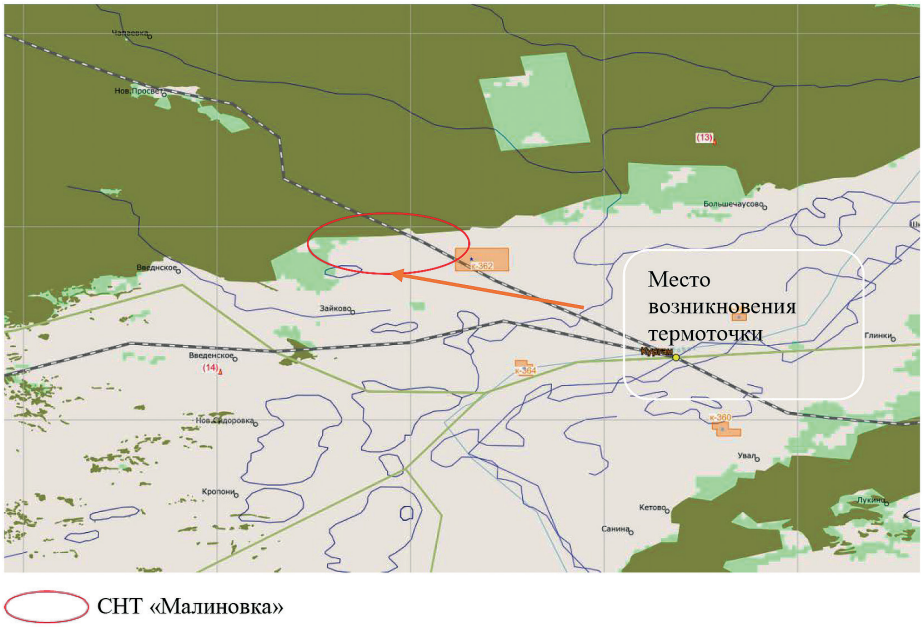


Рис. 2. Картографический интерфейс ИСДМ-Рослесхоз за 26.04.2022 г.
Fig. 2. The ISDM-Rosleskhoz cartographic interface for 26.04.2022

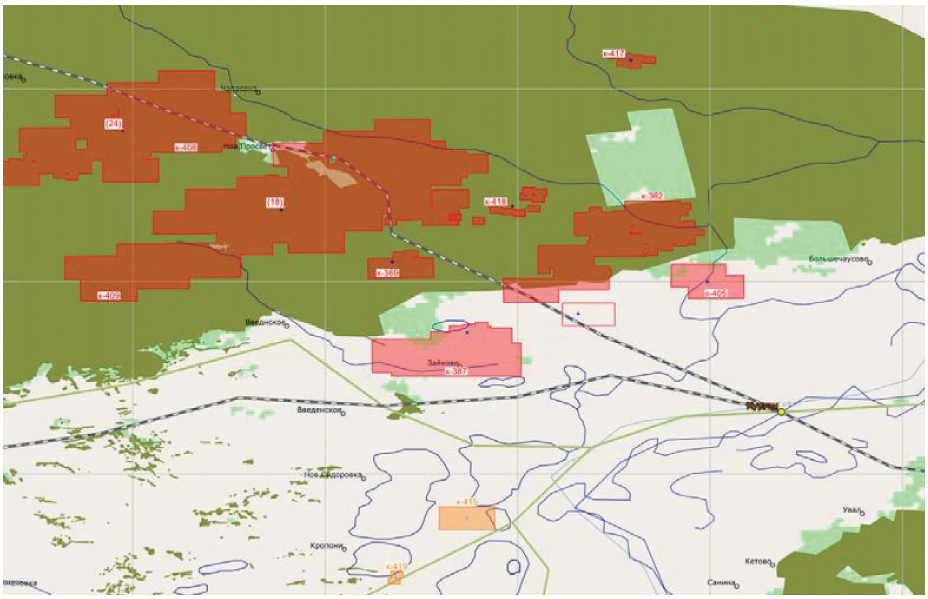


Рис. 3. Картографический интерфейс ИСДМ-Рослесхоз за 28.04.2022 г.
Fig. 3. The ISDM-Rosleskhoz cartographic interface for 28.04.2022

В этот же период, по данным архива метеостанции Курган, порывы ветра свыше 10 м/с отмечены в дневные часы 30 апреля (10 м/с и более), 2–3 мая (до 12 м/с), 4–5 мая (до 10 м/с), 5 мая (10 м/с и более), 6 мая (до 21 м/с), 7 мая (до 11 м/с), 10 мая (до 17 м/с).

Максимальное количество лесных пожаров, возникших за сутки, было зарегистрировано 10 мая (34 пожара), по пройденной огнем площади за сутки — 30 апреля (12 935 га) [18].

В результате замыкания электрических проводов, а также сжигания мусора и сухой травянистой растительности возникли пожары в населенных пунктах (г. Курган — СНТ «Малиновка», Белозерский округ — н.п. Волосниково, Варгашинский район — Моревская*),* которые в дальнейшем перешли на земли лесного фонда.

По данным информационной системы дистанционного мониторинга ИСДМ-Рослесхоз, 26 апреля 2022 г. в районе СНТ «Малиновка» была зарегистрирована термоточка (пожар), позднее огонь перешел на земли лесного фонда (рис. 2). 28 апреля зафиксирован прирост площади, пройденной огнем за сутки, который составил

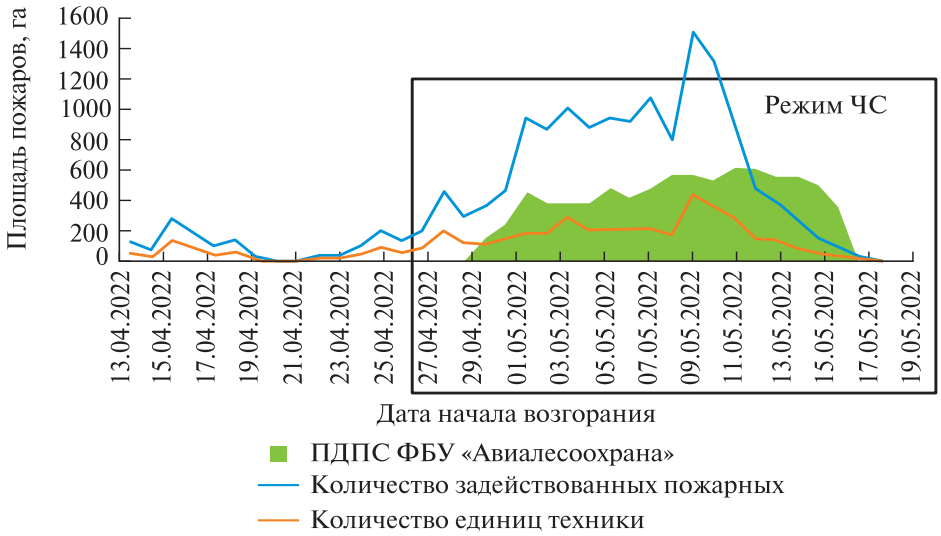


Рис. 4. Анализ наращивания ресурсов пожаротушения в Курганской обл. в 2022 г.
Fig. 4. Analysis of the build-up of firefighting resources in the Kurgan Region in 2022

779 га, и были зарегистрированы два пожара в Курганском лесничестве (рис. 3). Указанные пожары на площади 3 818 га были ликвидированы 6 мая и на площади 1 525 га 5 мая.

Постановлением губернатора Курганской обл. от 28.04.2022 г. № 48 на территории области был введен режим чрезвычайной ситуации (ЧС) в лесах регионального характера. Данный режим был введен своевременно и действовал 22 сут.

За период действия регионального режима ЧС возникло 138 пожаров, а пройденная ими площадь составила 41 650 га. По поручению Рослесхоза, в рамках межрегионального маневрирования организовано 15 перебросок, а группировка пожаротушения увеличена силами работников парашютно-десантной пожарной службы (ПДПС) до 570 чел. (из Свердловской, Архангельской, Мурманской, Вологодской областей, республик Коми, Карелия, Ханты-Мансийского автономного округа и ФБУ «Авиалесоохрана». Кроме того, в рамках взаимодействия на территории области была задействована аэромобильная группировка МЧС России из Челябинской и Свердловской областей [14, 18].

По привлечению дополнительных сил и средств для тушения лесных пожаров после введения режима ЧС 28.04.2022 отмечалось следующее: основные силы стали прибывать в регион после 1 мая, максимальное их привлечение зарегистрировано 10 мая — 1 516 чел. и 442 ед. техники (рис. 4).

В связи с действовавшими лесными пожарами в заболоченной местности применение тяжелой лесопожарной техники было невозможно. В связи с чем на комиссии по чрезвычайным ситуациям (КЧС) Курганской обл. было принято решение о необходимости привлечения к тушению пожаров авиации МЧС России (самолетов Бе-200 ЧС в количестве 2 ед. и вертолета Ми-8 с ВСУ-5А). Указанная авиационная техника выполнила следующие работы:

– Бе-200 (2 ед.) — 14 дней, 21 вылет, 103 ч 33 мин, 375 сбросов, 3 375 т воды;

– Ми-8 — 12 дней, 12 вылетов 58 ч 07 мин, 376 сбросов 1 128 т воды.

Вертолет Ми-8 также был задействован для оперативной доставки работников ПДПС к местам пожаров на территории Курганского и Юргамышевского лесничеств.

Выводы

1. В Курганской области по данным многолетних исследований прослеживается тенденция увеличения горимости лесов.

2. Высокие классы пожарной опасности по условиям погоды и сильные ветровые нагрузки способствуют быстрому распространению огня, что вызывает необходимость запрещения открытого огня в такие периоды на территории области.

3. Высокая доля лесных пожаров по вине населения вызывает необходимость усиления работы по противопожарной профилактике и соблюдению правил пожарной безопасности.

4. Своевременное введение режима ЧС регионального характера позволило оперативно увеличить пожарную группировку в регионе, однако необходимо рассмотреть возможность заблаговременного планирования и использования авиационных сил и средств пожаротушения с учетом наличия на территории региона участков радиоактивного загрязнения и болотистой местности, где затруднено или невозможно использование наземной лесопожарной техники в установленном порядке [17, 19–22].

Список литературы

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

[2] Залесов С.В. Лесная пирология. Екатеринбург: Баско, 2006. 312 с.

[3] Марченко В.П., Залесов С.В. Горимость ленточных боров Прииртышья и пути ее минимизации на примере ГЛПР «ЕртысОрманы» // Вестник Алтайского государственного аграрного университета, 2013. № 10 (108). С. 55–59.

[4] Петров И.А., Шушпанов А.С., Голюков А.С., Двинская М.Л., Харук В.И. Горимость сосняков Средней Сибири в условиях меняющегося климата // Сибирский экологический журнал, 2023. Т. 30. № 1. С. 46–59.

[5] Шубин Д.А., Залесова Е.С., Толстиков А.Ю. Показатели фактической горимости ленточных боров Алтайского края // Успехи современного естествознания, 2019. № 10. С. 23–28.

[6] Сафонова Т.В., Яготинцева Н.В., Колбина О.Н., Мокряк А.В. Выбор методики прогнозирования рисков возникновения лесных пожаров // Безопасность труда в промышленности, 2022. № 4. С. 69–74.

[7] Котельников Р.В., Лупян Е.А. Особенности дистанционно оцениваемых распределений площадей лесных пожаров для территорий с различным уровнем пожарной охраны // Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса, 2022. Т. 19. № 4. С. 75–87.

[8] Секерин И.М., Ерицов А.М., Кректунов А.А., Залесов С.В. Опыт тушения торфяных пожаров на Среднем Урале // Международный научно-исследовательский журнал, 2022. № 5 (119). Ч. 2. С. 81–85. DOI: https: //doi.Org/10.23670/IRJ. 2022.119.5.014

[9] Пивоварова И.И., Белоус П.С. ГИС-проектирование и анализ многолетней региональной изменчивости лесных пожаров // Инженерный вестник Дона, 2022. № 2 (86). С. 167–176.

[10] Ермолина М.А., Лукашов М.С. Лесные пожары на территории Российской Федерации: проблемы и методы решения // Евразийский юридический журнал, 2022. № 5 (168). С. 265–266.

[11] Чижов Б.Е., Залесов С.В., Терехов Г.Г., Санникова Н.С., Егоров Е.В. Противопожарное обустройство лесов южной тайги, лесостепи Западной Сибири и Урала // Лесохозяйственная информация, 2022. № 2. С. 13–33. DOI: 10.24419/LHI. 2304.3083.2022.2.02

[12] Шубин Д.А., Залесова Е.С., Толстиков А.Ю. Показатели фактической горимости ленточных боров Алтайского края // Успехи современного естествознания, 2019. № 10. С. 23–28.

[13] Суходолов А.П., Сорокина П.Г., Лебедева А.В. Математическая модель борьбы с лесными пожарами в Восточной Сибири (на примере Иркутской области): вычислительные эксперименты в среде JULIA // Известия Байкальского государственного университета, 2019. Т. 29. № 3. С. 349–358.

[14] Историческая справка главного управления МЧС России по Курганской области, 2022. URL: https://45.mchs.gov.ru/glavnoe-upravlenie/istoricheskaya-spravka (дата обращения 12.12.2022).

[15] Коновалов М.Н. Лесные пожары в Курганской области: причины и последствия // Актуальные проблемы лесного комплекса. 2010. № 25. URL: https://cyberleninka.ru/article/n/lesnye-pozhary-v-kurganskoy-oblasti-prichiny-i-posledstviya (дата обращения 12.12.2022).

[16] Сведения о лесопожарной обстановке на территории субъектов РФ на 13.11.2022. URL: https://aviales.ru/files/documents/2022/fds_svedenia/сведения о лесопожарной обстановке на территории субъектов рф на 14.11.2022.pdf (дата обращения 14.11.2022).

[17] Приказ Министерства природных ресурсов и экологии Российской Федерации от 8 июля 2014 года № 313 «Об утверждении Правил тушения лесных пожаров». URL: https://docs.cntd.ru/document/420208466 (дата обращения 22.11.2022).

[18] Нектегяев Г.Г., Борисов А.И. Оценка экономического ущерба от лесных пожаров // Московский экономический журнал, 2019. № 11. С. 67.

[19] Приказ Рослесхоза от 05.07.2011 № 287. «Об утверждении классификации природной пожарной опасности лесов и классификации пожарной опасности в лесах в зависимости от условий погоды». URL: https://docs.cntd.ru/document/902289183 (дата обращения 20.11.2022).

[20] Приказ Министерства природных ресурсов и экологии РФ от 15.11.2016 № 597 «Об утверждении порядка организации и выполнения авиационных работ по охране лесов от пожаров и Порядка организации и выполнения авиационных работ по защите лесов». URL: https://docs.cntd.ru/document/420385097 (дата обращения 14.11.2022).

[21] Малюков С.В., Бубнов С.С., Аксенов А.А. Анализ путей обеспечения энергосбережения при работе лесопожарных агрегатов // Воронежский научно-технический вестник, 2019. Т. 3. № 3 (29). С. 118–123.

[22] Приказ Министерства природных ресурсов и экология РФ от 08.06.2017 № 283 «Об утверждении особенностей осуществления профилактических и реабилитационных мероприятий в зонах радиоактивного загрязнения лесов». URL: https://docs.cntd.ru/document/456074883 (дата обращения 20.11.2022).

Сведения об авторах

Ерицов Андрей Маркелович — канд. с.-х. наук, заместитель начальника, ФБУ «Центральная база авиационной охраны лесов «Авиалесоохрана»

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

Кректунов Алексей Александрович — канд. с.-х. наук, доцент кафедры надзорной деятельности и права, «Уральский институт государственной противопожарной службы Министерства Российской Федерации по делам гражданской обороны, чрезвычайным ситуациям и ликвидации последствий стихийных бедствий»

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

Поступила в редакцию 16.12.2022.

Одобрено после рецензирования 23.01.2023.

Принята к публикации 14.06.2023.

FEATURES OF FIRE SEASON 2022 IN KURGAN REGION

A.M. Eritsov[1], D.M. Sekerin[2], A.A. Krektunov[3], S.V. Zalesov[2]✉

[1]FBU «Avialesookhrana», 20, Gorky st., 141207, Pushkino, Moscow reg., Russia
[2]Ural State Forestry Engineering University, 37, Siberian tract st., 620100, Yekaterinburg, Altay, Russia
[3]Ural Institute of the State Fire Service of the Ministry of the Russian Federation for Civil Defense, Emergencies and Disaster Relief, 22, Mira st., 620062, Yekaterinburg, Sverdlovsk reg., Russia

Zalesovsv@m.usfeu.ru

On the basis of a comprehensive analysis of the weather conditions, the necessary extinguishing equipment provided and the additional forces and means involvement, the dynamics of the number of forest fires with the area covered during the fire season have been shown in the article. It was established that in 2022, 468 forest fires were recorded in the forest fund of the Kurgan region and their area was 123 709,48 ha. Thanks to the involvement of additional forces and fire extinguishing equipment, despite adverse weather conditions, it was possible to reduce the number of forest fires by 2,8 times compared to 2021 and reduce the number of large fires by 2 times. At the same time, in 2022 an increase in the area covered by fires and the average area of forest fires were recorded. It has been established that in the region there is a tendency to increase the burning of the forests which necessitates more strict control over compliance with fire safety rules. It is recommended to timely introduce a regional emergency mode and more quickly maneuver the fire forces and means. Taking into account that the part of the forest fund part is contaminated with radionuclides as well as swampiness, it is recommended to use aviation forces and means more widely in protecting forests from fires.
Keywords: Kurgan region, forest fire, burning, additional forces and equipment for fire extinguishing

Suggested citation: Eritsov A.M., Sekerin D.M., Krektunov A.A., Zalesov S.V. *Osobennosti pozharoopasnogo sezona 2022 goda v Kurganskoy 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

References

[1] Vorobyov Yu.L., Akimov V.A., Sokolov Yu.I. Vorob'ev Yu.L., Akimov V.A., Sokolov Yu.I. *Lesnye pozhary na territorii Rossii* [Forest fires in Russia]. M.: DEKS-PRESS, 2004, 312 p.
[2] Zalesov S.V. *Lesnaya pirologiya* [Forest pyrology]. Ekaterinburg: Basko, 2006, 312 p.
[3] Marchenko V.P., Zalesov S.V. *Gorimost' lentochnykh borov Priirtysh'ya i puti ee minimizatsii na primere GLPR «ErtysOrmany»* [Flammability of tape forests of the Irtysh region and ways to minimize it on the example of the GLPR «ErtysOrmany»]. Vestnik Altayskogo gosudarstvennogo agrarnogo universiteta [Bulletin of the Altai State Agrarian University], 2013, no. 10 (108), pp. 55–59.
[4] Petrov I.A., Shushpanov A.S., Golyukov A.S., Dvinskaya M.L., Kharuk V.I. *Gorimost' sosnyakov Sredney Sibiri v usloviyakh menyayushchegosya klimata* [Burning of pine forests in Central Siberia in a changing climate]. Sibirskiy ekologicheskiy zhurnal [Siberian Ecological Journal], 2023, v. 30, no. 1, pp. 46–59.
[5] Shubin D.A., Zalesova E.S., Tolstikov A.Yu. *Pokazateli fakticheskoy gorimosti lentochnykh borov Altayskogo kraya* [Indicators of the actual burning rate of tape forests in the Altai Territory]. Uspekhi sovremennogo estestvoznaniya [Successes of modern natural sciences], 2019, no. 10, pp. 23–28.
[6] Safonova T.V., Yagotintseva N.V., Kolbina O.N., Mokryak A.V. *Vybor metodiki prognozirovaniya riskov vozniknoveniya lesnykh pozharov* [The choice of methods for predicting the risks of forest fires]. Bezopasnost' truda v promyshlennosti [Bezopasnost truda v promyshlennosti], 2022, no. 4, pp. 69–74.
[7] Kotel'nikov R.V., Lupyan E.A. *Osobennosti distantsionno otsenivaemykh raspredeleniy ploshchadey lesnykh pozharov dlya territoriy s razlichnym urovnem pozharnoy okhrany* [Features of remotely estimated distributions of forest fire areas for territories with different levels of fire protection]. Sovremennye problemy distantsionnogo zondirovaniya Zemli iz kosmosa [Modern problems of remote sensing of the Earth from space], 2022, v. 19, no. 4, pp. 75–87.
[8] Sekerin I.M., Eritsov A.M., Krektunov A.A., Zalesov S.V. *Opyt tusheniya torfyanykh pozharov na Srednem Urale* [Experience in extinguishing peat fires in the Middle Urals]. Mezhdunarodnyy nauchno-issledovatel'skiy zhurnal [International Scientific Research Journal], 2022, no. 5 (119), part 2, pp. 81–85. DOI: https: //doi.Org/10.23670/IRJ. 2022.119.5.014
[9] Pivovarova I.I., Belous P.S. *GIS-proektirovanie i analiz mnogoletney regional'noy izmenchivosti lesnykh pozharov* [GIS-design and analysis of long-term regional variability of forest fires]. Inzhenernyy vestnik Dona [Engineering Bulletin of the Don], 2022, no. 2 (86), pp. 167–176.
[10] Ermolina M.A., Lukashov M.S. *Lesnye pozhary na territorii Rossiyskoy Federatsii: problemy i metody resheniya* [Forest fires on the territory of the Russian Federation: problems and solutions]. Evraziyskiy yuridicheskiy zhurnal [Eurasian Law Journal], 2022, no. 5 (168), pp. 265–266.
[11] Chizhov B.E., Zalesov S.V., Terekhov G.G., Sannikova N.S., Egorov E.V. *Protivopozharnoe obustroystvo lesov yuzhnoy taygi, lesostepi Zapadnoy Sibiri i Urala* [Fire-fighting arrangement of forests in the southern taiga, forest-steppe of Western Siberia and the Urals]. Lesokhozyaystvennaya informatsiya [Forestry Information], 2022, no. 2, pp. 13–33. DOI: 10.24419/LHI. 2304.3083.2022.2.02
[12] Shubin D.A., Zalesova E.S., Tolstikov A.Yu. *Pokazateli fakticheskoy gorimosti lentochnykh borov Altayskogo kraya* [Indicators of the actual burning rate of tape forests in the Altai Territory]. Uspekhi sovremennogo estestvoznaniya [Successes of modern natural sciences], 2019, no. 10, pp. 23–28.

[13] Sukhodolov A.P., Sorokina P.G., Lebedeva A.V. *Matematicheskaya model' bor'by s lesnymi pozharami v Vostochnoy Sibiri (na primere Irkutskoy oblasti): vychislitel'nye eksperimenty v srede JULIA* [Mathematical model of fighting forest fires in Eastern Siberia (on the example of the Irkutsk region): computational experiments in the JULIA environment]. Izvestiya Baykal'skogo gosudarstvennogo universiteta [Bulletin of the Baikal State University], 2019, v. 29, no. 3, pp. 349–358.
[14] *Istoricheskaya spravka glavnogo upravleniya MChS Rossii po Kurganskoy oblasti, 2022* [Historical reference of the main department of the EMERCOM of Russia in the Kurgan region, 2022]. Available at: https://45.mchs.gov.ru/glavnoe-upravlenie/istoricheskaya-spravka (accessed 12.12.2022).
[15] Konovalov M.N. *Lesnye pozhary v Kurganskoy oblasti: prichiny i posledstviya* [Forest fires in the Kurgan region: causes and consequences]. Aktual'nye problemy lesnogo kompleksa [Actual problems of the forest complex], 2010, no. 25. Available at: https://cyberleninka.ru/article/n/lesnye-pozhary-v-kurganskoy-oblasti-prichiny-i-posledstviya (accessed 12.12.2022).
[16] *Svedeniya o lesopozharnoy obstanovke na territorii sub'ektov RF na 13.11.2022* [Information about the forest fire situation on the territory of the constituent entities of the Russian Federation as of 13.11.2022]. Available at: https://aviales.ru/files/documents/2022/fds_svedenia/information on the forest fire situation on the territory of the constituent entities of the Russian Federation as of 11/14/2022.pdf (accessed 14.11.2022).
[17] *Prikaz Ministerstva prirodnykh resursov i ekologii Rossiyskoy Federatsii ot 8 iyulya 2014 goda № 313 «Ob utverzhdenii Pravil tusheniya lesnykh pozharov»* [Order of the Ministry of Natural Resources and Ecology of the Russian Federation of July 8, 2014 no. 313 «On approval of the Rules for extinguishing forest fires»].
Available at: https://docs.cntd.ru/document/420208466 (accessed 22.11.2022).
[18] Nektegyaev G.G., Borisov A.I. *Otsenka ekonomicheskogo ushcherba ot lesnykh pozharov* [Assessment of economic damage from forest fires]. Moskovskiy ekonomicheskiy zhurnal [Moscow Economic Journal], 2019, no. 11, p. 67.
[19] *Prikaz Rosleskhoza ot 05.07.2011 № 287. «Ob utverzhdenii klassifikatsii prirodnoy pozharnoy opasnosti lesov i klassifikatsii pozharnoy opasnosti v lesakh v zavisimosti ot usloviy pogody»* [Order of Rosleskhoz dated July 5, 2011 no. 287. «On Approval of the Classification of Natural Fire Hazard in Forests and the Classification of Fire Hazard in Forests Depending on Weather Conditions»]. Available at: https://docs.cntd.ru/document/902289183 (accessed 20.11.2022).
[20] *Prikaz Ministerstva prirodnykh resursov i ekologii RF ot 15.11.2016 № 597 «Ob utverzhdenii poryadka organizatsii i vypolneniya aviatsionnykh rabot po okhrane lesov ot pozharov i Poryadka organizatsii i vypolneniya aviatsionnykh rabot po zashchite lesov»* [Order of the Ministry of Natural Resources and Ecology of the Russian Federation of November 15, 2016 no. 597 «On approval of the procedure for organizing and performing aerial work to protect forests from fires and the Procedure for organizing and performing aerial work to protect forests»]. Available at: https://docs.cntd.ru/document/420385097 (accessed 14.11.2022).
[21] Malyukov S.V., Bubnov S.S., Aksenov A.A. *Analiz putey obespecheniya energosberezheniya pri rabote lesopozharnykh agregatov* [Analysis of ways to ensure energy saving during the operation of forest fire units]. [Voronezh Scientific and Technical Bulletin], 2019, v. 3, no. 3 (29), pp. 118–123.
[22] *Prikaz Ministerstva prirodnykh resursov i ekologiya RF ot 08.06.2017 № 283 «Ob utverzhdenii osobennostey osushchestvleniya profilakticheskikh i reabilitatsionnykh meropriyatiy v zonakh radioaktivnogo zagryazneniya lesov»* [Order of the Ministry of Natural Resources and Ecology of the Russian Federation of June 8, 2017 no. 283 «On approval of the specifics of the implementation of preventive and rehabilitation measures in areas of radioactive contamination of forests»]. Available at: https://docs.cntd.ru/document/456074883 (accessed 20.11.2022).

Authors' information

Eritsov Andrey Markelovich — Cand. Sci. (Agriculture), Deputy Head, FBU «Avialesookhrana»
Sekerin Il'ya Mikhaylovich — Cand. Sci. (Agriculture), Associate Professor of the Department of Forestry, Ural State Forestry University
Krektunov Aleksey Aleksandrovich — Cand. Sci. (Agriculture), Associate Professor of the Department of Supervision and Law of the Ural Institute of GPS of the Ministry of Emergency Situations of Russia
Zalesov Sergey Veniaminovich✉ — Dr. Sci. (Agriculture), Head of the Department of Forestry, Ural State Forestry University, zalesovsv@m.usfeu.ru

Received 16.12.2022.
Approved after review 23.01.2023.
Accepted for publication 14.06.2023.

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

УДК 712:635.91
DOI: 10.18698/2542-1468-2023-4-81-90
Шифр ВАК 4.1.6

ГРУППЫ ДЕКОРАТИВНЫХ ТРАВЯНИСТЫХ РАСТЕНИЙ МНОГОЛЕТНЕЙ КУЛЬТУРЫ ПО СТЕПЕНИ ВЕГЕТАТИВНОЙ ПОДВИЖНОСТИ

О.П. Лаврова

ФГБОУ ВО «Нижегородский государственный архитектурно-строительный университет» (ННГАСУ), Россия, 603109, г. Нижний Новгород, ул. Ильинская, д. 65

olg.lavrv2010@yandex.ru

Предложено деление декоративных травянистых растений многолетней культуры на группы по степени вегетативной подвижности. На основе расстояния, на которое отдаляются почки возобновления в течение периода вегетации, предложено выделить следующие группы: вегетативно-неподвижные (почки отдаляются не более чем на 3 см; вегетативно-малоподвижные (на расстояние от 3 до 10 см); вегетативно-подвижные (от 10 до 30 см); вегетативно-агрессивные (более 30 см). Представлен обзор коллекции декоративных травянистых растений по степени их вегетативной подвижности. Приведены примеры растений для каждой выделенной группы. Даны рекомендации по уходу за такими растениями в цветочных композициях, указана экономическая эффективность их содержания.

Ключевые слова: жизненные формы растений; вегетативно-неподвиджные и вегетативно-подвижные растения; группы декоративных травянистых растений по степени вегетативной подвижности

Ссылка для цитирования: Лаврова О.П. Группы декоративных травянистых растений многолетней культуры по степени вегетативной подвижности // Лесной вестник / Forestry Bulletin, 2023. Т. 27. № 4. С. 81–90. DOI: 10.18698/2542-1468-2023-4-81-90

При разработке проекта цветочного оформления из растений многолетней культуры важно учитывать не только такие декоративные качества растений, как окраска цветков, листьев, сроки цветения и общий габитус растения, но и динамику габитуса в течение периода вегетации, а также степень вегетативной подвижности растений. От этих качеств во многом зависит сохранение декоративности многолетнего растения в цветочной композиции.

Травянистые многолетние растения относятся к разным жизненным формам. Жизненная форма — это внешний облик (габитус) растения, отражающий его приспособления к условиям местообитания [1]. С этим определением связано понятие вегетативной подвижности, показывающее способность растения к естественному вегетативному размножению и связанное со способностью разрастаться и захватывать новую территорию.

По способности к вегетативному размножению выделяют вегетативно-неподвижные и вегетативно-подвижные растения.

Вегетативно-неподвижные — это растения, у которых естественное размножение возможно только семенами. У них нет специализированных органов вегетативного размножения, при отделении которых формируются новые экземпляры.

© Автор(ы), 2023

Вегетативно-подвижными называют высшие растения, у которых дочерние экземпляры вегетативного происхождения развиваются на некотором расстоянии от материнского. Это приводит к омоложению дочерних экземпляров, обеспечивая данным растениям длительную продолжительность жизни их клонов. К подобным травянистым растениям относят длиннокорневищные, наземноползучие, столонообразующие, корнеотпрысковые. Между этими группами существуют многочисленные переходные формы, промежуточные группы, переходы одних форм в другие [2–4]. Особенностью вегетативно-подвижных растений в природных сообществах является способность «перемещаться» в более благоприятные экологические условия [4]. Эволюционный ряд изменения жизненных форм, построенный на основе структуры подземных органов и способности к вегетативному размножению, имеет следующее направление: стержнекорневые — кистекорневые — рыхлокустовые — длиннокорневищные — столонообразующие [5].

В последнее время все чаще стали появляться работы, в которых рассматриваются особенности вегетативной подвижности отдельных таксономических групп растений, разрабатывается типология дикорастущих травянистых растений по способности к вегетативной подвижности [2, 4, 6–11]. Некоторые авторы предлагают классификации (или шкалы) дикорастущих растений

по степени вегетативной подвижности, основанные на их биоморфологических особенностях. Так, Н.М. Матвеев [9] выделяет такие группы растений, как вегетативно-неподвижные, вегетативно-малоподвижные, вегетативно-среднеподвижные, вегетативно-сверхподвижные, однако не приводит критерии их выделения.

По декоративным травянистым многолетникам такая работа практически не проводилась. В учебнике «Декоративное растениеводство: Цветоводство» в соответствии с морфологической классификацией растений, разработанной И.Г. Серебряковым [12], и на основе предложений Г.К. Тавлиновой [3] многолетние цветочные культуры подразделяются на сидячие, неспособные к быстрому разрастанию, и ползучие (собственно ползучие и дернообразующие) [12]. Что касается особенностей агротехники, то в учебнике отмечается, что для сидячих растений характерно постепенное нарастание вверх, за счет чего их почки возобновления попадают в неблагоприятные условия, поэтому для таких растений необходима подсыпка плодородной земли. Собственно ползучие растения в цветниках ведут себя агрессивно, заглушая другие виды [12]. Приводятся также примеры декоративных многолетников, относящихся к разным группам.

Цель работы

Цель работы — предложить деление декоративных травянистых растений многолетней культуры на группы по степени их вегетативной подвижности и, соответственно, по способности разрастаться и изменять свое положение в цветочной композиции на основе расстояния, на которое ежегодно отдаляются почки возобновления.

Объекты и методы исследования

Объектом исследования служили собственная коллекция многолетних декоративных травянистых растений и растения, произрастающие в цветниках на объектах ландшафтной архитектуры в условиях Нижегородской обл.

На протяжении пяти лет за растениями велись наблюдения, фиксировалось расстояние, на которое ежегодно отдалялись почки возобновления, определялась способность растений изменять свое местоположение, смещаясь на новые участки, изучалось строение их подземных органов.

Результаты исследования

На основе наблюдений за развитием многолетних декоративных растений (включая полукустарники) и анализа литературных источников [2, 4–19] данные растения можно подразделить по способности к вегетативному разрастанию на следующие группы (таблица).

1. Вегетативно-неподвижные растения. Почки возобновления таких растений за период вегетации отдаляются от материнского экземпляра не более, чем на 3 см. В композициях они произрастают на одном месте, не изменяя своего положения, не разрастаясь. Большинство из них не требует частого деления и омоложения. Специализированные побеги вегетативного расселения отсутствуют.

2. Вегетативно-малоподвижные растения. Это виды, которые способны ежегодно отдалять почки возобновления на расстояние от 3 до 10 см. В природе они возобновляются преимущественно семенами. В цветниках разрастаются очень медленно, со временем образуют компактный плотный куст или плотную дернинку и могут долго сохранять местоположение, не захватывая новых площадей.

3. Вегетативно-подвижные растения. Дочерние экземпляры этих растений за период вегетации могут отдаляться от материнского экземпляра на расстояние от 10 до 30 см. Многие из них способны быстро разрастаться, «перемещаться» на новые участки, нарушая композицию цветника. Дочерние экземпляры могут быстро переходить к самостоятельному существованию, что приводит к усилению конкуренции, загущению посадок и потере декоративности.

4. Вегетативно-агрессивные растения. Эти виды способны ежегодно отдалять дочерние растения от материнского экземпляра на расстояние более 30 см. Некоторые из них быстро захватывают большую площадь, занимают ее не более чем на 2–3 года и перемещаются за счет органов вегетативного размножения в новые места, при этом скорость передвижения может быть значительной — более 2 м за период вегетации [2]. В цветниках такие растения быстро разрастаются, нарушая композицию и вытесняя другие менее устойчивые виды.

Далее был проведен обзор коллекции декоративных травянистых растений многолетней культуры с распределением их по предложенным группам. Названия растений даны по литературным источникам [20–22].

1. Вегетативно-неподвижные растения.

1.1. Стержнекорневые и короткокорневищно-стержнекорневые каудексообразующие виды [11]. У таких растений главный корень хорошо развит, каудекс может быть как неветвящийся, так и ветвящийся [8]. Со временем каудекс обнажается и появляется на поверхности почвы [3], что может привести к его вымерзанию. К этой подгруппе можно отнести следующие виды: рода аквилегия (*Aquilegia*); люпин многолистный (*Lupinus polyphyllus* Lindl.); мак голостебельный (*Papaver nudicaule* L.); армерия приморская

Группы декоративных травянистых растений по степени вегетативной подвижности

Groups of ornamental herbaceous plants according to degree of vegetative motility

Номер группы	Жизненная форма растений	Группа по степени вегетативной подвижности			
		1	2	3	4
1	Стержнекорневые и короткокорневищно-стержнекорневые каудексообразующие	+	–	–	–
2	Вегетативные малолетники	+	–	–	–
3	Стеблеклубневые	+	–	–	–
4	Луковичные и клубнелуковичные, не образующие подземных столонов	+	–	–	–
5	Короткорневищные кистекорневые с ортотропными наземными побегами	+	+	–	–
6	Растения с ортотропными или косоортотропными эпигеогенными короткими корневищами с розеточными и полурозеточными наземными побегами	+	+	–	–
7	Стержнепридаточнокорневые и короткорневищные растения с анизотропными укореняющимися наземными побегами	+	+	+	–
8	Плотнокустовые и рыхлокустовые растения с анизотропным гипогеогенным корневищем	+	+	+	–
9	Корневищные с плагиотропным эпигеогенным корневищем	–	+	+	
10	Корневищные с плагиотропным гипогеогенным корневищем	–	+	+	+
11	Столонообразующие с подземными столонами	–	+	+	+
12	Столонообразующие с наземными столонами (или усами)	–	+	+	+
13	Ползущие всем телом с плагиотропными наземными побегами	–	+	+	+
14	Корнеотпрысковые растения	–	–	+	+

Примечание. 1 — вегетативно-неподвижные; 2 — вегетативно-малоподвижные; 3 — вегетативно-подвижные; 4 — вегетативно-агрессивные. Цветом заливки отмечены группы растений, которые способны «перемещаться» в цветниках, «уходя» с места посадки и захватывая новые участки.

(*Armeria maritima* (Mill.) Willd.); гайлардия остистая (*Gaillardia aristata* Pursh.); гипсофила метельчатая (*Gypsophila paniculata* L.); зверобой продырявленный (*Hypericum perforatum* L.); иссоп лекарственный (*Hyssopus officinalis* L.); колокольчик льнолистный (*Campanula linifolia* Scop.); кореопсис ланцетовидный (*Coreopsis lanceolata* L.); короставник Македонский (*Knautia macedonica* Griseb.); котовник жилковатый (*Nepeta nervosa* Royleex Benth.); виды рода кровохлебка (*Sanguisorba*); лен жестковолосистый (*Linum hirsutum* L.); молочай многоцветный (*Euphorbia polychrome* Kerner.); живучник байкальский (*Aizopsis baicalensis* (Peschkova) S.B. Gontch. & A.V. Grebenjuk); пупавка красильная (*Anthemistinctoria* L.); родиола розовая (*Rhodiola rosea* (L.) Scop.); рудбекия блестящая (*Rudbeckia fulgida* Ait.); рута душистая (*Ruta graveolens* L.); тысячелистник таволговый (*Achillea filipendulina* Lam.); лаватера тюрингенская (*Lavatera thuringiaca* L.); шалфей дубравный (*Salvia nemorosa* L.); эхинацея пурпурная (*Echinacea purpurea* (L.) Moench); полынь эстрагон (*Artemisia dracunculus* L.); виды рода ясенец (*Dictamnus*).

1.2. Вегетативные малолетники. Особая группа растений, у которых нет многолетнего зимующего подземного побега.

Материнский экземпляр ежегодно погибает, оставляя самостоятельные дочерние особи, которые (новые особи) у одних видов зимуют в виде почек с короткими корнями, у других видов — в виде мелких укоренившихся побегов, у третьих видов — в виде молодых листовых розеток или однолетних стеблеклубней [3]. К этой подгруппе можно отнести следующие виды: аконит клобучковый (*Aconítum napellus* L); веронику горечавковую (*Veronica gentianoides* Vahl); гелениум осенний (*Helenium autumnale* L.); эдельвейс альпийский (*Leontopodium alpinum* (Cass.) Greuter).

1.3. Стеблеклубневые многолетники. Основание стебля разрастается в сильно укороченный утолщенный многолетний клубень. Такие клубни растут несколько лет, увеличиваясь в объеме [8]. К данной подгруппе относятся лиатрис колосистая (*Liatris spicata* Willd) и хохлатка плотная (*Corydalis solida* (L.) Clairv.).

1.4. Луковичные и клубнелуковичные растения. Не образуют подземные столоны. В подгруппу входят сорта лилий (*Lilium* L.) тюльпанов (*Tulipa*), нарциссов (*Narcissus*), гиацинт восточный (*Hyacinthus orientalis* L.), виды рода лук (*Allium*), не образующие столонов, а также виды рода подснежник (*Galantus*), хионодокса (*Chionodoxa*), пушкиния (*Puschkinia*), иридодиктиум (*Iridodictyum*), крокус (*Crocus*), пролеска (*Scilla*), мускари (*Muscari*), кандык (*Erythronium*), птицемлечник (*Ornithogalum*), безвременник (*Colchicum*) и др.

1.5. Короткорневищные кистекорневые криптофиты. Имеют короткое компактное подземное многоглавое корневище, нередко частично одревесневающее, с большим количеством кистевидных придаточных корней. Надземные побеги

преимущественно ортотропные. Почки возобновления развиваются у основания стеблей. Растения формируют не разрастающиеся компактные плотные кусты. У некоторых происходит сенильная партикуляция. Распавшиеся побеги слабые, малодекоративны, легко вымерзают и гибнут [3]. К этой подгруппе отнесены астра ново-английская (*Aster novae-angliae* L.); бузульник зубчатый (*Ligularia dentata* (A. Gray) Hara), б. узкоголовчатый (*L. stenocephala* (Maxim.) Matsum. & Koidz.); волжанка двудомная (*Aruncus dioicus* (Walter) Fernald), в. кокорышелистная (*A. aethusifolius* (H. Lév.) Nakai); гелиопсис подсолнечниковидный (*Heliopsis helianthoides* (L.) Sweet); горечавка западная (*Gentiana occidentalis*); дельфиниум гибридный (*Delphinium x hybridum* hort); дербенник иволистный (*Lythrum salicaria* L.); виды рода додекатеон (*Dodecatheon*); золотарник гибридный (*Solidago x hybrida*); калужница болотная (*Caltha palustris* L.); клопогон кистевидный (*Cimicifuga racemosa* (L.) Nutt.); колокольчик персиколистный (*Campanula persicifolia* L.), к. скученный (*C. glomerata* L.), к. широколистный (*C. Latifolia* L.); очиток видный (*Sedum spectabile* Boreau), о. телефиум (*S. Telephium* L); печеночница благородная (*Hepatica nobilis* Schreb.), п. трансильванская (*H. transsilvanica* Fuss); виды рода пион (*Paeonia*); посконник пурпурный (*Eupatorium purpureum* L.); синюха голубая (*Poleoniu caeruleum* L.); флокс пятнистый (*Phlox maculata* L.).

1.6. Растения с ортотропным или косоортотропным корневищем. Корневище постоянно нарастает вертикально или косовертикально, постепенно поднимаясь над поверхностью почвы. Побеги чаще сближенно-узловые или розеточные [8]. К ним относятся следующие виды: адонис весенний (*Adonisvernalis* L.); виды рода астильба (*Astilbe*); василистник водосборолистный (*Thalictrum aquilegiifolium* L.); ветреница хубэйская (*Anemone scabiosa* H. Lév. &Vaniot); виды рода гейхера (*Heuhera*); гейхерелла белая (*Heucherella alba*); герань пятнистая (*Geranium maculatum* L.), г. пепельная (*G. Cinereum* Cav.); виды рода гравилат (*Geum*); кочедыжник ниппонский (*Athyrium niponicum* (Mett.) Hance); купальница европейская (*Trollius europaeus* L.); к. азиатская (*T. Asiaticus* L.); лабазник обыкновенный (*Filipendula vulgaris* Moench); медуница сахарная (*Pulmonaria saccharata* Mill.); морозник гибридный (*Helleborus x hybridus* hort.); мукдения Росса (*Mukdenia rossii* (Oliv.) Koidz.); пиретрум гибридный (*Pyrethrum hybridum* hort); подорожник большой «Rubra» (*Plantago major* L.); подофил Эмода (*Podophyllum emodii* Wall. ex Royle); виды рода примула (*Primula*); прострел обыкновенный (*Pulsatílla vulgaris* Mill.); теллима крупноцветковая (*Tellima grandiflora* (Pursh) DouglasexLindl.); виды рода хоста (*Hosta*).

1.7. Стержне-придаточнокорневые и короткорневищные растения с анизотропными укореняющимися наземными побегами. Они наряду со стержневым корнем образуют систему придаточных корней и побеги, изменяющие направление роста от плагиотропного к ортотропному, и могут развиваться в рыхлые дерновины или в подушки [7]. Это такие виды, как колокольчик карпатский (*Campanula carpatica* Jacq.); тимьян лимоннопахнущий (*Thymus x citriodorus*) сортов «Silver Queen», «Falstini».

1.8. Плотнокустовые травы. К этой подгруппе можно отнести следующие виды: молинию голубую (*Molinia caerulea* (L.) Moench); овсец вечнозеленый (*Helictotrichon sempervirens* (Vill.) Pilg.); овсяницу сизую (*Festuca glauca* Lam.); осоку Буханана (*Carex buchananii* Berggr.), о. птиценожковую (*C. ornithopoda* Willd.); сеслерию голубую (*Sesleria glauca* (L.) Ard.); сисюринхиум узколистный (*Sisyrinchium angustifolium* auct.); тонконог изящный (*Koeleria gracilis* Pers.); пырейник канадский (*Elymus canadensis* L.); щучку дернистую (*Deschampsia cespitosa* (L.) P. Beauv.).

Все растения группы вегетативно-неподвижных по продолжительности жизни разделяются на следующие категории:

а) вегетативно-неподвижные долголетние — могут существовать в цветниках длительное время (до 10–15 лет), не требуя частой пересадки и омоложения; при необходимости хорошо переносят деление и пересадку; к ним относятся растения с вертикальными или косовертикальными корневищами, стеблеклубневые, корнеклубневые, луковичные и клубнелуковичные;

б) вегетативно-неподвижные малолетние, генеративно-возобновляемые — каудексообразующие стержнекорневые травы; при старении у них возможен распад куста (партикуляция); в цветочной композиции продолжительность их жизни составляет 5–7 лет, после чего они отмирают и их необходимо возобновлять семенным путем [3].

2. Вегетативно-малоподвижные или относительно-подвижные.

2.5. Короткорневищные кистекорневые растения с ортотропными наземными побегами. Разрастаются в течение периода вегетации на 5–8 см. К ним относятся следующие виды: лабазник красный (*Filipendula rubra* (Hill) B.L. Rob.); сорта лилейника гибридного (*Hemerocallis hybrida* hort), не образующие подземных столонов; мелколепестник красивый (*Erygeron speciosus* DC.); солидастер желтый (*Solidaster luteus* (Everett) M.L. Green ex Dress); мелисса лекарственная (*Melissa officinalis* L.).

2.6. Растения с ортотропным или косоортотропным эпигеогенным корневищем, которое в верхней части ветвится. К ним относятся следующие виды, которые разрастаются на 5–6 см: астра альпийская (*Aster alpinus* L.); лабазник вязолистный (*Filipendula ulmaria* (L.) Maxim.); манжетка альпийская (*Alchemilla alpina* L.); на 6–10 см разрастаются виды: аир болотный f. variegates (*Acorus calamus* L.); астильба простолистная (*Astilbe simplicifolia*); а. китайская (*A. chinensis* (Maxim.) Franch. & Sav.); астранция крупная (*Astrantia major* L.); герань великолепная (*Geranium x magnificum*); дицентра великолепная (*Dicentra spectabilis* (L.) Lem.); душица обыкновенная (*Origanum vulgare* L.); манжетка мягкая (*Alchemilla mollis* (Buser) Rothm.); нивяник обыкновенный (*Leucanthemum vulgare* Lam.); примула Юлии (*Primula juliae* Kusn.); хохлатка желтая (*Corydalis lutea* (L.) DC.).

2.7. Стержнепридаточнокорневые и короткорневищные растения с анизотропными укореняющимися наземными побегами. Куртины таких растений разрастаются только до определенных размеров, достигнув которых разрастание по диаметру практически прекращается: алиссум скальный (*Alyssum saxatile* L.); букашник многолетний (*Jasione perennis* J. Laevis); гвоздика альпийская (*Dianthus alpinus* L.), г. перистая (*D. Plumaris* L.), г. травянка (*D. deltoids* L.); лаванда узколистная (*Lavandula angustifolia* Mill.); обриетта культурная (*Aubrieta x cultorum* Bergmans); тысячелистник серебристый (*Achillea argentia*); франкения гладкая (*Frankenia laevis* L.); камнеломка метельчатая (*Saxifraga paniculata* Mill.), к. моховидная (*S. bryoides* L.), к. теневая (*S. umbrosa* L.); очиток едкий (*Sedum acre* L.), о. белый (*S.album* L.), о. камчатский (*S. kamtschaticum* Fisch), о. лидийский (*S. lydium* Boiss.); о. Миддендорфа (*S. middendorffianum* (Maximowicz) Borissova), о. ложный (*S. spurium* Bieb.), о. отогнутый (*S. reflexum* L.), о. побегоносный (*S. stoloniferum* Gmel S. C), о. цветоносный (*S. floriferum*), о. Эверса (*S. ewersii* Ledeb.); тимьян гибридный (*Thymus hybrid*), т. лимоннопахнущий (*Th. x citriodorus* (Pers.) Schreb.); флокс прелестный (*Phlox amoena* Sims), ф. Дугласа (*Ph. douglasii* Hook.), ф. растопыренный (*Ph. divaricata* L.), ф. шиловидный (*Ph. subulata* L.), ф. Ковилла (*Ph. covillei* E.E. Nelson); фуопсис длинностолбиковый (*Phuopsis stylosa* (Trin.) Hook.); чистец шерстистый (*Stachys lanata* Jacq.Jacq.); шлемник альпийский (*Scutellaria alpina* L.).

2.8. Рыхлокустовые короткокорневищные гемикриптофиты с гипогеогенным корневищем. У них развиваются ортотропные наземные побеги и корневища, которые растут в почве горизонтально, затем изгибаются вверх и образуют на некотором расстоянии от основания куста новые экземпляры [10]. К ним можно отнести следующие виды: астру льновидную (*Aster linosyris* (L.) Less.), а. кустарниковую (*A. dumosus* L.); веронику колосистую (*Veronica spicata* L.), в. широколистную (*V. teucrium* L.), в. седую (*V. incana* L.), вероникаструм виргинский (*Veronicastrum virginicum* (L.) Farw.), котовник сибирский (*Nepeta sibirica* L.), к. Фассена (*N. × faassenii* Bergmansex Stearn); ожику лесную (*Luzula sylvatica* (Huds.) Gaudin), о. снежнобелую (*L.nivea* DC.); традесканцию виргинскую (*Tradescantia virginiana* L.), хризантему корейскую (*Chrysanthemum coreanum* Nakai), лисохвост луговой «Aureovariegatus» (*Alopecurus pratensis* L.); осоку пальмолистную (*Carex muskingumensis* Schwein.), о. ржавопятнистую (*C. siderosticta* Hance), перловник поникший (*Melica nutans* L.), райграс высокий ф. луковичный «Variegatum» (*Arrhenatherum elatius* var. bulbosum (Willd.) Schübl. &G. Martens);

2.9. Короткокорневищные виды с плагиотропным поверхностным корневищем, ежегодно дающим годичные приросты у разных видов от 5 до 10 см. Это такие виды, как вольдштейния тройчатая (*Waldsteinia ternata* (Steph.) Fritsch); дороникум подорожниковый (*Doronicum plantagineum* L.); ирис аировидный (*Iris pseudocorus* L.), и. бородатый (*I. barbata* hybrida hort), и. карликовый (*I. pumila* L).

2.10. Короткокорневищные с плагиотропным гипогеогенным корневищем, которое развивается горизонтально в почве и ежегодно дает незначительные годичные приросты от 5 до 15 см у разных видов. Это василек горный (*Centaurea Montana* L.); герань кроваво-красная (*Geranium sanguineum* L.); горянка красная (*Epimedium rubrum* E. Morren); дицентра исключительная (*Dicentra eximia* (Ker-Gawl.) Torr.), ирис злаковидный (*Iris graminea* L.), и. сибирский (*I. sibirica* L.); кореопсис мутовчатый (*Coreopsis verticillata* L.); купена серповидная (*Polygonatum falcatum* A. Gray); синюха ползучая (*Polemonium reptans* L.); спаржа аптечная (*Asparagus officinalis* L.).

2.11. Короткостолонные виды, которые, образуя компактное корневище и короткие подземные столоны, формируют компактный куст и медленно разрастаются в ширину. К ним относятся следующие виды: калимерис Юмена (*Kalimeris yomena* Kitam.); колокольчик ложечницелистный (*Campanula cochlearifolia* Lam.); мелколепестник маргаритколистный (*Erigeron bellidiformis* Popov).

2.12. Короткоползучие растения со стелющимися короткими надземными столонами, которые, укореняясь, образуют розеточные побеги и со временем формируют небольшие дерновины [2]. Разрастаются за период вегетации на 5–10 см. К ним относятся такие виды: живучка пирами-

дальная (*Ajuga pyramidalis* L.); камнеломка городская (*Saxifraga urbium*); кошачья лапка двудомная (*Antennaria dioica* (L.) Gaertn.); молодило кровельное (*Sempervivum tectorum* L.), м. отпрысковое (*S. soboliferum* Sims.); черноголовка крупноцветковая (*Prunella grandiflora* (L,) Jacq.).

3. Вегетативно-подвижные растения.

3.7. Стержнепридаточнокорневые и короткорневищные виды с анизотропными стелющимися приподнимающимися укореняющимися наземными побегами. Разрастаясь, они формируют низкие кустики, подушки [10]. К ним можно отнести следующие виды: арабис альпийский (*Arabis alpina* L.); горец родственный (*Polygonum affine* G. Don); мшанку мшанковую (*Sagina saginoides* (L.) Karst.); тимьян Кавказский (*Thymus caucasicus* Willd. ex Ronniger); ясколку Биберштейна (*Cerastium biebersteinii* DC.); яснотку пятнистую (*Lamium maculatum* (L.) L.).

3.8. Рыхлокустовые виды с анизотропным гипогеогенным корневищем. К ним относятся виды: астра новобельгийская (*Aster novi-belgii* L.); тысячелистник войлочный (*Achillea tomentosa* L.).

3.9. Корневищные виды с толстым плагиотропным эпигеогенным поверхностным корневищем. Подгруппа включает в себя виды: астильбоидес пластинчатый (*Astilboides tabularis* (Hemsl.) Engl.); бруннеру крупнолистную (*Brunnera macrophylla* (Adam) Johnst), б. сибирскую (*B. sibirica* Stev.); дармеру щитовидную (*Darmera peltata* (Torr. exBenth.) Voss); роджерсию конскокаштанолистную (*Rodgersia aesculifolia* Batalin).

3.10. Длиннокорневищные растения с тонким плагиотропным гипогегенным корневищем, которое обычно залегает на глубине 3–7 см. Разрастаются за период вегетации на 10–30 см. Это виды: вербейник клетровидный (*Lysimachia clethroides* Duby), в. точечный (*L. Punctate* L.); ветреница дубравная (*Anemone nemorosa* L.); герань кембриджская (*Geranium x cantabrigiense* Yeo), г. крупнокорневищная (*G. Macrorrhizum* L.), г. темная (*G. phaeum* L.); лабазник камчатский (*Filipendula camtschatica* (Pall.) Maxim.); ландыш майский (*Convallaria majalis* L.); монарда двойчатая (*Monarda didyma* L.); пахисандра верхушечная (*Pachysandra terminalis* Siebold & Zucc); рудбекия рассеченная (*Rudbeckia laciniata* L.); тысячелистник Птармика (*Achillea plarmica* L.), т. обыкновенный (*A. millefolium* L.); физостегия Виргинская (*Physostegia virginiana* (L.) Benth.); бухарник мягкий «Albovariegata» (*Holcus mollis* L.); манник большой «Variegata» (*Gliceria maxima* (Hartm.) Holmb.); виды рода мята (*Mentha*); оноклея чувствительная (*Onoclea sensibilis* L.).

3.11. Столонообразующие геофиты (подземностолонные). Образуют подземный столон с длинными и тонкими междоузлиями, который служит для отдаления дочернего экземпляра от материнского. Он достаточно быстро отмирает, приводя дочернее растение к автономии с первых этапов развития [2, 3]. Это такие виды, как лилейник гибридный (столонообразующие сорта) (*Hemerocallis hybrida* hort); энотера четырехугольная (*Oenothera tetragona* Roth).

3.12. Столонообразующие с надземными столонами и усами (надземностолонные). Образуют специализированные недолговечные тонкие надземные столоны или «усы» с укореняющимися дочерними розетками, которые служат для захвата территории и вегетативного размножения. Стебли усов быстро разрушаются, что ведет к обособлению дочерних розеток. Побеги в основном полурозеточные или розеточные, растения часто формируют короткое эпигеогенное корневище [2]. Примеры растений: арабис Фердинанда Кобургского (*Arabis ferdinanda coburgi* Kellerer & Sünd.); живучка ползучая (*Ajuga reptans* L.); тиарелла сердцелистная (*Tiarella cordifolia* L.); флокс столононосный (*Phlox stolonifera* Sims).

3.13. Наземноползучие растения со стелющимися (плагиотропными) побегами, ползущие всем телом [2]. Это тимьян ползучий (*Thymus serpyllum* L.) и т. байкальский (*Th. baicalensis*).

3.14. Корнеотпрысковые растения. Это виды, у которых корневая система стержнекорневая и кистекорневая, однако на горизонтальных поверхностных корнях закладываются придаточные почки, дающие корневые отпрыски, которые могут обособиться от материнского экземпляра. Виды быстро разрастаются и захватывают пространство [3]. К этой группе относятся следующие виды: ветреница лесная (*Anemone sylvestris* L.); льнянка обыкновенная (*Linaria vulgaris* Mill.); мак восточный (*Papaver orientale* L.); полынь Людовика (*Artemisia ludeviciana* Nutt.), п. Пурша (*A. purschiana* Boss.), п. Шмидта (*A. schmidtianaa* Maxim.), флокс метельчатый (*Phlox paniculata* L).

4. Вегетативно-агрессивные растения.

4.10. Длиннокорневищные с плагиотропным подземным корневищем. Корневища имеют длинные и тонкие междоузлия, что обеспечивает ежегодный прирост до 1,5 м. К ним относятся следующие виды: анафалис жемчужный (*Anaphalis margaritacea* (L.) Benth. & Hook); вербейник реснитчатый (*Lysimachia ciliata* L.); горец змеиный (*Bistorta officinalis* Delarbre); г. сахалинский (*Reynoutria sachalinensis* (F. Schmidt) Nakai); двукисточник тростниковый (*Phalaris arundinacea* (L.) Rauschert); тростник обыкновенный «Variegatus» (*Phragmites australis* (Cav.) Trin. exSteud.); элимус песчаный (*Elymus arenarius* L.).

4.11. Длинностолонные виды с длинными подземными столонами. К таким видам можно отнести такие виды: страусник обыкновенный

(*Matteuccia struthiopteris* (L.) Tod); сныть обыкновенную «Variegata» (*Aegopodium podagraria* L.).

4.12. Столонообразующие с наземными столонами. Это зеленчук желтый «Variegata» (*Galeobdolon luteum* Huds.)

4.13. Наземноползучие растения с длинными стелющимися побегами. К этой группе можно отнести такие виды: барвинок малый (*Vinca minor* L.); будру плющевидную (*Glechoma hederacea* L.); вербейник монетчатый (*Lysimachia nummularia* L.); веронику нитевидную (*Veronica filiformis* Sm.).

4.14. Корнеотпрысковые растения. Подгруппа включает в себя такие виды: ветреницу канадскую (*Anemone canadensis* (L.) Á. Löve & D. Löve); молочай кипарисовый (*Euphorbia cyparissias* L.); полынь обыкновенную «Oriental Limelight» (*Artemisia vulgaris* L.).

Выводы

Степень вегетативной подвижности декоративных травянистых растений многолетней культуры следует учитывать при культивировании их в цветниках на объектах ландшафтной архитектуры, при разработке технологических карт по уходу за ними.

Наиболее устойчивыми в цветниках будут вегетативно-неподвижные долголетние растения, которые имеют жизненные формы 1.3, 1.5, 1.6, 1.8, а также вегетативно-малоподвижные, относящиеся к группам 2.5, 2.6, 2.7, 2.8. В цветниках они не разрастаются или разрастаются только до определенных пределов, не изменяют своего места в цветочной композиции. Большинство из них могут существовать в цветниках до 10–15 лет, не требуя частого деления. Хорошо переносят деление и пересадку. Содержание таких растений в цветниках экономически наиболее выгодно.

Растения из подгрупп 1.1 и 1.2 (вегетативно-неподвижные малолетние, генеративно-возобновляемые) в цветочной композиции не разрастаются, но живут до 5–7 лет, после чего либо отмирают и их необходимо возобновлять семенным путем (1.1), либо сильно переуплотняются и требуют частого деления и пересадки (1.2). На содержание таких растений в цветниках потребуется больше затрат. Растения вегетативно-малоподвижные из групп 2.9–2.12 способны медленно смещаться в цветниках, занимая новые участки, требуют деления и омоложения в среднем один раз за 5–7 лет.

Вегетативно-подвижные растения быстро разрастаются, нарушая композицию, образуют плотные загущенные куртины, что со временем приводит к снижению декоративности. Такие виды требуют частого деления, омоложения, пересадки, иногда каждые 3–4 года, что увеличивает расходы на содержание цветников.

За вегетативно-агрессивными растениями в цветнике необходим постоянный контроль, для них требуется предусматривать ограничение корней и корневищ в почве, регулярно проводить удаление новых дочерних экземпляров, обрезку стелющихся побегов, удаление или пересадку укоренившихся розеток. Содержание таких растений в цветниках часто требует бóльших экономических затрат, чем содержание других групп растений по степени вегетативной подвижности.

Список литературы

[1] Серебрякова Т.И. Еще раз о понятии «жизненная форма» у растений // Бюллетень Московского общества испытателей природы. Отдел биологический, 1980. Том 85. Вып. 6. С. 75–86.

[2] Коровкин О.А. Биоморфологические особенности вегетативно-подвижных растений // Известия Тимирязевской сельскохозяйственной академии, 2013. № 6. С. 57–67.

[3] Тавлинова Г.К. Цветоводство. Ленинград: Лениздат, 1970. 575 с. URL: http://flowerlib.ru/books/item/f00/s00/z0000007/st013.shtml (дата обращения 22.12.2022).

[4] Любарский Е.Л. Вегетативно-подвижные растения // Биоморфологические исследования в современной ботанике: материалы Междунар. конф. Владивосток, 18–21 сентября 2007 г. Владивосток: Изд-во БСИ ДВО РАН, 2007. С. 283–285.

[5] Маслова С.П. Экофизиология подземного метамерного комплекса длиннокорневищных растений: дис. ... д-ра биол. наук 03.01.05, 03.02.08. Санкт-Петербург, 2014. 233 с.

[6] Черемушкина В.А., Асташенков А.Ю., Комаревцева Е.К., Гусева А.А. Развитие и архитектура корневища Nepeta transiliensis (Lamiaceae) // Известия РАН. Сер. Биологическая, 2023. № 1. С. 32–42. DOI:10.31857/S1026347023010031

[7] Антропова Г.Л. Биоморфология розоцветных Северо-Востока СССР. Владивосток: Изд-во ДВО АН СССР, 1990. 128 с. URL: http://ukhtoma.ru/geobotany/antropova05.html. (дата обращения 20.12.2022).

[8] Жукова Л.А., Ведерникова О.П., Быченко Т.М., Османова Г.О. Лекарственные растения: разнообразие жизненных форм. Йошкар-Ола: СТРИНГ, 2015. 168 с.

[9] Матвеев Н.М. Основы степного лесоведения профессора А.Л. Бельгарда и их современная интерпретация // Самарская Лука Проблемы региональной и глобальной экологии, 2014. Т. 23. № 1. С. 5–92.

[10] Гончарова С.Б. Подсемейство Sedoideae (Crassulaceae) флоры Сибири и российского Дальнего Востока (систематика, биоморфология, филогения): дис. ... д-ра биол. наук. Владивосток, 2006. 301 с.

[11] Жукова Л.А. Онтогенетический атлас растений. URL: https://nashaucheba.ru/v16019/жукова_л.а.__отв._ред._онтогенетический_атлас_растений (дата обращения 22.12.2022).

[12] Соколова Т.А., Бочкова И.Ю. Декоративное растениеводство // Цветоводство. М.: Академия, 2017. 432 с.

[13] Мамаева Н.А., Кузнецова Я.В. Морфологические признаки представителей группы Безбородые ирисы с точки зрения возможностей их применения в ландшафтных композициях (в стиле Naturgarden) // Лесной вестник / Forestry Bulletin, 2022. Т. 26, № 4. С. 81–91. DOI: 10.18698/2542-1468-2022-4-81-91

[14] Бочкова И.Ю., Ю.А. Хохлачева Исследование почвопокровных растений в целях их использования на объектах ландшафтной архитектуры. // Лесной вестник / Forestry Bulletin, 2021. Т. 25. № 1. С. 53–63. DOI: 10.18698/2542-1468-2021-1-53-63.

[15] Хохлачева Ю.А. Возможности использования некоторых сортов Hosta l. (из коллекции лаборатории декоративных растений Главного Ботанического сада РАН) для цветочного оформления объектов ландшафтной архитектуры // Интродукция, сохранение и использование биологического разнообразия флоры: Материалы Междунар. науч. конф., посвященной 90-летию Центрального ботанического сада Национальной академии наук Беларуси. Минск, 22 июня–1 июля 2022 г. В 2-х ч. / под ред. В.В. Титок. Минск, 2022. С. 413–415.

[16] Зубик И.Н., Симахин М.В., Хайдуков А.С. Особенности морфологических признаков пионов, используемых в декоративном садоводстве // Наследие академика Н.В. Цицина. Современное состояние и перспективы развития: Сб. статей Всерос. науч. конф. с междунар. участием, посвященной 120-летию Н.В. Цицина, Москва, 08–11 июля 2019 г. М.: Изд-во ООО «РПЦ Офорт», 2019. С. 177–179.

[17] Васильева О.Ю. Формирование коллекции AstilbeBUCH.-HAM в условиях континентального климата // Самарский научный вестник, 2021. Т. 10. № 3. С. 34–40. DOI 10.17816/snv2021103104

[18] Калинович С.Е., Сизых С.В. Эколого-биологический анализ многолетних травянистых растений, используемых в озеленении г. Иркутска // Проблемы озеленения городов Сибири и рационального природопользования: Материалы II науч.-практ. конф. с междунар. участием. Иркутск, 6–7 октября 2022 г. Иркутск: Иркутский государственный университет, 2022. С. 43–50. URL: https://elibrary.ru/download/elibrary_49608766_41783120.pdf (дата обращения: 01.02.2023).

[19] Гречушкина-Сухорукова Л.А., Тазина С.В. Коллекция декоративных злаков и осок в Ставропольском ботаническом саду // Новости науки в АПК, 2019. № 1–2 (12). С. 53–58. DOI: 10.25930/etbw-rd25

[20] Плантариум. Растения и лишайники России и сопредельных стран: открытый онлайн атлас и определитель растений. URL:https://www.plantarium.ru/page/view/item/4464.html (дата обращения: 01.02.2023).

[21] Черепанов С.К. Сосудистые растения России и сопредельных государств (в пределах бывшего СССР). С.Пб.: Мир и семья–95, 1995. 990 с. URL: https://books.google.ru/books?id=jvum0LHrXVMC&printsec=frontcover&hl=ru#v=onepage&q&f=false (дата обращения 22.12.2022).

[22] Травянистые декоративные многолетники Главного ботанического сада им. Н.В. Цицина Российской академии наук: 60 лет интродукции / под ред. А.С. Демидова. М.: Наука, 2009. 395 с.

Сведения об авторе

Лаврова Ольга Петровна — канд. биол. наук, доцент, зав. кафедрой ландшафтной архитектуры и садово-паркового строительства ФГБОУ ВО «Нижегородский государственный архитектурно-строительный университет» (ННГАСУ), olg.lavrv2010@yandex.ru

Поступила в редакцию 10.03.2023.
Одобрено после рецензирования 05.04.2023.
Принята к публикации 25.05.2023.

GROUPS OF ORNAMENTAL PERENNIAL CULTURE HERBACEOUS PLANTS ACCORDING TO VEGETATIVE MOBILITY DEGREE

O.P. Lavrova

Nizhny Novgorod State University of Architecture and Civil Engineering (NNGASU), 65, Il'inskaya st., 603109, Nizhny Novgorod, Russia

olg.lavrv2010@yandex.ru

The division of ornamental herbaceous plants of perennial culture into groups according to the degree of vegetative mobility is proposed. Based on the distance by which the renewal buds move away during the growing season, it is proposed to distinguish the following groups: vegetatively-stationary (the kidneys move away no more than 3 cm; vegetatively-sedentary (at a distance of 3 to 10 cm); vegetatively-mobile (from 10 to 30 cm); vegetatively aggressive (more than 30 cm). A review of the collection of ornamental herbaceous plants according to the degree of their vegetative mobility is made and examples of plants for each group are given. Recommendations on the content of such plants in flower compositions, the economic efficiency of keeping plants from different groups according to the degree of vegetative mobility in flower beds are considered.
Keywords: plant life forms, vegetative-stationary and vegetative-mobile plants, groups of ornamental herbaceous plants according to the degree of vegetative mobility

Suggested citation: Lavrova O.P. *Gruppy dekorativnykh travyanistykh rasteniy mnogoletney kul'tury po stepeni vegetativnoy podvizhnosti* [Groups of ornamental perennial culture herbaceous plants according to vegetative mobility degree]. Lesnoy vestnik / Forestry Bulletin, 2023, vol. 27, no. 4, pp. 81–90.
DOI: 10.18698/2542-1468-2023-4-81-90

References

[1] Serebryakova T.I. *Eshche raz o ponyatii «zhiznennaya forma» u rasteniy* [Once again about the concept of «life form» in plants]. Byulleten' Moskovskogo obshchestva ispytateley prirody. Otdel biologicheskiy [Bulletin of the Moscow Society of Naturalists. Department of Biological], 1980, v. 85, iss. 6, pp. 75–86.

[2] Korovkin O.A. *Biomorfologicheskie osobennosti vegetativno-podvizhnykh rasteniy* [Biomorphological features of vegetatively mobile plants]. Izvestiya Timiryazevskoy sel'skokhozyaystvennoy akademii [Proceedings of the Timiryazev Agricultural Academy], 2013, no. 6, pp. 57–67.

[3] Tavlinova G.K. *Tsvetovodstvo* [Floriculture]. Leningrad: Lenizdat, 1970, 575 p. Available at: http://flowerlib.ru/books/item/f00/s00/z0000007/st013.shtml (accessed 22.12.2022).

[4] Lyubarskiy E.L. *Vegetativno-podvizhnye rasteniya* [Vegetatively mobile plants]. Biomorfologicheskie issledovaniya v sovremennoy botanike: materialy Mezhdunarodnoy konferentsii [Biomorphological research in modern botany: materials of the International Conference]. Vladivostok: BSI FEB RAN, 2007, pp. 283–285.

[5] Maslova S.P. *Ekofiziologiya podzemnogo metamernogo kompleksa dlinnokornevishchnykh rasteniy* [Ecophysiology of the underground metameric complex of long-rhizome plants]. Dis. Dr. Sci. (Biol.) 03.01.05, 03.02.08. St. Petersburg, 2014, 233 p.

[6] Cheremushkina V.A., Astashenkov A.Yu., Komarevtseva E.K., Guseva A.A. *Razvitie i arkhitektura kornevishcha Nepeta transiliensis (Lamiaceae)* [Development and architecture of the rhizome of Nepeta transiliensis (Lamiaceae)]. Izvestiya RAN. Seriya Biologicheskaya [Izvestiya RAN. Series Biological], 2023, no. 1, pp. 32–42. DOI:10.31857/S1026347023010031

[7] Antropova G.L. *Biomorfologiya rozotsvetnykh Severo-Vostoka SSSR* [Biomorphology of the Rosaceae of the North-East of the USSR]. Vladivostok: DVO AN SSSR, 1990, 128 p. Available at: http://ukhtoma.ru/geobotany/antropova05.html. (accessed 20.12.2022).

[8] Zhukova L.A., Vedernikova O.P., Bychenko T.M., Osmanova G.O. *Lekarstvennye rasteniya: raznoobrazie zhiznennykh form* [Medicinal plants: a variety of life forms]. Yoshkar-Ola: STRING, 2015, 168 p.

[9] Matveev N.M. *Osnovy stepnogo lesovedeniya professora A.L. Bel'garda i ikh sovremennaya interpretatsiya* [Fundamentals of steppe forestry by Professor A.L. Belgard and their modern interpretation]. Samarskaya Luka Problemy regional'noy i global'noy ekologii [Samarskaya Luka Problems of regional and global ecology], 2014, v. 23, no. 1, pp. 5–92.

[10] Goncharova S.B. *Podsemeystvo Sedoideae (Crassulaceae) flory Sibiri i rossiyskogo Dal'nego Vostoka (sistematika, biomorfologiya, filogeniya)* [Subfamily Sedoideae (Crassulaceae) of the flora of Siberia and the Russian Far East (systematics, biomorphology, phylogeny)]. Dis. Sci. Dr. (Biol.). Vladivostok, 2006, 301 p.

[11] Zhukova L.A. *Ontogeneticheskiy atlas rasteniy* [Ontogenetic atlas of plants]. Available at: https://nashaucheba.ru/v16019/zhukova_l.a.__responsible_ed._ontogenetic_atlas_of_plants (accessed 22.12.2022).

[12] Sokolova T.A., Bochkova I.Yu. *Dekorativnoe rastenievodstvo* [Ornamental plant growing]. Tsvetovodstvo [Flower growing]. Moscow: Academy, 2017, 432 p.

[13] Mamaeva N.A., Kuznetsova Ya.V. *Morfologicheskie priznaki predstaviteley gruppy Bezborodye irisy s tochki zreniya vozmozhnostey ikh primeneniya v landshaftnykh kompozitsiyakh (v stile Natur garden)* [Morphological features of beardless iris group and their application in landscape compositions (in Natur Garden style)]. Lesnoy vestnik / Forestry Bulletin, 2022, vol. 26, no. 4, pp. 81–91. DOI: 10.18698/2542-1468-2022-4-81-91

[14] Bochkova I.Yu., Khokhlacheva Yu.A. *Issledovanie pochvopokrovnykh rasteniy s tsel'yu ikh ispol'zovaniya na obektakh landshaftnoy arkhitektury* [Ground cover plants research for objects of landscape architecture]. Lesnoy vestnik / Forestry Bulletin, 2021, vol. 25, no. 1, pp. 53–63. DOI: 10.18698/2542-1468-2021-1-53-63

[15] Khokhlacheva Yu.A. *Vozmozhnosti ispol'zovaniya nekotorykh sortov Hosta l. (iz kollektsii laboratorii dekorativnykh rasteniy Glavnogo Botanicheskogo sada RAN) dlya tsvetochnogo oformleniya ob'ektov landshaftnoy arkhitektury* [Possibilities of using some varieties of Hosta l. (from the collection of the laboratory of ornamental plants of the Main Botanical Garden

of the Russian Academy of Sciences) for flower decoration of landscape architecture objects]. Introduktsiya, sokhranenie i ispol'zovanie biologicheskogo raznoobraziya flory. Materialy mezhdunarodnoy nauchnoy konferentsii, posvyashchennoy 90-letiyu Tsentral'nogo botanicheskogo sada Natsional'noy akademii nauk Belarusi [Introduction, conservation and use of biological diversity of flora. Materials of the international scientific conference dedicated to the 90th anniversary of the Central Botanical Garden of the National Academy of Sciences of Belarus]. In 2 t. Ed. V.V. Titok. Minsk, 2022, pp. 413–415.

[16] Zubik I.N., Simakhin M.V., Khaydukov A.S. *Osobennosti morfologicheskikh priznakov pionov, ispol'zuemykh v dekorativnom sadovodstve* [Peculiarities of morphological signs of pions used in ornamental horticulture]. asledie akademika N.V. Tsitsina. Sovremennoe sostoyanie i perspektivy razvitiya: sbornik statey Vserossiyskoy nauchnoy konferentsii s mezhdunarodnym uchastiem, posvyashchennoy 120-letiyu N.V. Tsitsina [Heritage of Academician N.V. Tsitsina. Current state and development prospects: collection of articles of the All-Russian scientific conference with international participation, dedicated to the 120th anniversary of N.V. Tsitsina], Moscow, July 08–11, 2019. Moscow: ROC Etching LLC, 2019, pp. 177–179.

[17] Vasil'eva O.Yu. *Formirovanie kollektsii AstilbeBUCH.-HAM v usloviyakh kontinental'nogo klimata* [Formation of the AstilbeBUCH.-HAM collection under continental climate]. Samarskiy nauchnyy vestnik [Samara Scientific Bulletin], 2021, v. 10, no. 3, pp. 34–40. DOI 10.17816/snv2021103104

[18] Kalinovich S.E., Sizykh S.V. *Ekologo-biologicheskiy analiz mnogoletnikh travyanistykh rasteniy, ispol'zuemykh v ozelenenii g. Irkutska* [Ecological and biological analysis of perennial herbaceous plants used in landscaping the city of Irkutsk]. Problemy ozeleneniya gorodov Sibiri i ratsional'nogo prirodopol'zovaniya: materialy II nauchno-prakticheskoy konferentsii s mezhdunarodnym uchastiem [Problems of landscaping cities of Siberia and rational nature management: materials of the II scientific-practical conference with international participation]. Irkutsk: Irkutsk State University, 2022, pp. 43–50. Available at: https://elibrary.ru/download/elibrary_49608766_41783120.pdf (accessed 01.02.2023).

[19] Grechushkina-Sukhorukova L.A., Tazina S.V. *Kollektsiya dekorativnykh zlakov i osok v Stavropol'skom botanicheskom sadu* [Collection of ornamental grasses and sedges in the Stavropol Botanical Garden]. Novosti nauki v APK [News of Science in APK], 2019, no. 1–2 (12), pp. 53–58. DOI: 10.25930/etbw-rd25

[20] *Plantarium. Rasteniya i lishayniki Rossii i sopredel'nykh stran: otkrytyy onlayn atlas i opredelitel' rasteniy* [Plantarium. Plants and lichens of Russia and neighboring countries: an open online atlas and guide to plants]. Available at: https://www.plantarium.ru/page/view/item/4464.html (accessed 01.02.2023).

[21] Cherepanov S.K. *Sosudistye rasteniya Rossii i sopredel'nykh gosudarstv (v predelakh byvshego SSSR)* [Vascular plants of Russia and neighboring states (within the former USSR)]. St. Petersburg: Mir i semya-95, 1995, 990 p. Available at: https://books.google.ru/books?id=jvum0LHrXVMC&printsec=frontcover&hl=ru#v=onepage&q&f=false (accessed 22.12.2022).

[22] *Travyanistye dekorativnye mnogoletniki Glavnogo botanicheskogo sada im. N.V. Tsitsina Rossiyskoy akademii nauk: 60 let introduktsii* [Herbaceous ornamental perennials of the Main Botanical Garden. N.V. Tsitsin of the Russian Academy of Sciences: 60 years of introduction]. Ed. A.S. Demidov. Moscow: Nauka, 2009, 395 p.

Author's information

Lavrova Ol'ga Petrovna — Cand. Sci. (Biol.), Associate Professor, Head of the the Department of Landscape architecture and landscape construction NNGASU, olg.lavrv2010@yandex.ru

Received 10.03.2023.
Approved after review 05.04.2023.
Accepted for publication 25.05.2023.

Лесной вестник / Forestry Bulletin, 2023. Т. 27. № 4. С. 91–103. ISSN 2542-1468
Lesnoy vestnik / Forestry Bulletin, 2023, vol. 27, no. 4, pp. 91–103. ISSN 2542-1468

УДК 58.006:712.422
DOI: 10.18698/2542-1468-2023-4-91-103
Шифр ВАК 4.1.6

ИЗУЧЕНИЕ ФЕНОТИПИЧЕСКИХ ХАРАКТЕРИСТИК РЕТРОСОРТОВ *HEMEROCALLIS x HYBRIDA* HORT. ДЛЯ ИХ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ В ОБРАЗОВАТЕЛЬНЫХ И ПРОСВЕТИТЕЛЬСКИХ ЦЕЛЯХ

А.В. Кабанов, Н.А. Мамаева, Ю.А. Хохлачева✉

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

ldr_gbsran@mail.ru

Приведены результаты изучения изменчивости некоторых фенотипических характеристик гибридных ретросортов лилейника (*Hemerocallis x hybrida* hort.) под действием селекционного отбора. Сформирована выборка из состава коллекционного фонда лаборатории декоративных растений Главного ботанического сада, которая включает в себя сорта, созданные в разных странах в период с середины XIX в. до начала 1960-х годов XX в. Установлено, что в составе изученных морфометрических признаков генеративного побега наиболее вариабельным является число цветков на цветоносе. Определены его границы изменчивости: 7 шт. у сорта ‘Summer Pride’ и 23 шт. у сорта ‘Frans Hals’, а также коэффициент вариации — 30 %. Обнаружено несущественное изменение числа одновременно раскрытых цветков на цветоносе, но значительная амплитуда изменчивости высоты генеративного побега. Рассчитаны коэффициент вариации (21 %), минимальный и максимальный лимиты выборки — 74,3 см у сорта ‘Frans Hals’ и 150,2 см у сорта ‘Autumn Red’ соответственно. Отмечен и высокий уровень вариабельности для расстояния между уровнем листьев и нижним цветком в соцветии: min = 2,7 у сорта ‘Autumn Red’, max = 50,3 у сорта ‘Kwanso’, коэффициент вариации — 63 %. Выявлено отсутствие взаимосвязи высоты генеративного побега с размерами цветков (r = –0,11 для длины цветка, r = 0,03 — для его ширины и расстоянием между уровнем листьев и нижним цветком в соцветии (r = 0,17). Зафиксировано наличие разнонаправленного селекционного отбора, а по ширине цветка — тенденция к ее постепенному уменьшению. Предложены варианты размещения ретросортов *H. x hybrida* на основной территории Главного ботанического сада им. Н.В. Цицина РАН для реализации их потенциальных возможностей в образовательных и просветительских целях

Ключевые слова: коллекционный фонд, *Hemerocallis x hybrida*, селекционный отбор, ретросорта, сравнительный анализ, изменчивость фенотипических характеристик, модели демонстрации коллекции ретросортов

Ссылка для цитирования: Кабанов А.В., Мамаева Н.А., Хохлачева Ю.А. Изучение фенотипических характеристик ретросортов *Hemerocallis x hybrida* hort. для их использования в образовательных и просветительских целях // Лесной вестник / Forestry Bulletin, 2023. Т. 27. № 4. С. 91–103.
DOI: 10.18698/2542-1468-2023-4-91-103

Одной из важнейших проблем поддержания биоразнообразия культурной флоры является сохранение ретросортов, связанное с их активным замещением современным сортиментом, в частности для представителей рода Лилейник (*Hemerocallis* L.) — это актуальное и перспективное направление интродукционной работы, которое позволяет решать следующие задачи:

– демонстрацию сортов, представляющих тенденции основных этапов селекции, предшествующих современным;

– поддержание в культуре ретросортов с высоким адаптивным потенциалом;

– изучение и демонстрацию биоморфологических изменений культуры под действием длительного селекционного отбора;

– сохранение морфо- и сортотипов, уже не встречающихся среди современных селекционных достижений;

– сохранение ретросортов, обладающих уникальным комплексом признаков, ценных для использования в отдельных селекционных программах (например, при выведении сортов, перспективных для включения в композиции природного облика).

Цель работы

Цель работы — изложение результатов изучения изменчивости биоморфологических признаков у ретросортов *H. x hybrida* на основе модельной выборки из состава коллекционного фонда лаборатории декоративных растений Главного ботанического сада им. Н.В. Цицина РАН (ГБС РАН).

Материалы и методы

Объект исследования — выборка ретросортов *H. x hybrida* из состава коллекционного фонда лаборатории декоративных растений ГБС РАН, включающая 11 наименований (рис. 1).

© Автор(ы), 2023

Сорт ‘Autumn Red’

Сорт ‘Bold Courtier’

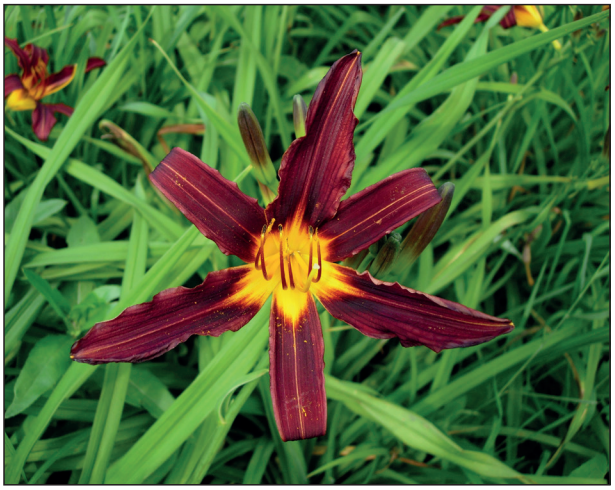
Сорт ‘Frans Hals’

Сорт ‘Gold Dust’

Сорт ‘Hyperion’

Сорт ‘Insulinda’

Сорт ‘Kwanso’



Сорт ‘Nigrette’

Сорт ‘Saladin’

Сорт ‘Summer Pride’

Рис. 1. Исследуемые ретросорта *Hemerocallis x hybrida* hort.
Fig. 1. The studied retro cultivars of *Hemerocallis x hybrida* hort.

Таблица 1

Распределение ретросортов *Hemerocallis x hybrida* по годам выведения

Distribution of retro-cultivars of *Hemerocallis x hybrida* by breeding years

Сорт	Год создания
‘Kwanso’	Середина XIX в.
‘Gold Dust’	1906
‘Hyperion’	1924
‘Bold Courtier’	1939
‘Autumn Red’	1941
‘Saladin’	1947
‘Nigrette’	1950
‘Insulinda’	1951
‘Summer Pride’	1951
‘Frans Hals’	1955
‘Red Valor’	1961

Сорта созданы в разных странах в период с середины XIX в. до начала 1960-х годов XX в. Формирование выборки осуществлено с использованием генератора случайных чисел с учетом того, что каждое десятилетие должно быть представлено хотя бы одним культиваром (табл. 1).

В ходе исследования учтены и изучены следующие признаки:

количественные:

– высота куста в нецветущем состоянии;

– высота генеративного побега;

– диаметр и ширина цветка;

– количество цветков на цветоносе;

– число одновременно раскрытых цветков на цветоносе;

– расстояние между уровнем листьев и нижним цветком в соцветии;

– длина листовой пластинки;

качественный:

– обилие цветения.

Признаки выбраны по методике проведения испытаний лилейника на отличимость, однородность и стабильность [1].

При оценке декоративности сортов *H. x hybrida* в период цветения особое внимание уделяется расположению цветоносов относительно листьев [2]. Однако в рамках данного исследования был использован другой признак — расстояние между уровнем листьев и нижним цветком в соцветии как дополнительный критерий при оценке визуального восприятия интенсивности цветения.

Математическая обработка полученных биометрических данных выполнена на основе стандартных методик [3].

Разработка вариантов размещения исследуемых ретросортов *H. x hybrida* на территории коллекционно-экспозиционного участка_выполнена на основе общепринятых при проектировании ландшафтных композиций способов и приемов [4].

Результаты исследования

Интродукционное изучение представителей рода Лилейник (*Hemerocallis*) проводится на базе различных коллекционных фондов во многих ботанических садах и носит системный характер [5–15].

Коллекционный фонд представителей рода *Hemerocallis* в лаборатории декоративных растений ГБС РАН, по данным на октябрь 2022 г., насчитывает 10 природных видов и 281 сорт. Коллекция была создана на основе метода родовых комплексов [16]. Первые образцы (природные виды и сорта) были получены из Германии в 1949 и 1951 гг. [17]. В следующий раз сорта поступили в середине 1980-х годов из питомника Gilbert H.Willd & Son (США, штат Миссури) — в 1982 и 1985 гг. [18]. В дальнейшем, после большого перерыва, коллекция пополнялась нерегулярно: либо приобретался посадочный материал, либо осуществлялся обмен с ботаническими садами и частными коллекционерами [19].

В современном коллекционном фонде репрезентативно представлены сорта, созданные на первых этапах селекции данной культуры. К первому этапу селекции относятся сорта, полученные до 1950–1960 гг. Ретросорта в целом уступают по некоторым декоративным характеристикам более современным культиварам [20–22], поэтому в мировой культурной флоре их замещают представителями современного сортимента [23]. В то же время утрата ретросортов может привести к уменьшению генотипического разнообразия культуры, в ряде случаев — к снижению адаптивного потенциала. Ретросорта характеризуются некоторыми признаками, которые в современных селекционных программах практически не используются: раннее цветение (май — начало июня, в условиях средней полосы России), колокольчатая форма цветка.

Коллекционный фонд лаборатории декоративных растений ГБС РАН содержит уникальное собрание ретросортов *H. x hybrida*, и позволяет проводить их комплексное изучение, а также определять параметры изменчивости некоторых декоративных признаков [24].

В комплексе морфометрических характеристик изученных ретросортов *H. x hybrida* одной из наиболее изменчивых является высота генеративного побега (рис. 2). Коэффициент вариации этого признака составляет 21 %, а минимальный и максимальный лимиты — 74,3 см у сорта ‘Frans Hals’ и 150,2 см у сорта ‘Autumn Red’ соответственно.

В ходе работы также установлены группы сортов, не имеющих между собой достоверных статистических различий. Первая группа: ‘Saladin’, ‘Bold Courtier’, ‘Gold Dust’ и ‘Kwanso’ — сорта с крупным габитусом, у которых высота генеративного побега изменятся в передах 106,7…119,5 см. Вторая группа: ‘Hyperion’ (96,2 см) и ‘Red Valor’ (100,5 см) — относительно высокорослые культивары. Третья группа: ‘Nigrette’, ‘Summer Pride’, ‘Insulinda’ и ‘Frans Hals’ — в нее вошли наиболее низкорослые сорта (74,3…87,5 см). Сорт ‘Autumn Red’ достоверно отличается от других культиваров в составе выборочной совокупности, ему по рассматриваемому признаку принадлежит максимальный лимит изменчивости — 150,2 см.

Наиболее вариабельным признаком из проанализированных в представленной работе является число цветков на цветоносе (рис. 3). Его абсолютные значения изменяются в диапазоне: от 7 шт. у сорта ‘Summer Pride’, до 23 шт. у ‘Frans Hals’. При этом коэффициент вариации составляет 30 %.

Проведенными исследованиями выявлены группы сортов с отсутствием достоверных статистических различий. Первая группа включает в себя восемь многоцветковых (19…23 шт.) культиваров: ‘Frans Hals’, ‘Bold Courtier’, ‘Nigrette’, ‘Autumn Red’, ‘Gold Dust’, ‘Saladin’, ‘Kwanso’ и ‘Red Valor’. Вторая группа представлена сортами с небольшим количеством (7…9 шт.) цветков на цветоносе: ‘Insulinda’ и ‘Summer Pride’. У сорта ‘Hyperion’, не показавшего статистических различий с другими сортами в составе изучаемой выборочной совокупности, развивается в среднем по 16 цветков на цветоносе.

Анализируя полученные экспериментальные данные также можно отметить, что большинство (55 % объема выборки) высокорослых сортов (100…150 см) характеризуются большим количеством цветков на цветоносе (19…22 шт.).

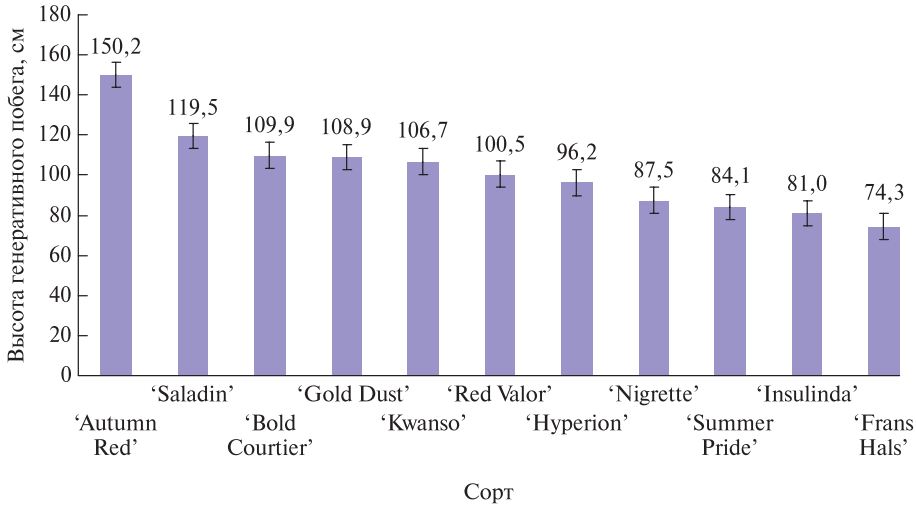


Рис. 2. Распределение сортов *Hemerocallis x hybrida* по высоте генеративного побега
Fig. 2. Distribution of cultivars *Hemerocallis x hybrida* by the height of the generative shoot

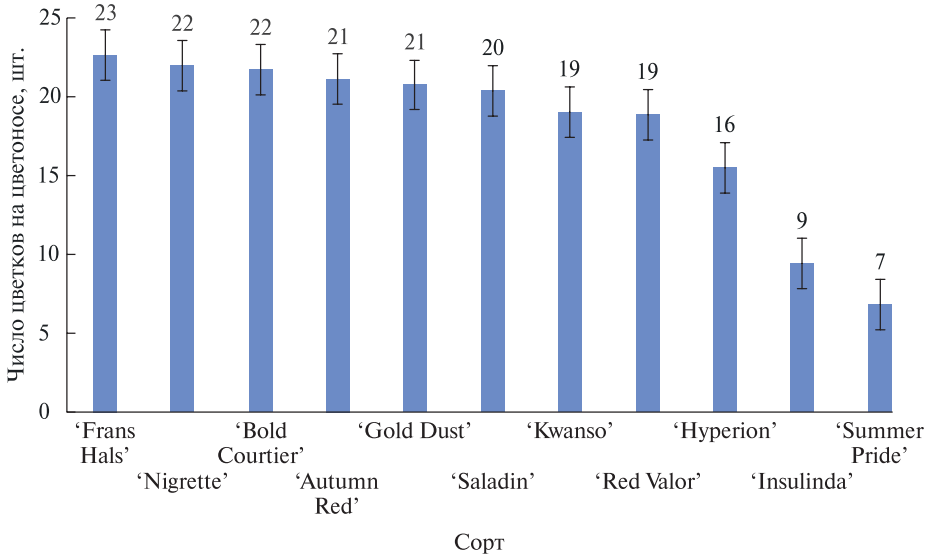


Рис. 3. Распределение сортов *Hemerocallis x hybrida* по числу цветков на цветоносе
Fig. 3. Distribution of cultivars *Hemerocallis x hybrida* by the number of flowers on the peduncle

Эта тенденция подтверждена расчетом коэффициента корреляции между указанными признаками, который составляет 0,40.

Значимыми для оценки декоративных качеств представителей рода *Hemerocallis* являются и другие признаки, связанные с генеративной фазой развития растений. В ходе представленного исследования установлено, что в рамках исследуемой выборки ретросортов *H. x hybrida* не прослеживается взаимозависимость между высотой генеративного побега и такими важными характеристиками декоративности растений, как диаметр, ширина цветка и расстояние между уровнем листьев и нижним цветком в соцветии, коэффициент корреляции составляет 0,11, 0,03 и 0,17 соответственно.

В рамках представленной работы актуальной является оценка изменчивости сортов изучаемой выборочной совокупности по линейным размерам цветка (рис. 4).

По диаметру цветка выявлено наличие двух групп культиваров с отсутствием статистических различий. К первой группе относятся сорта, у которых отмечен наибольший диаметр цветка: 'Red Valor', 'Bold Courtier', 'Hyperion', 'Insulinda' и 'Saladin'; ко второй — сорта со средним по величине диаметром цветка: 'Nigrette', 'Kwanso', 'Summer Pride', 'Autumn Red' и 'Frans Hals'. При этом наиболее крупноцветковые — первые три из указанных наименований: 'Red Valor' (14,5 см), 'Bold Courtier' (14,1 см), 'Hyperion' (14,1 см). Достоверно отличается от других сортов культивар

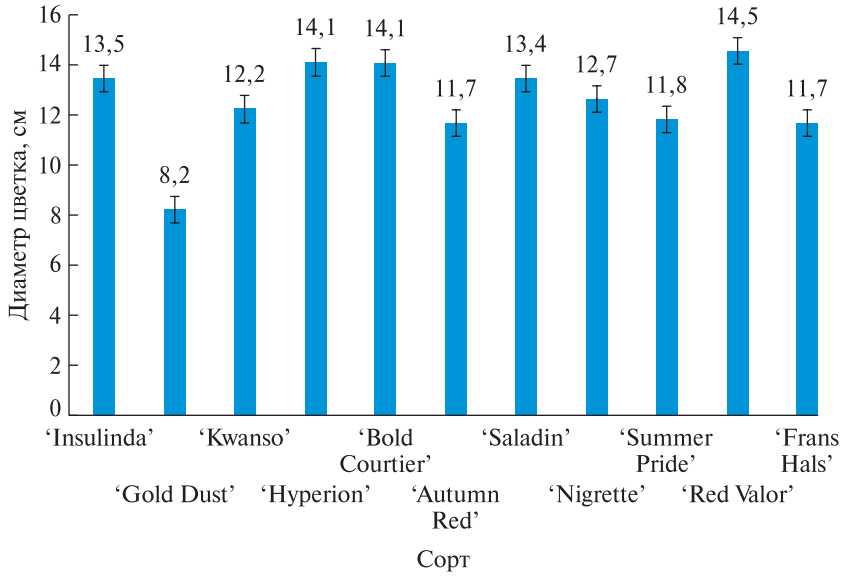


Рис. 4. Вариабельность сортов *Hemerocallis x hybrida* по диаметру цветка
Fig. 4. Variability of cultivars *Hemerocallis x hybrida* by flower diameter

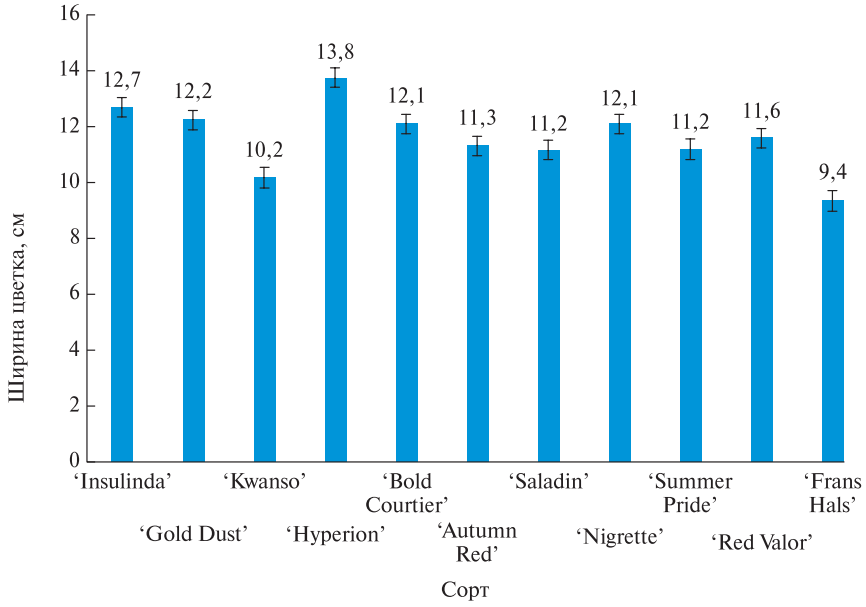


Рис. 5. Распределение сортов *Hemerocallis x hybrida* по ширине цветка
Fig. 5. Distribution of cultivars *Hemerocallis x hybrida* by flower width

'Gold Dust', характеризующийся наименьшим показателем рассматриваемого признака. Таким образом, по диаметру цветка можно отметить вероятное наличие разнонаправленного отбора в процессе селекции. Для сортов первого этапа селекции чаще всего характерно наличие крупных или средних по линейным размерам цветков. Тем не менее наблюдается тенденция уменьшения диаметра цветка (характерный пример — сорт 'Gold Dust', у него средний диаметр цветка 8,2 см). В то же время одним из направлений селекции первого этапа остается создание более крупноцветковых сортов (типичный представитель этого морфотипа — 'Red Valor' со средним диаметром цветка 14,7 см).

По ширине цветка — второму признаку, характеризующему его линейные размеры, также выявлено распределение сортов с отсутствием статистических различий по группам. К первой группе относятся сорта 'Insulinda', 'Gold Dust', 'Bold Courtier' и 'Nigrette'; второй — 'Red Valor', 'Autumn Red', 'Summer Pride' и 'Saladin'. Достоверно отличаются от других сортов культивары 'Hyperion' (с наибольшим абсолютным значением

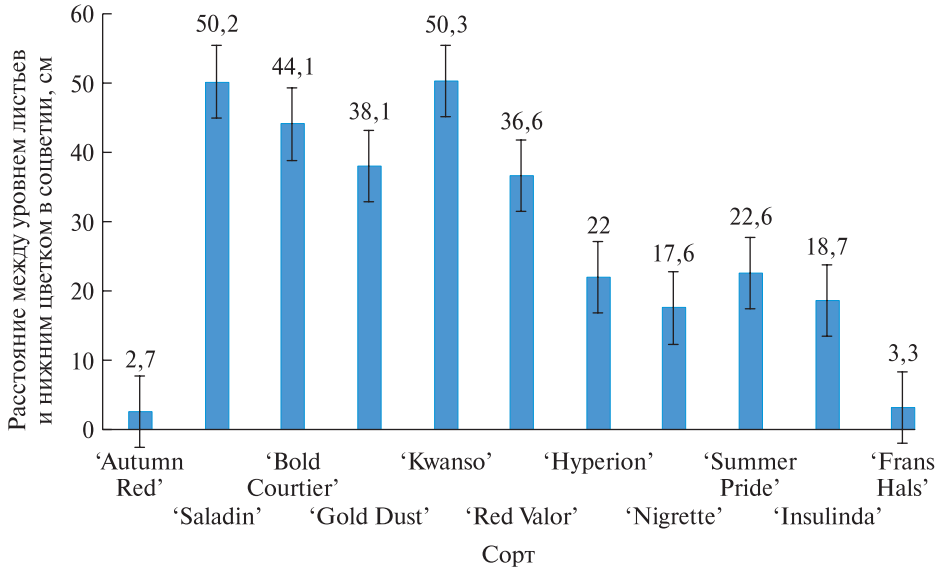


Рис. 6. Вариабельность сортов *Hemerocallis x hybrida* по расстоянию между уровнем листьев и нижним цветком в соцветии
Fig. 6. Variability of cultivars *Hemerocallis x hybrida* by the distance between the leaf level and the lower flower in the inflorescence

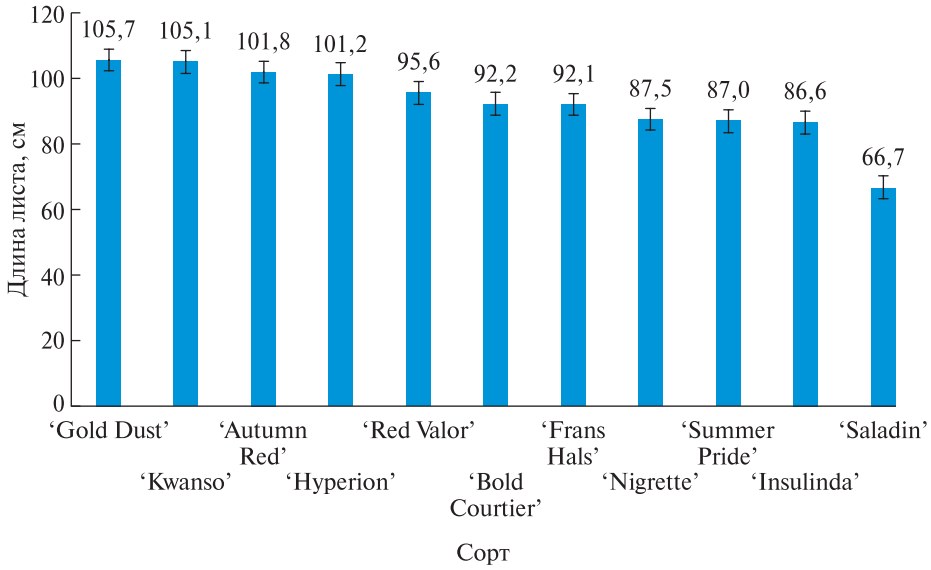


Рис. 7. Распределение сортов *Hemerocallis x hybrida* в выборки по длине листа
Fig. 7. Distribution of cultivars *Hemerocallis x hybrida* by leaf length

рассматриваемого признака), 'Frans Hals' (с минимальным лимитом изменчивости) и 'Kwanso', (с небольшими линейными размерами). Таким образом, изменяясь в процессе селекции, ширина цветка показала постепенное уменьшение — от 13,8 см у сорта 'Hyperion' до 9,4 см у сорта 'Frans Hals' (рис. 5).

Нами изучена вариабельность сортов по расстоянию между уровнем листьев и нижним цветком в соцветии (рис. 6).

Сорта, характеризующиеся отсутствием статистических различий, распределяются между тремя группами. Первая группа — культивары, отличающиеся наибольшими абсолютными значениями расстояния между уровнями листьев и нижних цветков в соцветии: 'Saladin', 'Kwanso', 'Bold Courtier', 'Gold Dust' и 'Red Valor'. Вторая — культивары 'Summer Pride', 'Hyperion', 'Insulinda' и 'Nigrette', у которых расстояние между уровнем листьев и нижним цветком в соцветии варьирует в диапазоне от 17,6 см до 22,6 см. Третья — сорта 'Autumn Red' и 'Frans Hals' с цветоносами, расположенными практически на уровне листьев.

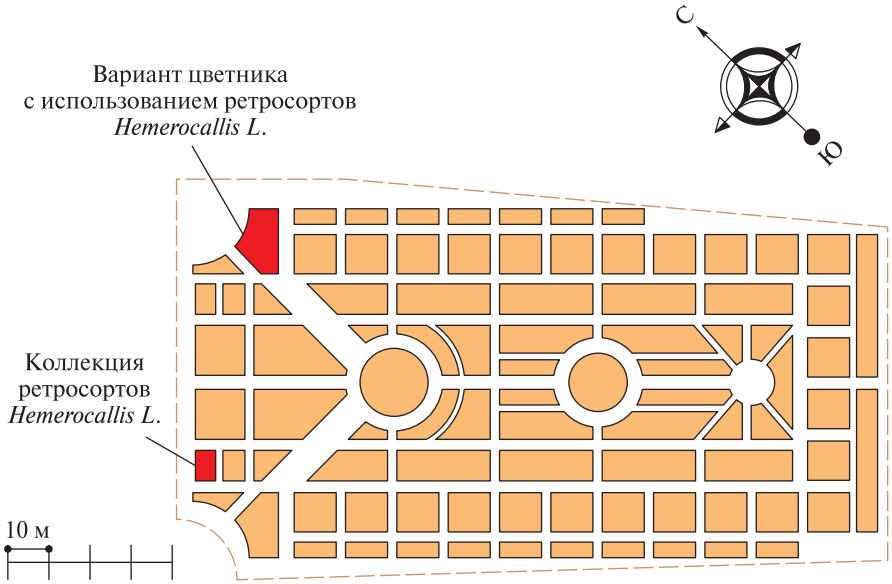


Рис. 8. Расположение части коллекции ретросортов рода Hemerocallis на плане-схеме экспозиционного участка лаборатории декоративных растений ГБС РАН
Fig. 8. The location of a part of the collection of retro cultivars of the genus Hemerocallis on the plan of the exposition section of the laboratory of ornamental plants of the MBG RAS

Таблица 2

Распределение сортов *Hemerocallis x hybrida* по числу одновременно раскрытых цветков и обилию цветения

Distribution of cultivars *Hemerocallis x hybrida* by the number of simultaneously opened flowers and abundance of flowering

Сорт	Число одновременно раскрытых цветков (на цветоносе)	Качественная характеристика цветения
‘Autumn Red’	1	Обильное
‘Saladin’	2	«–»
‘Bold Courtier’	1	«–»
‘Gold Dust’	2	«–»
‘Kwanso’	1	Не обильное
‘Red Valor’	1	Обильное
‘Hyperion’	2	«–»
‘Nigrette’	1	«–»
‘Summer Pride’	1	Не обильное
‘Insulinda’	1	«–»
‘Frans Hals’	1	Обильное

В составе рассматриваемой выборки установлено наличие трех групп культиваров, отличающихся отсутствием статистических различий по длине листа (рис. 7). Первая группа: сорта с наиболее длинными листьями — ‘Gold Dust’, ‘Kwanso’, ‘Autumn Red’ и ‘Hyperion’. Вторая группа: сорта ‘Red Valor’, ‘Bold Courtier’ и ‘Frans Hals’, у которых абсолютные показатели изучаемого признака варьируют от 92,1 см до 95,6 см. В третью группу вошли сорта с относительно небольшим размером листовой пластинки: ‘Nigrette’, ‘Summer Pride’ и ‘Insulinda’. При этом наиболее мелколистный культивар, которому принадлежит минимальный лимит изменчивости, — сорт ‘Saladin’, достоверно отличается от других сортов.

У ретросортов *H. x hybrida* также актуально изучение степени изменчивости признаков, учитываемых только в период массового цветения (табл. 2).

Согласно данным, представленным в табл. 2, такие признаки, как число одновременно раскрытых цветков на цветоносе, так и обилие цветения отличаются низким уровнем изменчивости и практически могут быть рассмотрены в бинарном варианте без какой-либо дополнительной математической обработки. Большинство сортов (для обоих анализируемых признаков по 73 % объема выборки) характеризуется минимальным числом цветков, одновременно цветущих на цветоносе, но отличаются обильным цветением. Последний признак связан с наличием у них большого количества генеративных побегов, поэтому правомерно утверждать, что он изменяется незначительно.

Таким образом, можно сделать вывод о двух формирующихся в рассмотренный хронологический период направлениях селекции культуры. Первым направлением является создание компактных обильно цветущих культиваров (сортотип ‘Frans Hals’), вторым — получение сортов с компактными по размеру цветками (сортотип ‘Gold Dust’).

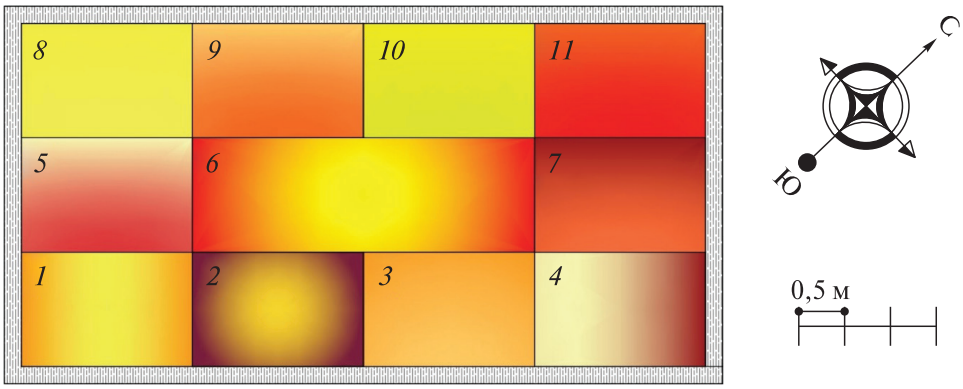


Рис. 9. Расположение ретросортов рода Hemerocallis на одной из рабаток экспозиционного участка лаборатории декоративных растений ГБС РАН: *1* — ‘Frans Hals’; *2* — ‘Nigrette’; *3* — ‘Insulinda’; *4* — ‘Summer Pride’; *5* — ‘Red Valor’; *6* — ‘Autumn Red’; *7* — ‘Saladin’; *8* — ‘Hyperion’; *9* — ‘Gold Dust’; *10* — ‘Bold Coutier’; *11* — ‘Kwanso’

Fig. 9. The location of the retro cultivars of the genus Hemerocallis on one of the shelves of the exposition section of the laboratory of ornamental plants of the MBG RAS: *1* — ‘Frans Hals’; *2* — ‘Nigrette’; *3* — ‘Insulinda’; *4* — ‘Summer Pride’; *5* — ‘Red Valor’; *6* — ‘Autumn Red’; *7* — ‘Saladin’; *8* — ‘Hyperion’; *9* — ‘Gold Dust’; *10* — ‘Bold Coutier’; *11* — ‘Kwanso’

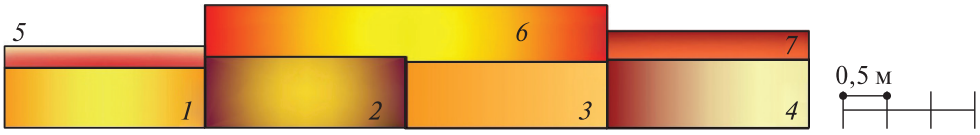


Рис. 10. Расположение ретросортов рода *Hemerocallis* на одной из рабаток экспозиционного участка лаборатории декоративных растений ГБС РАН с западной стороны (высотная диаграмма): *1* — ‘Frans Hals’; *2* — ‘Nigrette’; *3* — ‘Insulinda’; *4* — ‘Summer Pride’; *5* — ‘Red Valor’; *6* — ‘Autumn Red’; *7* — ‘Saladin’

Fig. 10. The location of the retro cultivars of the genus *Hemerocallis* on one of the work sites of the exposition section of the laboratory of ornamental plants MBG RAS on the western side (altitude diagram): *1* — ‘Frans Hals’; *2* — ‘Nigrette’; *3* — ‘Insulinda’; *4* — ‘Summer Pride’; *5* — ‘Red Valor’; *6* — ‘Autumn Red’; *7* — ‘Saladin’

Рис. 11. Расположение ретросортов рода *Hemerocallis* на одной из рабаток экспозиционного участка лаборатории декоративных растений ГБС РАН с восточной стороны (высотная диаграмма): *5* — ‘Red Valor’; *6* — ‘Autumn Red’; *7* — ‘Saladin’; *8* — ‘Hyperion’; *9* — ‘Gold Dust’; *10* — ‘Bold Coutier’; *11* — ‘Kwanso’

Fig. 11. The location of the retro cultivars of the genus *Hemerocallis* on one of the work sites of the exposition section of the laboratory of ornamental plants of the MBG RAS on the eastern side (altitude diagram): *5* — ‘Red Valor’; *6* — ‘Autumn Red’; *7* — ‘Saladin’; *8* — ‘Hyperion’; *9* — ‘Gold Dust’; *10* — ‘Bold Coutier’; *11* — ‘Kwanso’

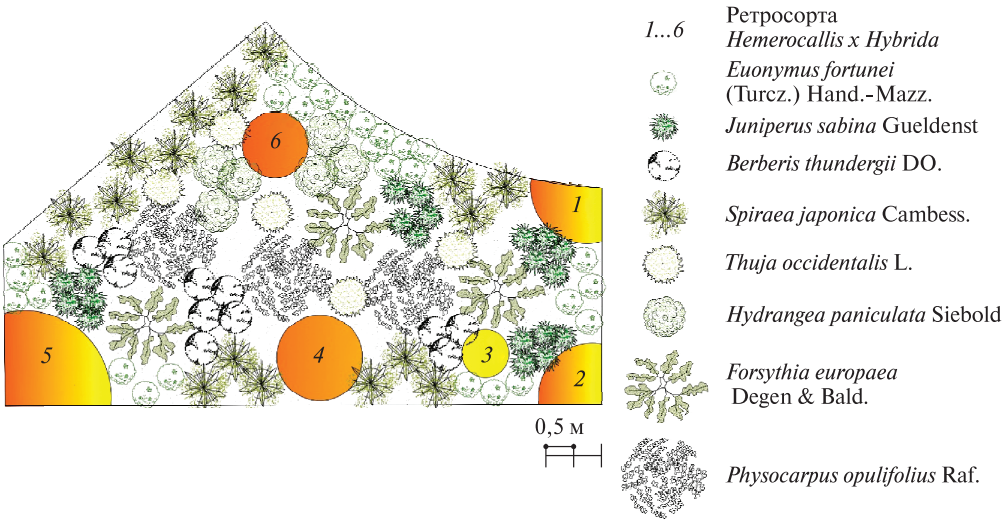


Рис. 12. Композиция с использованием ретросортов рода *Hemerocallis*, расположенная при входе на экспозиционный участок лаборатории декоративных растений ГБС РАН: *1* — ‘Frans Hals’; *2* — ‘Nigrette’; *3* — ‘Insulinda’; *4* — ‘Summer Pride’; *5* — ‘Red Valor’; *6* — ‘Autumn Red’

Fig. 12. The composition using the retro cultivars of the genus *Hemerocallis*, located at the entrance to the exposition site of the laboratory of ornamental plants of the MBG RAS: *1* — ‘Frans Hals’; *2* — ‘Nigrette’; *3* — ‘Insulinda’; *4* — ‘Summer Pride’; *5* — ‘Red Valor’; *6* — ‘Autumn Red’

На основании анализа комплекса биоморфологических характеристик ретросортов *H. x hybrida* можно предложить варианты размещения коллекции на территории экспозиционного участка «Травянистые декоративные многолетники» для возможного использования в образовательных и просветительских целях (рис. 8–12).

Выводы

1. Установлено, что наиболее вариабельными морфометрическими характеристиками ретросортов *H. x hybrida* в комплексе изученных являются число цветков на цветоносе и высота генеративного побега. Коэффициент вариации составляет 21 % и 30 % соответственно. Пределы изменчивости: по числу цветков на цветоносе: от 7 шт. у ‘Summer Pride’ до 23 у ‘Frans Hals’, по высоте генеративного побега — от 74,3 см у ‘Frans Hals’ до 150,2 см у ‘Autumn Red’. Показано, что большинство высокорослых сортов характеризуются большим количеством цветков на цветоносе: коэффициент корреляции составляет 0,40.

2. Отмечено вероятное наличие разнонаправленного отбора в процессе селекции по диаметру цветка. Для сортов первого этапа селекции характерно наличие крупных или средних цветков, в дальнейшем проявляется тенденция к уменьшению этого показателя: типичный представитель морфотипа — сорт ‘Gold Dust’ (со средним диаметром 8,2 см). В то же время одним из направлений селекции остается создание таких крупноцветковых сортов, как ‘Red Valor’ (со средним диаметром цветка 14,7 см).

3. Выявлено, что ширина цветка, изменяясь в разные хронологические периоды, характеризуется постепенным уменьшением от 13,8 см (у сорта ‘Hyperion’) до 9,4 см (у сорта ‘Frans Hals’).

4. Показано, что в состав изученной выборки в основном входят крупнолистные сорта с длиной листовой пластинки от 86,6 см (у ‘Insulinda’) до 105,7 см (у ‘Gold Dust’).

5. Установлено, что большинство сортов выборочной совокупности (по 73 % объема выборки) характеризуются минимальным (по одному) числом цветков, одновременно цветущих на цветоносе, отличаясь обильным цветением. Это объясняется наличием у них большого количества генеративных побегов.

6. На основании анализа комплекса биоморфологических характеристик ретросортов *H. x hybrida* предложены варианты их размещения на территории экспозиционного участка «Травянистые декоративные многолетники» для возможного использования в образовательных и просветительских целях.

Работа выполнена в рамках госзадания ГБС РАН «Биологическое разнообразие природной и культурной флоры: фундаментальные и прикладные вопросы изучения и сохранения», № 122011400178-7.

Список литературы

[1] Лилейники: методика испытаний на отличимость, однородность и стабильность ФГБУ «Госсорткомиссия».

URL: https://gossortrf.ru/metodiki-ispytaniy-na-oos-2/ (дата обращения 05.10.2022).
[2] Пельтихина Р.И., Крохмаль И.И. Интродукция видов и сортов рода *Hemerocallis* L. (Hemerocallidaceae R.Br.) в Донбасс и перспективы их использования в декоративном садоводстве. Донецк: Норд-Пресс, 2005. 256 с.
[3] Зайцев Г.Н. Математическая статистика в экспериментальной ботанике. М.: Наука, 1984. 424 с.
[4] Бочкова И.Ю. Создаем красивый цветник. Принципы подбора растений. Основы проектирования. М.: ЗАО «Фитон+», 2015. 240 с.
[5] Турчинская Т.Н. Лилейники гибридные. Тбилиси: Мецниереба, 1973. 89 с.
[6] Бжицких Н.В. Сравнительная оценка сортов и гибридов лилейника и эффективные способы их размножения в условиях умеренно засушливой и колочной степи Алтайского края: автореф. дис. … канд. с.-х. наук: 06.01.07. Барнаул, 2009. 18 с.
[7] Зайнетдинова Г.С., Миронова Л.Н. Биологические особенности представителей рода *Hemerocallis* L. при интродукции // Вестник Оренбургского государственного университета, 2009. № 6 (100). С. 133–136.
[8] Чипиляк Т.Ф. Род *Hemerocallis* L. — источник обогащения ассортимента цветочно-декоративных культур в условиях степного Приднепровья // Ботанические сады: состояние и перспективы сохранения, изучения, использования биологического разнообразия растительного мира: Тезисы докл. Междунар. науч. конф., Минск, 30–31 мая 2002 г. Минск: Изд-во БГПУ, 2002. С. 301–302.
[9] Бородич Г.С. Интродукция лилейников в Центральном ботаническом саду НАН Беларуси // Известия Национальной академии наук Беларуси. Сер. биологических наук, 2014. № 2. С. 17–21.
[10] Улановская И.В. О коллекции лилейника в Никитском ботаническом саду // Бюллетень ГНБС, 2009. № 99. С. 21–23.
[11] Решетникова Л.Ф., Химченко А.Д. О результатах сортооценки лилейника гибридного (*Hemerocallis hybrida* hort.) в условиях предгорной зоны Крыма // Экосистемы, 2016. № 8 (38). С. 88–93.
[12] Сатеков Е.Я., Турабжанова М.Б., Кубентаева Б.Б. Оценка декоративности и биологических свойств сортов лилейника гибридного в Алтайском ботаническом саду // Приволжский научный вестник, 2016. № 8 (60). С. 35–40.
[13] Седельникова Л.Л., Челтыгмашева Л.Р. Интродукция представителей рода *Hemerocallis* L. в условиях лесостепной зоны Западной Сибири // Сб. науч. тр. Государственного Никитского ботанического сада, 2017. Т. 145. С. 90–97.
[14] Климчук С.К. Некоторые результаты интродукции сортов *Hemerocallis hybrida* hort. в Астанинском ботаническом саду // Цветоводство: теоретические и практические аспекты. Тезисы II Междунар. науч. конф., Ялта, 09–13 ноября 2020 г. Ялта: Ариал, 2020. С. 42.
[15] Реут А.А., Пятина И.С. Интродукция *Hemerocallis middendorffii* Trautv. Et C.A. Mey в Южно-Уральском ботаническом саду-институте УФИЦ РАН // Современное садоводство, 2020. № 1. С. 23–29. DOI 10.24411/2312-6701-2020-10104
[16] Русанов Ф.Н. Новые методы интродукции растений // Бюл. ГБС АН СССР, 1950. Вып. 7. С. 27–36.
[17] Декоративные многолетники. Краткие итоги интродукции в Главном ботаническом саду Академии наук СССР. М.: Наука, 1960. 333 с.
[18] Русинова Т.С. Лилейники в Главном ботаническом саду АН СССР // Интродукционное изучение и основы селекции декоративных растений. М.: Наука, 1988. с. 72–79.
[19] Травянистые декоративные многолетники Главного ботанического сада им. Н.В. Цицина Российской академии наук: 60 лет интродукции. М.: Наука, 2009. 395 с.
[20] Walter E. *Hemerocallis*: Daylilies. Portland: Timber Press, 1992, 160 p.
[21] Petit T.L., Peat J.P. The Color Encyclopedia of Daylilies. Portland: Timber Press, 2000, 296 p.
[22] Petit T.L., Peat J.P. The New Encyclopedia of Daylilies. Portland: Timber Press, 2008, 408 p.
[23] The Royal Horticultural Society. URL: https://www.rhs.org.uk/ (дата обращения 10.11.2022).
[24] Bondorina I.A., Kabanov A.V., Mamaeva N.A., Khokhlacheva J.A. Collection Fund of the Laboratory of Ornamental Plants of the Tsitsin Main Botanical Garden: Historical Overview and Current State // Moscow University Biological Sciences Bulletin, 2020, v. 75 (2), pp. 83–88. DOI: 10.3103/S0096392520020017

Сведения об авторах

Кабанов Александр Владимирович — канд. биол. наук, ст. науч. сотр. ФГБУН «Главный ботанический сад имени Н.В. Цицина Российской академии наук» (ГБС РАН), зав. лабораторией декоративных растений, alex.kabanow@mail.ru

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

Хохлачева Юлия Анатольевна✉ — канд. с.-х. наук, ст. науч. сотр. ФГБУН «Главный ботанический сад имени Н.В. Цицина Российской академии наук» (ГБС РАН), ldr_gbsran@yandex.ru

Поступила в редакцию 16.12.2022.
Одобрено после рецензирования 29.12.2022.
Принята к публикации 25.05.2023.

PHENOTYPIC CHARACTERISTICS OF RETRO CULTIVARS OF *HEMEROCALLIS x HYBRIDA* HORT. STUDY FOR THEIR USE IN EDUCATIONAL AND EDUCATIONAL PURPOSES

A.V. Kabanov, N.A. Mamaeva, J.A. Khokhlacheva✉

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

ldr_gbsran@mail.ru

This article presents the results of studying the variability of some phenotypic characteristics of retro cultivars of *Hemerocallis x hybrida* hort. under the influence of selective selection. The sample is formed from the collection fund of the laboratory of ornamental plants of the Main Botanical Garden RAS and includes cultivars created in different countries in the period from the middle of the XIX century to the early 1960s of the XX century. In the course of research, it was found that the most variable — in the composition of the studied morphometric signs of generative shoot — is the number of flowers on the peduncle. Its limits of variability are: 7 pc. (cultivar 'Summer Pride') and 23 pc. (cultivar 'Frans Hals'), and the coefficient of variation is 30 %. At the same time, the number of simultaneously opened flowers on the peduncle changes insignificantly. The height of the generative shoot is also characterized by a significant amplitude of variability. The coefficient of variation is 21 %, the minimum and maximum sampling limits are 74,3 cm (cultivar 'Frans Hals') and 150,2 cm (cultivar 'Autumn Red'). A high level of variability was also noted for the distance between the leaf level and the lower flower in the inflorescence: min = 2,7 (cultivar 'Autumn Red'), max = 50,3 (cultivar 'Kwanso'), the coefficient of variation is 63 %. Within the framework of the studied sample of retro cultivars *H. x hybrida*, the absence of a relationship between the height of the generative shoot and the size of the flowers ($r = -0{,}11$ for the length of the flower, ($r = 0{,}03$ for its width), as well as the distance between the leaf level and the lower flower in the inflorescence ($r = 0{,}17$) was revealed. In the course of studying the variability of the linear dimensions of the pericarp in the diameter of the flower, the presence of multidirectional breeding selection was noted, a tendency to its gradual decrease was revealed in the width of the flower. To realize the potential possibilities of using the studied sample of retro cultivars *H. x hybrida* for educational and educational purposes, options for their placement on the main territory of the Main Botanical Garden are proposed.
Keywords: collection fund, *Hemerocallis x hybrida*, breeding selection, retro cultivars, comparative analysis, variability of phenotypic characteristics, models of demonstration of the collection of retro cultivars

Suggested citation: Kabanov A.V., Mamaeva N.A., Khokhlacheva Yu.A. *Iuchenie fenotipicheskih harakteristik retrosortov Hemerocallis x hybrida hort. dlya ih ispol'zovaniya v obrazovatel'nyh i prosvetitel'skih celyah* [Phenotypic characteristics of retro cultivars of *Hemerocallis x hybrida* hort. study for their use in educational and educational purposes]. Lesnoy vestnik / Forestry Bulletin, 2023, vol. 27, no. 4, pp. 91–103.
DOI: 10.18698/2542-1468-2023-4-91-103

References

[1] *Lileyniki: metodika ispytaniy na otlichimost', odnorodnost' i stabil'nost' FGBU «Gossortkomissiya»* [Daylilies: methodology of testing for distinctness, uniformity and stability FSBI «Gossortkomissiya»]. Available at: https://gossortrf.ru/metodiki-ispytaniy-na-oos-2/ (accessed 05.10.2022).

[2] Pel'tikhina R.I., Krokhmal' I.I. *Introduktsiya vidov i sortov roda Hemerocallis L. (Hemerocallidaceae R.Br.) v Donbass i perspektivy ikh ispol'zovaniya v dekorativnom sadovodstve* [Introduction of species and varieties of the genus *Hemerocallis* L. (Hemerocallidaceae R.Br.) to Donbass and prospects of their use in decorative gardening]. Donetsk: Nord-Press, 2005, 256 p.

[3] Zaytsev G.N. *Matematicheskaya statistika v eksperimental'noy botanike* [Mathematical statistics in experimental Botany]. Moscow: Nauka, 1984, 424 p.

[4] Bochkova I.Yu. *Sozdaem krasivyy tsvetnik. Printsipy podbora rasteniy. Osnovy proektirovaniya* [Creating a stylish flower garden. Principles of plant selection. Design basics]. Moscow: Phyton+ Publ., 2015, 240 p.

[5] Turchinskaya T.N. *Lileyniki gibridnye* [Hybrid daylilies]. Tbilisi: Metsniereba, 1973, 89 p.

[6] Bzhitskikh N.V. *Sravnitel'naya otsenka sortov i gibridov lileynika i effektivnye sposoby ikh razmnozheniya v usloviyakh umerenno zasushlivoy i kolochnoy stepi Altayskogo kraya* [Comparative evaluation of varieties and hybrids of daylily and effective ways of their reproduction in the conditions of moderately arid and kolochnaya steppe of the Altai Territory]. Author's summary Diss. Cand. Sci. (Agric.). Barnaul, 2009, 18 p.

[7] Zaynetdinova G.S., Mironova L.N. *Biologicheskie osobennosti predstaviteley roda Hemerocallis L. pri introduktsii* [Biological features of representatives of the genus *Hemerocallis* L. at introduction]. Vestnik Orenburgskogo gosudarstvennogo universiteta [Bulletin of the Orenburg State University], 2009, N 6, Iss. 100, pp. 133–136.

[8] Chipilyak T.F. *Rod Hemerocallis L. — istochnik obogashcheniya assortimenta tsvetochno-dekorativnykh kul'tur v usloviyakh stepnogo Pridneprov'ya* [The genus *Hemerocallis* L. is a source of enrichment of the assortment of flower and ornamental crops in the conditions of the steppe Dnieper]. Botanicheskie sady: sostoyanie i perspektivy sokhraneniya, izucheniya, ispol'zovaniya biologicheskogo raznoobraziya rastitel'nogo mira [Botanical gardens: state and prospects of conservation, study, use of biological diversity of the plant world], 2002, pp. 301–302.

[9] Borodich G.S. *Introduktsiya lileynikov v Tsentral'nom botanicheskom sadu NAN Belarusi* [Introduction of daylilies in the Central Botanical Garden of the National Academy of Sciences of Belarus]. Izvestiya NAN Belarusi, Seriya biologicheskih nauk [Izvestia of the National Academy of Sciences of Belarus, Series of Biological Sciences], 2014, no. 2, pp. 17–21.

[10] Ulanovskaya I.V. *O kollektsii lileynika v Nikitskom botanicheskom sadu* [About the collection of daylilies in the Nikitsky Botanical Garden]. Byulleten' Gosudarstvennogo Nikitskogo botanicheskogo sada [Bulletin of the State Nikitsky Botanical Garden], 2009, no. 99, pp. 21–23.
[11] Reshetnikova L.F., Khimchenko A.D. *O rezul'tatakh sortootsenki lileynika gibridnogo (Hemerocallis hybrida hort.) v usloviyakh predgornoy zony Kryma* [On the results of varietal evaluation of hybrid daylily (*Hemerocallis hybrida* hort.) in the conditions of the foothill zone of the Crimea]. Ekosistemy [Ecosystems], 2016, no. 8, iss. 38, pp. 88–93.
[12] Satekov E.Ya., Turabzhanova M.B., Kubentaeva B.B. *Otsenka dekorativnosti i biologicheskikh svoystv sortov lileynika gibridnogo v Altayskom botanicheskom sadu* [Assessment of decorative and biological properties of hybrid daylily varieties in the Altai Botanical Garden]. Privolzhskiy nauchnyy vestnik [Volga Scientific Bulletin], 2016, no. 8, iss. 60, pp. 35–40.
[13] Sedel'nikova L.L., Cheltygmasheva L.R. *Introduktsiya predstaviteley roda Hemerocallis L. V usloviyakh lesostepnoy zony Zapadnoy Sibiri* [Introduction of representatives of the genus *Hemerocallis* L. In the conditions of the forest-steppe zone of Western Siberia]. Sbornik nauchnyh trudov Gosudarstvennogo Nikitskogo botanicheskogo sada [Collection of scientific papers of the State Nikitsky Botanical Garden], 2017, v. 145, pp. 90–97.
[14] Klimchuk S.K. *Nekotorye rezul'taty introduktsii sortov Hemerocallis hybrida hort. v Astaninskom botanicheskom sadu* [Some results of the introduction of varieties of *Hemerocallis hybrida* hort. in the Astana Botanical Garden]. Tsvetovodstvo: teoreticheskie i prakticheskie aspekty. Tezisy II mezhdunar. nauch. konf. [Floriculture: theoretical and practical aspects: Tez. II Intern. Scien. Conf.], 2020, p. 42.
[15] Reut A.A., Pyatina I.S. *Introduktsiya Hemerocallis middendorffii Trautv. Et C.A. Mey v Yuzhno-Ural'skom botanicheskom sadu-institute UFITs RAN* [Introduction of *Hemerocallis middendorffii* Trautv. Et C.A. Mey at the South Ural Botanical Garden-Institute of the UIC RAS]. Sovremennoe sadovodstvo [Modern gardening], 2020, no. 1, pp. 23–29. DOI 10.24411/2312-6701-2020-10104
[16] Rusanov F.N. *Novye metody introduktsii rasteniy* [New methods of plant introduction]. Byulleten' GBS AN SSSR [Bulletin of the SBS of the USSR Academy of Sciences], 1950, iss. 7, pp. 27–36.
[17] *Dekorativnye mnogoletniki. Kratkie itogi introduktsii v Glavnom botanicheskom sadu Akademii nauk SSSR* [Decorative perennials. Summary of the introduction in the Main Botanical Garden of the USSR Academy of Sciences]. Moscow: Nauka, 1960, 333 p.
[18] Rusinova T.S. *Lileyniki v glavnom botanicheskom sadu AN SSSR* [Daylilies in the main Botanical Garden of the USSR Academy of Sciences]. Introduktsionnoe izuchenie i osnovy selektsii dekorativnykh rasteniy [Introduction study and the basics of breeding ornamental plants]. Moscow: Nauka, 1988, pp. 72–79.
[19] *Travyanistye dekorativnye mnogoletniki Glavnogo botanicheskogo sada im. N.V. Tsitsina Rossiyskoy akademii nauk. 60 let introduktsii* [Herbaceous ornamental perennials of the N.V. Tsitsin Main Botanical Garden of the Russian Academy of Sciences of the Russian Academy of Sciences. 60 years of introduction]. Moscow: Nauka, 2009, 395 p.
[20] Walter E. Hemerocallis: Daylilies. Portland: Timber Press, 1992, 160 p.
[21] Petit T.L., Peat J.P. The Color Encyclopedia of Daylilies. Portland: Timber Press, 2000, 296 p.
[22] Petit T.L., Peat J.P. The New Encyclopedia of Daylilies. Portland: Timber Press, 2008, 408 p.
[23] The Royal Horticultural Society. URL: https://www.rhs.org.uk/ (дата обращения 10.11.2022).
[24] Bondorina I.A., Kabanov A.V., Mamaeva N.A., Khokhlacheva J.A. Collection Fund of the Laboratory of Ornamental Plants of the Tsitsin Main Botanical Garden: Historical Overview and Current State. Moscow University Biological Sciences Bulletin, 2020, v. 75 (2), pp. 83–88. DOI: 10.3103/S0096392520020017

The work was carried out within the framework of the state order of the GBS RAS «Biological diversity of natural and cultural flora: fundamental and applied problems of study and conservation», No. 122011400178-7.

Authors' information

Kabanov Aleksander Vladimirovich — Cand. Sci. (Biology), Senior Researcher of the N.V. Tsitsin Main Botanical Garden of the Russian Academy of Sciences, Head of the laboratory of ornamental plants, alex.kabanow@mail.ru

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

Khokhlacheva Yuliya Anatol'yevna✉ — Cand. Sci. (Agriculture), Senior Researcher of the N.V. Tsitsin Main Botanical Garden of the Russian Academy of Sciences, ldr_gbsran@mail.ru

Received 16.12.2022.
Approved after review 29.12.2022.
Accepted for publication 25.05.2023.

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

УДК 712.3+630*24
DOI: 10.18698/2542-1468-2023-4-104-116
Шифр ВАК 4.1.6

УСАДЬБА ВИЦ-ГРИГОРЬЕВЫХ (КОСТРОМСКАЯ ОБЛАСТЬ): ИСТОРИЯ СОЗДАНИЯ И СОВРЕМЕННОЕ СОСТОЯНИЕ

А.В. Лебедев[1, 2]✉, Я.В. Кочнев[1]

[1]Российский государственный аграрный университет — МСХА имени К.А. Тимирязева, Россия, 127434, Москва, Тимирязевская ул., д. 49
[2]ФГБУ «Государственный природный заповедник «Кологривский лес» имени М.Г. Синицына», 157440, Россия, Костромская обл., Кологривский район, г. Кологрив, ул. Центральная, д. 15

alebedev@rgau-msha.ru

Провинциальные дворянские усадьбы относятся к важной составляющей отечественного архитектурного и садово-паркового наследия. На протяжении многих лет наблюдается утрата значимости дворянских усадеб как феномена русской национальной культуры. Поэтому повышается роль усадебно-парковых комплексов как культурных ландшафтов и как элементов сохранения культурной идентичности России. Особую актуальность имеет этот вопрос для Костромской области, где наблюдается крайне низкая сохранность сельских дворянских усадеб. Целью исследования являлось изучение истории создания усадьбы Виц-Григорьевых и современного состояния ее природно-антропогенных ландшафтов (Кологривский муниципальный округ Костромской области). Исследования проводились в несколько этапов с применением следующих методов: историко-архивная экспертиза, натурные обследования, графоаналитический метод. Выявлено, что к 1917 году усадебный комплекс включал в себя главный дом со служебными постройками, садово-парковую и хозяйственную части, сиротский приют со школой. До настоящего времени ни одна из усадебных построек не сохранилась. Основу комплекса составляет лиственнично-липовый парк, сформированный в два этапа: в первой половине и в последней четверти XIX века. Оценка санитарного состояния насаждений и структуры древесного полога показала, что происходит активный процесс распада парковых посадок. К настоящему времени произошло практически полное вытеснение декоративных растений на территории усадьбы видами из дикорастущей флоры. С 1917 года в ассортименте декоративных растений остались земляника мускусная (*Fragaria moschata*), спирея дубравколистная (*Spiraea chamaedryfolia*), карагана древовидная (*Caragana arborescens*) и сирень обыкновенная (*Syringa vulgaris*). Для сохранения историко-культурной ценности объекта рекомендуется проведение мероприятий по его реконструкции. Современное использование территории может включать создание и реализацию туристического маршрута.
Ключевые слова: дворянская усадьба, парк, реконструкция планировки, культурное наследие, Костромская область, Кологрив

Ссылка для цитирования: 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

Провинциальные дворянские усадьбы относятся к важной составляющей отечественного архитектурного и садово-паркового наследия. Они являются отражением русской культуры и хозяйственной деятельности, тесно связанных с природным ландшафтом. Такие усадьбы представляли собой центры распространения передовой информации и технологий, предопределяли развитие близлежащих территорий [1]. На рубеже XIX–XX вв. в европейской части Российской Империи насчитывалось около 60 тыс. дворянских усадеб [2], значительную часть которых составляли сельские усадьбы, отличавшиеся высокой аутентичностью по сравнению с городской архитектурой ввиду самобытности жизни и низких темпов модернизации на селе. К концу 1990-х — началу 2000-х гг., по оценкам специалистов [3], сохранилось не более 5 % дворянских усадеб, существовавших до 1917 г., причем процесс утраты продолжается.

Сельские дворянские усадьбы — это удивительный феномен, вызывающий большой интерес как у историков, так и у специалистов в области садово-паркового строительства, поскольку отражают явления, характерные в целом для российского культурного процесса. Провинциальные усадьбы в России — наиболее массовое и типичное явление, однако наименее изученное [4]. Проводимые в советские годы исследования охватывали преимущественно крупные комплексы, расположенные вблизи Москвы (Архангельское, Кусково, Покровское-Стрешнево) и Санкт-Петербурга (Марьино, Белогорка, Жерновка), а также отдельные усадьбы, связанные с именами выдающихся деятелей (Ясная Поляна, Абрамцево, Болдино, Щелыково). Интерес исследователей к провинциальным усадьбам появился и в 2000–2020-е годы [5–7]. В настоящее время отличительными

© Автор(ы), 2023

особенностями сельских усадеб по сравнению со столичными усадебными комплексами являются, во-первых, малая сохранность объектов в пределах их территорий, во-вторых, многократные бесконтрольные перестраивания, реконструкции значительной части сохранившихся объектов, что обусловило утрату исторического облика и первоначального назначения [8].

Дворянские усадьбы Костромской губернии Российской империи можно считать типичными для Центрального Нечерноземья. Они мало чем напоминают величественные столичные комплексы, однако имеют своеобразную уникальную планировочную и архитектурно-пространственную структуру. Костромская губерния на протяжении своей истории относилась к разряду мелкопоместных — подавляющему большинству дворян принадлежало менее 100 душ крепостных. Имущественное положение костромских помещиков было причиной того, что усадьба имела главным образом экономическое значение, обеспечивая владельцам и место, и средства для жизни [9]. Дореволюционная усадьба представляла собой микромир, в котором как в зеркале находили отражение внутренние и внешние события государственной деятельности, социально-экономические и культурные явления [10].

После национализации 1917 г. усадьбы утратили свое назначение в качестве жилых и хозяйственных комплексов. Началось переосмысление их назначения и принятие утилитарных решений — усадьбы стали восприниматься как архитектурные сооружения с парковыми участками и в этом качестве встраивались в жизнь молодого советского государства. На усадьбы возлагался широкий спектр задач — от обустройства санаториев до открытия детских домов и интернатов, во многих случаях происходило их дробление на независимо функционирующие фрагменты [2]. С началом упадка советского села в 1970-е годы и с дальнейшим распадом плановой экономики усадьбы стали приходить в полное запустение, многие из них были безвозвратно утрачены. Таким образом, дворянские усадьбы утратили значимость как феномен русской национальной культуры, однако повысилось их значение как культурных ландшафтов и элементов сохранения культурной идентичности России [1].

Сохранение провинциальной русской усадьбы, исторических парков как элементов политической, экономической и культурной жизни дореволюционной России относится к актуальным задачам в сфере охраны ее культурного наследия. Дворянская усадьба со своими архитектурными и планировочными особенностями, объектами садово-паркового строительства определяет национальный облик и аутентичность России как живое воплощение русских культурных традиций [11, 12].

Цель работы

Цель работы — изучение исторических материалов об усадьбе Виц-Григорьевых и современного состояния ее природно-антропогенных ландшафтов на примере Кологривского муниципального округа Костромской обл.

Историческая справка

Деревня Иваново (Ивановское) расположена в Кологривском муниципальном округе Костромской обл. в 15 км на юго-восток от г. Кологрива на правом берегу р. Унжи. Населенный пункт известен с начала XIX в., когда он принадлежал коллежскому секретарю Ивану Семенову. На «Столистовой карте» Российской империи и близлежащих заграничных владений (1801–1816) значится как починок (деревня) Иваново.

В первой четверти XIX в. Иваново по наследству перешло к Елизавете Ивановне Семеновой. В конце 1820-х — начале 1830-х годов Е.И. Семенова вышла замуж за надворного советника Алексея Павловича Вица. Он в 1791 г. начал медицинскую карьеру в качестве ученика лекаря городского лазарета в г. Костроме. В 1795 г. за ум, прилежность и старательность руководством лазарета направлен на обучение в Медико-хирургическое училище при Московском госпитале, преобразованное в 1798 г. в Московскую медико-хирургическую академию. Данное учебное заведение готовило главным образом квалифицированные медицинские кадры для армии и флота.

В первой четверти XIX в. А.П. Виц служил старшим врачом сельского воспитательного дома в г. Гатчине (1803–1806), помощником старшего врача (1806–1813), а затем старшим врачом Гатчинского городового госпиталя Дворцового ведомства (1813–1814). В 1826 г. внесен в третью часть дворянской родословной книги Костромской губернии. В 1834 г. А.П. Вицу на левом берегу р. Унжи принадлежала усадьба Алексеевская и деревня Юрино, которая (наиболее вероятно) была приобретена им в 1818–1826 гг. Все проживающие на момент проведения 8-й ревизии (1834) крестьяне были им куплены в 1807–1831 гг.

Елизавете Ивановне Виц в 1834 г. на правом берегу р. Унжи принадлежали усадьба Иваново и расположенные рядом деревни: Малышино, Елизаветино, Шадрино и Козлово. В 1830-е годы на территории усадьбы Иваново за главным усадебным домом был разбит регулярный парк с липовыми аллеями, окруженный открытыми партерами.

В 1860 г. после смерти Е.И. Виц усадьба перешла по наследству к ее дочери — Елизавете Алексеевне Григорьевой, а в 1870-е годы — к Николаю Николаевичу Григорьеву, сыну последней.

Н.Н. Григорьев в начале 1880-х годов поступил на службу в Кологривскую земскую управу, где впоследствии многократно был избран в почетные мировые судьи, в члены училищного, уездного врачебно-санитарного, экономического советов, Костромского попечительского совета промышленных училищ имени Ф.В. Чижова, а также в состав комитета Кологривской земской библиотеки, комитета по постройке в Кологриве мужской гимназии, Кологривской школьной комиссии, совета Правления кологривского церковно-приходского братства и др. Кроме того, Н.Н. Григорьев входил в состав губернской школьной комиссии от Кологривского уезда.

При Н.Н. Григорьеве усадьба была перестроена в соответствии с веяниями времени: в конце XIX в. появился новый двухэтажный жилой дом на каменном фундаменте с флигелем, была расширена территория парка, возведены конюшни и коровник, в северо-восточной части заложен яблоневый сад [13]. До 1897 г. в усадьбе работал маслобойный завод.

В 1899 г. впервые зашла речь об организации сельского сиротского приюта. Н.Н. Григорьев был утвержден председателем попечительского совета, а его жена Вера Сергеевна — действительным членом. Всего в 1904 г. в составе попечителей состояло 23 человека. Для нужд приюта рядом с усадьбой отвели отдельный участок земли (12 десятин, ≈17,5 га), построены деревянные крытые тесом здания (одноэтажный дом, баня с прачечной, одноэтажная школа, сарай, конюшня, погреб). В 1901 г. утвержден устав приюта, что считается датой его основания. Ивановский приют был рассчитан на 30–40 сирот крестьянского сословия младше 12 лет. При приюте действовало училище, в котором помимо грамотности воспитанники осваивали навыки земледелия, молочного хозяйства, огородничества, пчеловодства, а также некоторые ремесла — кузнечное, столярное, сапожное, ткаческое. Жизнь в приюте протекала как в большой крестьянской семье — с совместным ведением хозяйства, походами в Богородице-Рождественскую церковь (село Запоженье или Вяткина Гора) и заботой о дальнейшей судьбе воспитанников. Попечители уделяли большое внимание тому, чтобы питомцы вышли полезными сынами Государя и Отчизны, и трудолюбивыми крестьянами. В 1911 г. по ходатайству управления детскими приютами при главноуправляющем Собственной Его Императорского Величества канцелярией по Ведомству учреждений Императрицы Марии Н.Н. Григорьеву императором пожалован чин действительного статского советника.

В 1918 г. усадьба Иваново была национализирована, тем не менее до 1924 г. семья Григорьевых продолжала проживать в усадебном доме, а в дальнейшем — в расположенной поблизости деревне Елизаветино, так как они продолжали поддерживать школу и приют. Затем Григорьевы вместе с сыном переехали в Ленинград [13]. В литературе сообщается, что в 1927 г. в бывшей усадьбе был открыт дом отдыха [14]. Впоследствии на участке с главным домом и флигелем была открыта восьмилетняя школа, просуществовавшая до середины 1970-х годов. Окружающие парк участки с северо-востока, юго-востока и северо-запада использовались в качестве пахотных угодий совхоза «Чежемский».

В соответствии с решением исполкома Костромского облсовета от 10 июня 1974 г. № 231 «Об организации особой охраны памятников природы» решением исполкома Кологривского райсовета от 18 ноября 1977 г. № 251 «О передаче памятников природы под охрану предприятиям, совхозам и колхозам района» под охрану совхозу «Чежемский» был передан парк площадью 2,5 га под деревней Иваново. Постановлением № 128 от 10 июня 1991 г. Кологривского райсовета народных депутатов и постановлением № 503 от 25 ноября 1993 г. главы администрации Костромской области парк у деревни Иваново получил статус памятника природы местного значения. В дальнейшем постановлением № 123 от 16 апреля 2008 г. губернатора Костромской обл. парк у деревни Иваново утратил статус особо охраняемой природной территории. При этом постановлением губернатора Костромской области от 03 февраля 2005 г. № 38 «Об отнесении находящихся на территории Костромской области объектов, представляющих историко-культурную ценность, к объектам культурного наследия регионального значения» парк усадьбы Иваново получил статус объекта культурного наследия Костромской обл.

Материалы и методы исследования

Исследования территории (рис. 1) проводились в несколько этапов с применением следующих методов [11]: 1) историко-архивная экспертиза; 2) натурные обследования; 3) графоаналитический метод. На первом этапе проводился сбор исторической информации об усадьбе, поиск которой осуществлялся в следующих организациях: Российском государственном архиве древних актов, Российской государственной библиотеке, Государственном архиве Костромской области, Кологривском краеведческом музее имени Г.А. Ладыженского, отделе по делам архивов и отделе по управлению территориями администрации Кологривского муниципального округа Костромской области. Кроме того, проводились беседы с местными жителями, связанными с деревней Иваново.

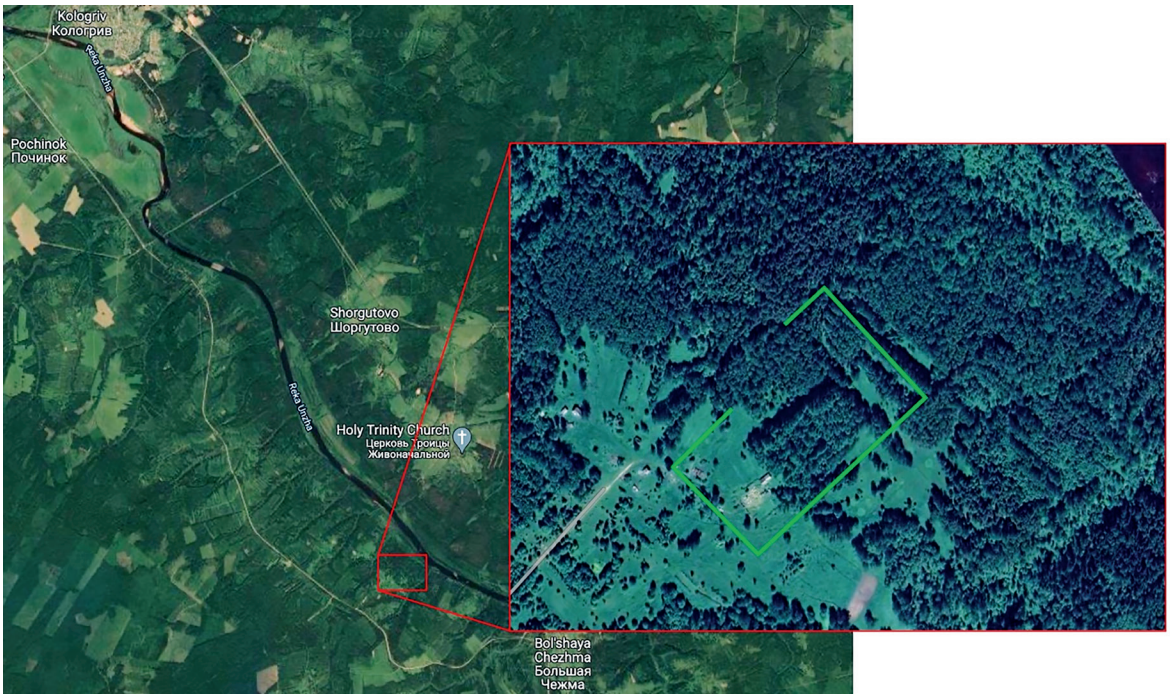


Рис. 1. Расположение исследуемой территории (зеленый контур)
Fig. 1. Location of the study area (green outline)

На втором этапе проводилось натурное обследование территории усадьбы с применением методов ландшафтного анализа. Осуществлялось ознакомление с существующими зданиями, сооружениями и руинированными объектами, изучался рельеф и пространственное положение усадьбы, определялся ассортимент травянистых растений, выполнялась инвентаризация древесных растений в парковых посадках как с применением методики Академии коммунального хозяйства имени К.Д. Памфилова, так и метода ландшафтной таксации с привлечением данных съемки территории квадрокоптером DJI Phantom 4. Санитарное состояние деревьев определялось с учетом признаков, обозначенных в Правилах санитарного состояния в лесах, по пятибалльной шкале: без признаков ослабления, ослабленные, сильно ослабленные, усыхающие, сухостой. Описание травянистого покрова проводилось по общепринятым геоботаническим методам [15] с фотофиксацией наблюдений и их загрузкой на платформу INaturalist [16] (проекты «Флора России», «Флора Костромской области», «Флора биосферного резервата “Кологривский лес”») с дальнейшей публикацией на интернет-сайте Международной организации о мировом биоразнообразии Global Biodiversity Information Facility (GBIF).

На третьем этапе оформлялись перечетные и ассортиментные ведомости, составлялся план расположения учтенных деревьев на территории усадьбы с анализом полученных на предыдущих этапах материалов, выполнялась реконструкция планировка территории.

Результаты и обсуждение

Историческая планировка усадьбы. По результатам изучения литературных источников и архивных документов, проведенных натурных обследований выполнена реконструкция элементов планировки усадьбы Иваново по состоянию на конец XIX в. (рис. 2). На плане отмечено расположение жилого дома и флигеля, здания сиротского приюта, яблоневого сада, основных структур парковых насаждений, ротонды, часовни, элементов дорожно-тропиночной сети, моста через овраг, пруда, деревянного забора вокруг усадьбы и участка коренного соснового леса на северной границе. Кроме того, из исторических документов известно, что на территории сиротского приюта располагались баня с прачечной, одноэтажная школа, сарай, конюшня и погреб, огороды, а в границах усадьбы — коровник, конюшни, дом для молочниц и маслобойный завод. В списке населенных мест Костромской губернии по сведениям за 1907 г. [17] значится, что в Иваново находились три двора, в которых проживало 14 человек. Все постройки в усадьбе были одноэтажные, деревянные, крытые тесом, кроме господского дома, который был двухэтажным. До наших дней не сохранилась ни одна из усадебных построек.

Архитектурно-пространственная композиция усадьбы компактна — все объекты удачно сконцентрированы по функциональному назначению

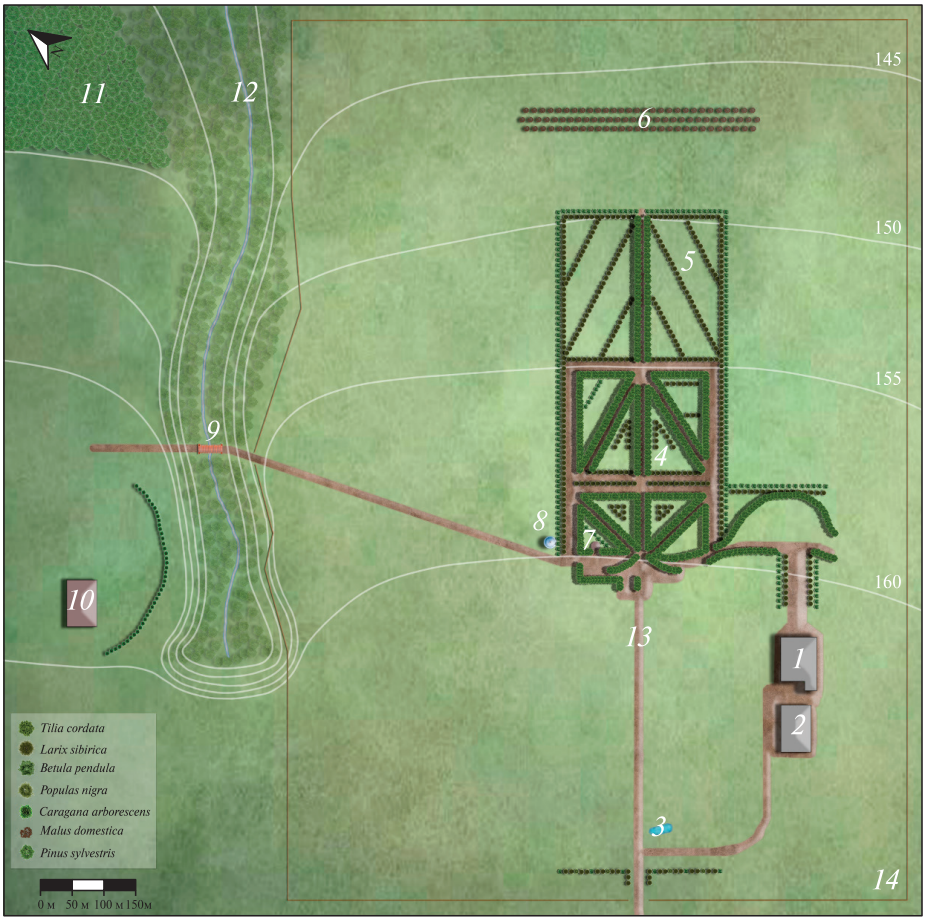


Рис. 2. Реконструкция элементов планировки усадьбы Иваново (на конец XIX — начало XX в.): *1* — главный дом; *2* — флигель; *3* — пруд; *4* — регулярный парк (первая половина XIX в.; *5* — парковые посадки (последняя четверть XIX в.); *6* — яблоневый сад; *7* — ротонда; *8* — часовня; *9* — мост через овраг; *10* — сиротский приют; *11* — коренной сосновый лес; *12* — речка Ивановка; *13* — место главного дома (первая четверть XIX в.); *14* — деревянный забор

Fig. 2. Reconstruction of Ivanovo estate layout elements (at the end of the 19th - early 20th cc.): *1* — main house; *2* — outbuilding; *3* — pond; *4* — regular park (first half of the 19th c.; *5* — park plantings (last quarter of the 19th c.); *6* — apple orchard; *7* — rotunda; *8* — chapel; 9 — bridge over the ravine; *10* — the orphanage; *11* — native pine forest; *12* — Ivanovka River; *13* — the place of main house (first quarter of the 19th c.); *14* — wooden roof

(главный дом со служебными постройками, садово-парковая и хозяйственная части). В первой половине XIX в. (при Е.С. Виц) в основу построения композиции были заложены принципы симметрии — регулярный парк с центральной осью, визуально исходящей из главного усадебного дома, то в последней четверти XIX в. (при Н.Н. Григорьеве) планировка приобрела некоторые ассиметричные черты. Композиционный центр был смещен в южную часть — к новому двухэтажному дому, ставшему архитектурной доминантой усадьбы, гармонично вписанной в окружающий его природно-культурный ландшафт.

Особое значение в планировке усадьбы имеет рельеф территории, в гармонии с которым находились все основные ее элементы. Визуально юго-западная (164 м н. у. м.) и северо-восточная части (147 м н. у. м.) усадьбы воспринимаются как ровная поверхность. В центральной части находится склон северо-восточной экспозиции. По северной границе усадьбы проходит овраг, по дну которого протекает речка Ивановка. История усадьбы и деревни Иваново показывают, что за последние 100 лет рельеф территории вряд ли претерпел изменения.

Объемно-пространственная структура усадебного парка создавалась в том числе за счет его расположения поперек северо-восточного склона. Наклонная плоскость здесь служит основой для организации визуальной коммуникации — взгляд скользит от верхних террас к нижним. На первом ярусе расположена юго-западная часть регулярного парка с главным

входом, на втором — центральная часть парка и на третьем — новый участок (последняя четверть XIX в.) с посадками лиственницы. Расположение парковых аллей полностью подчиняется естественному рельефу. Подобное раскрытие композиции парка позволяет трактовать его как последовательную смену картин, симметричную к главной оси движения.

Планировка парка (первая четверть XIX в.) была представлена аллеями из липы мелколистной (*Tilia cordata*) и открытыми партерами из злаков и цветочных растений из местной флоры, расположенных по периметру парка. Древесные растения располагались по границам участков треугольной формы. Шаг посадки в ряду на центральных аллеях составлял 1 сажень (2,13 м), а на второстепенных — 0,5 сажени (1,065 м). Главная задача такого размещения деревьев — формирование геометрического объема в виде плотной зеленой стены. Вход на главную аллею, разбитую по центру симметрии господского дома, оформлен в виде раструба.

В последней четверти XIX в. при Н.Н. Григорьеве планировка парка претерпела изменения, в том числе путем введения интродуцентов, что соответствовало особенностям садово-паркового строительства того времени. За счет северо-восточной части усадьбы парк был увеличен практически в 2 раза, по периметру выполнены рядовые посадки лиственницы сибирской (*Larix sibirica*) с внутренней стороны и березы повислой (*Betula pendula* — с внешней. Использование древесных пород с разными скоростями прохождения жизненных этапов позволило быстро сформировать живописную сомкнутую рядовую обсадку из березы. В центральной части регулярного парка с шагом в 1 сажень (2,13 м) были заложены две лиственничные аллеи, а во вновь образованной части также высажена лиственница рядовыми посадками и продлена центральная ось из липы мелколистной (*Tilia cordata*).

Современное состояние территории. За 100 лет после национализации усадьбы Виц-Григорьевых произошла трансформация культурного ландшафта как под воздействием природных (сукцессионные процессы с формированием естественных растительных сообществ), так и антропогенных факторов (сельскохозяйственная деятельность, строительство и др.) (рис. 3).

Флористическое обследование территории усадьбы и сиротского приюта показало, что ассортимент древесно-кустарниковых растений в настоящее время представлен 25 видами: елью финской (*Picea × fennica*), елью обыкновенной (*Picea abies*), пихтой сибирской (*Abies sibirica*), черемухой обыкновенной (*Prunus padus*), кленом остролистным (*Acer platanoides*), ольхой серой (*Alnus incana*), осиной обыкновенной (*Populus tremula*), ивой козьей (*Salix caprea*), рябиной обыкновенной (*Sorbus aucuparia*), можжевельником обыкновенным (*Juniperus communis*), калиной обыкновенной (*Viburnum opulus*), шиповником иглистым (*Rosa acicularis*), малиной обыкновенной (*Rubus idaeus*), крушиной ломкой (*Rhamnus frangula*), жимолостью настоящей (*Lonicera xylosteum*), смородиной колосистой (*Ribes spicatum*), смородиной черной (*Ribes nigrum*), а такие виды, как липа сердцевидная (*Tilia cordata*), лиственница сибирская (*Larix sibirica*), береза повислая (*Betula pendula*), тополь черный (*Populus nigra*), яблоня домашняя (*Malus domestica*), спирея дубравколистная (*Spiraea chamaedryfolia*), карагана древовидная (*Caragana arborescens*) и сирень обыкновенная (*Syringa vulgaris*) сохранились со времен обустройства усадьбы.

На парковых партерах в результате их вовлечения в сельскохозяйственный оборот в советский период с дальнейшим прекращением использования ассортимент травянистых растений сформирован следующими видами:

с низким обилием (5–20 %): ежа сборная (*Dactylis glomerata*), луговик дернистый (*Deschampsia cespitosa*), тимофеевка луговая (*Phleum pratense*), василек шероховатый (*Centaurea scabiosa*), василек фригийский (*Centaurea phrygia*), зверобой пятнистый (*Hypericum maculatum*), бодяк полевой (*Cirsium arvense*), хвощ луговой (*Equisetum pratense*), мать-и-мачеха обыкновенная (*Tussilago farfara*);

с незначительным обилием (менее 5 %): цикорий обыкновенный (*Cichorium intybus*), тысячелистник обыкновенный (*Achillea millefolium*), чина луговая (*Lathyrus pratensis*), короставник полевой (*Knautia arvensis*), крапива двудомная (*Urtica dioica*), дудник лесной (*Angelica sylvestris*), полынь обыкновенная (*Artemisia vulgaris*), манжетка гололистная (*Alchemilla leiophylla*), щавель курчавый (*Rumex crispus*), лапчатка гусиная (*Potentilla anserina*), мышиный горошек (*Vicia cracca*), звездчатка злаковая (*Stellaria graminea*), пикульник двунадрезанный (*Galeopsis bifida*);

единичные находки: мордовник шароголовый (*Echinops sphaero-cephalus*).

Таким образом, ассортимент травянистых растений является типичным для дикорастущей флоры северо-востока Костромской области [18].

В настоящее время парковая часть усадьбы Иваново представлена липово-лиственничными двухъярусными насаждениями. Первый древесный ярус сформирован посадками лиственницы, липы и березы (3Лц6Лп1Б) с общим запасом древесины 310 м^3/га и средней высотой 26 м.

а *б*

в *г*

Рис. 3. Современный вид усадьбы Иваново: *а* — место расположения главного дома и флигеля конца XIX в. (направление съемки — север); *б* — место расположения главного дома первой половины XIX в. (направление съемки — северо-восток); *в* — главная аллея парка (направление съемки — юго-запад); *г* — северо-восточный партер парка (направление съемки — северо-восток)

Fig. 3. Modern view of the Ivanovo estate: *а* — the site of the main house and an outbuilding of the late 19th c. (direction of shooting — north); *б* — the site of the main house of the first half of the 19th c. (direction of shooting — north-east); *в* — the main alley of the park (direction of shooting — south-west); *г* — the north-east parterre of the park (direction of shooting — north-east)

Второй ярус представлен деревьями липы естественного происхождения (10Лп) с запасом 60 м^3/га и средней высотой 13 м. В подросте (густота 3000 шт./га, жизнеспособный) преобладает липа мелколистная (*Tilia cordata*), незначительно участие ели обыкновенной (*Picea abies*), пихты сибирской (*Abies sibirica*) и клена остролистного (*Acer platanoides*). Подлесок — редкий, сформирован такими видами, как черемуха обыкновенная (*Prunus padus*), рябина обыкновенная (*Sorbus aucuparia*), можжевельник обыкновенный (*Juniperus communis*), смородина колосистая (*Ribes spicatum*), смородина черная (*Ribes nigrum*), шиповник иглистый (*Rosa acicularis*) и малина обыкновенная (*Rubus idaeus*). В структуре травянистого покрова среднее проективное покрытие (20…40 %) имеют земляника мускусная (*Fragaria moschata*), сныть обыкновенная (*Aegopodium podagraria*); низкое (5…20 %) — щитовник картузианский (*Dryopteris carthusiana*), купырь лесной (*Anthriscus sylvestris*), костяника (*Rubus saxatilis*); незначительное (менее 5 %) — земляника лесная (*Fragaria vesca*), будра плющевидная (*Glechoma hederacea*), майник двулистный (*Maianthemum bifolium*), копытень европейский (*Asarum europaeum*), яснотка желтая (*Lamium galeobdolon*), звездчатка ланцетолистная (*Rabelera holostea*), бор развесистый (*Milium effusum*), кислица обыкновенная (*Oxalis acetosella*), ортилия однобокая (*Orthilia secunda*).

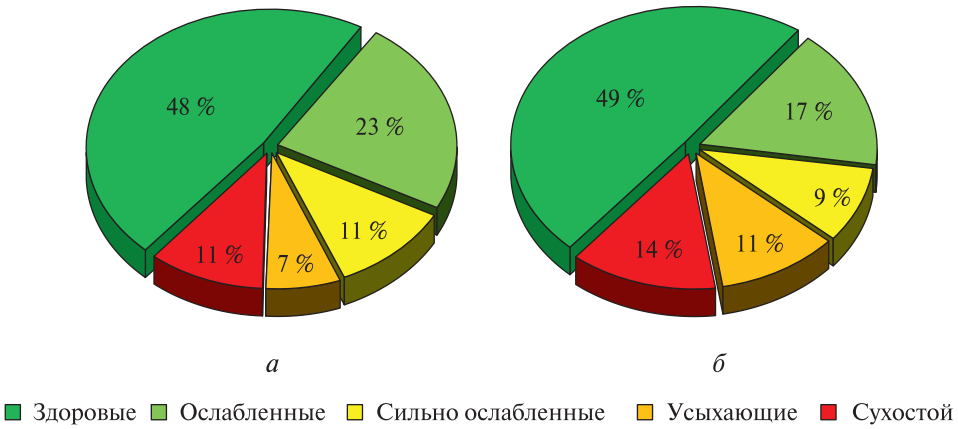


Рис. 4. Распределение деревьев по категориям состояния: *а* — липа мелколистная; *б* — лиственница сибирская
Fig. 4. Distribution of trees by condition categories: *а* — small-leaved linden; *б* — Siberian larch

Таким образом, со времен усадьбы в живом напочвенном покрове сохранилась только земляника мускусная (*Fragaria moschata*).

К текущему моменту в парковых посадках выпали практически все деревья березы. Остались лишь ее единичные экземпляры. Половина обследованных деревьев лиственницы и липы относится к категории здоровых (рис. 4). Примерно пятая часть деревьев является ослабленной, имеет разреженную крону, прирост уменьшен, листва светло-зеленая (хвоя), имеются засохшие единичные ветви. Сильно ослабленными являются около 10 % деревьев. Они характеризуются ажурными кронами, слабым приростом, а усыхание ветвей составляет до 2/3 кроны. Усыхающие деревья лиственницы составляют 11 % обследованного количества, липы — 7 %. Сухостойных и ветровальных деревьев лиственницы — 14 %, липы — 11 %. На листьях липы обнаружены повреждения липовой молью–пестрянкой (*Phyllonorycter issikii*). Крупномерные деревья лиственницы в парковых посадках подвержены ветровальности.

Обследованный ландшафтный участок коренного соснового леса (4 га) возрастом 160…180 лет, примыкающий к северо-восточной границе землепользования бывшего сиротского приюта, расположен на склоне (уклон до 15°) и представлен двухъярусным древостоем. Как природный объект, имеющий высокие эстетические свойства естественного происхождения, он может быть включен в охранную зону усадебного комплекса. Первый ярус сформирован сосной, березой и осиной (8С2Б+ОС) со средней высотой 28 м и общим запасом древесины 170 м^3/га. Во втором ярусе древостоя принимают участие такие древесные породы, как ель и липа (10Е+ЛП), их средняя высота составляет 19 м, а общий запас — 110 м^3/га. Подрост (густота 1000 шт./га, высота 1,5…2,0 м) — жизнеспособный, представлен главным образом елью обыкновенной (*Picea abies*), елью финской (*Picea × fennica*), липой сердцевидной (*Tilia cordata*), осиной обыкновенной (*Populus tremula*). Подлесок — редкий (высота в среднем не превышает 2 м), сформирован такими видами, как малина обыкновенная (*Rubus idaeus*), черемуха обыкновенная (*Prunus padus*), рябина обыкновенная (*Sorbus aucuparia*), смородина черная (*Ribes nigrum*), калина обыкновенная (*Viburnum opulus*), жимолость настоящая (*Lonicera xylosteum*), можжевельник обыкновенный (*Juniperus communis*), волчеягодник обыкновенный (*Daphne mezereum*). В живом напочвенном покрове средним проективным покрытием (20–40 %) характеризуются черника миртолистная (*Vaccinium myrtillus*), кислица обыкновенная (*Oxalis acetosella*), щитовник широкий (*Dryopteris dilatata*); низким (5–20 %) — бор развесистый (*Milium effusum*), щитовник картузианский (*Dryopteris carthusiana*), ожика волосистая (*Luzula pilosa*), звездчатка ланцетолистная (*Stellaria holostea*), земляника лесная (*Fragaria vesca*), ортилия однобокая (*Orthilia secunda*); незначительным (менее 5 %) — майник двулистный (*Maianthemum bifolium*), седмичник европейский (*Trientalis europaea*), золотарник обыкновенный (*Solidago virgaurea*), воронец колосистый (*Actaea spicata*), костяника обыкновенная (*Rubus saxatilis*), голокучник обыкновенный (*Gymnocarpium dryopteris*), хвощ лесной (*Equisetum sylvaticum*); единичные находки — брусника обыкновенная (*Vaccinium vitis-idaea*), копытень европейский (*Asarum europaeum*), вероника дубравная (*Veronica chamaedrys*), колокольчик раскидистый (*Campanula patula*), недотрога обыкновенная (*Impatiens noli-tangere*). Отмечены единичные экземляры княжика сибирского (*Clematis alpina* ssp. *sibirica*), занесенного в Красную книгу Костромской области. При движении в

а

б

в

Рис. 5. Визуализация композиционных решений: *а* — центральная парковая аллея; *б* — северный партер с часовней; *в* — парковый павильон — ротонда

Fig. 5. Visualization of the compositional solutions: *а* — central parkway; *б* — northern parterre with chapel; *в* — park pavilion — rotunda

сторону понижения рельефа в составе древостоя снижается доля сосны, при этом увеличивается участие ели и липы. На участках с избыточным увлажнением в древостое появляется ива козья (*Salix caprea*), а в живом напочвенном покрове заметно выделяются лабазник вязолистный (*Filipendula ulmaria*), крапива двудомная (*Urtica dioica*), чистец болотный (*Stachys palustris*), бодяк огородный (*Cirsium oleraceum*), борец северный (*Aconitum lycoctonum*), камыш лесной (*Scirpus sylvaticus*), подмаренник болотный (*Galium palustre*), кипрей болотный (*Epilobium palustre*), пальчатокоренник Фукса (*Dactylorhiza fuchsii*), сныть обыкновенная (*Aegopodium podagraria*).

Таким образом, при отсутствии хозяйственных мероприятий в зеленых насаждениях на территории усадьбы Иваново происходит активный процесс распада и деградации парковых посадок, которые составляют основу всего комплекса. В ближайшие десятилетия исторический облик парка может быть утрачен в результате действия природных процессов. Культурный ландшафт является элементом историко-культурного наследия страны, поэтому сохранению национального ландшафта следует уделять особое внимание [11, 19].

Перспективы сохранения культурно-природного ландшафта. Для предотвращения дальнейшего разрушения древесных насаждений и сохранения объекта садово-паркового искусства XIX в. необходимо проведение хозяйственных мероприятий, которые можно провести в несколько этапов. На первом этапе рекомендуется обустройство дорожно-тропиночной сети, уборка сухостоя и поваленных деревьев, захламленности и бытового мусора. Второй этап предполагает реконструкцию аллей с посадкой на месте выпавших деревьев новых растений липы и лиственницы, удаление молодой поросли в парковой части территории, проведение расчистки от древесно-кустарниковой растительности партеров. На заключительном этапе возможна установка информационных аншлагов и указателей, улучшение травянистого покрова путем посадки цветочных растений из ассортимента

местной флоры и часто используемых в озеленении дворянских усадеб Костромской губернии. Например, в костромских усадебных парках для цветочного оформления использовались преимущественно следующие декоративные виды [9]: водосбор обыкновенный (*Aquilegia vulgaris*), гвоздика бородатая (*Dianthus barbatus*), живокость высокая (*Delphinium elatum*), земляника мускусная (*Fragaria moschata*), колокольчик рапунцелевидный (*Campanula elegans*), лаватера тюрингенская (*Lavatera thuringiaca*), лилия саранка (*Lilium martagon*), маргаритка многолетняя (*Bellis perennis*).

На основании проведенного комплекса научно-исследовательских работ и изучения объектов — аналогов провинциальных усадеб в Центральном Нечерноземье выполнена визуализация композиционных решений для центральной парковой аллеи, северного партера с часовней и паркового павильона-ротонды (рис. 5), которые помогают представить и понять исторический облик территории. Для использования территории усадьбы как туристического объекта помимо обустройства дорожно-тропиночной сети, реконструкции парковых насаждений и улучшения травянистого покрова возможна установка деревянной ротонды в стиле второй половины XIX в. и часовни вместо утраченной (по клировым ведомостям Богородице-Рождественской церкви села Запоженье была возведена ранее 1886 г.) за годы советской власти.

Поскольку в настоящее время усадебный парк относится к объектам культурного наследия Костромской обл., необходимо принятие мер по обеспечению его физической сохранности и сохранению историко-культурной ценности, приспособление его для современного использования. С 2021 г. территория усадьбы Иваново входит в зону сотрудничества биосферного резервата «Кологривский лес», одной из задач которого является содействие экономическому и социальному развитию усадьбы, устойчивому в социально-культурном и экологическом отношении [20]. Вместе с реконструкцией объекта департаментом культуры Костромской обл., отделом культуры, туризма, спорта и молодежи администрации Кологривского муниципального округа, отделом по экологическому просвещению государственного заповедника «Кологривский лес» может быть разработан и реализован туристический маршрут по усадьбе Иваново, отражающий как историко-культурные аспекты, так и природные особенности территории.

Выводы

В результате выполненных работ впервые детально изучена история создания и современное состояние провинциальной, мелкопоместной дворянской усадьбы XIX в. Виц-Григорьевых (Кологривский муниципальный округ Костромской обл.). Выявлено, что до настоящего времени ни одна из усадебных построек не сохранилась. Основу комплекса составляет лиственнично-липовый парк, сформированный в два этапа: в первой половине и в последней четверти XIX в. Оценка санитарного состояния насаждений и структуры древесного полога позволила сделать вывод, что происходит активный процесс распада парковых посадок. К настоящему времени произошло практически полное вытеснение декоративных растений на территории усадьбы видами из дикорастущей флоры. С 1917 г. в ассортименте декоративных растений остались земляника мускусная (*Fragaria moschata*), спирея дубравколистная (*Spiraea chamaedryfolia*), карагана древовидная (*Caragana arborescens*) и сирень обыкновенная (*Syringa vulgaris*). Для сохранения историко-культурной ценности объекта необходимо проведение мероприятий по его реконструкции. Современное использование территории может включать создание и реализацию туристического маршрута.

Список литературы

[1] Санаева Т.С., Селдушова Т.А. Анализ усадебных территорий «Пушкинского кольца» // Ландшафтная архитектура в эпоху глобализации, 2020. № 3. С. 39–52. DOI: 10.37770/2712-7656-2020-3-39-52

[2] Краснобаев И.В. Сохранение и использование сельских дворянских усадеб в современной России: проблемы и перспективы // Вестник Томского государственного архитектурно-строительного университета, 2007. № 2(15). С. 25–36.

[3] Комеч А.И. Правовая ситуация в области охраны архитектурного наследия // Охрана и реставрация архитектурного наследия России. Организационно-правовые и экономические проблемы: Материалы Всерос. конф. М.: Изд-во Информационно-издательского отдела РААСН, 2000. С. 24.

[4] Касаткина С.В. Дворянская усадьба как центр хозяйственной и культурной жизни провинции в 1861–1917 годах (на примере усадеб Костромской губернии): автореф. дис. … канд. истор. наук: 07.00.02. ФГБОУ Иваново: Изд-во ВПО «Ивановский государственный университет», Шуйский филиал, 2016. 20 с.

[5] Рассказова Л.В. Провинциальные сельские дворянские усадьбы: забыть нельзя сохранить // Теория и практика изучения истории городских и сельских населенных пунктов: Сб. Материалов Всерос. краеведческих чтений, посвященных 100-летию со дня рождения С.О. Шмидта, Пенза, Институт регионального развития Пензенской области, 27–28 мая 2022 г. Пенза: Изд-во Института регионального развития Пензенской области, 2022. С. 391–398.

[6] Кривов С.И., Спиченко А.А., Бахлова Н.А. История русской сельской дворянской усадьбы // Времен связующая нить. Культура русской усадьбы. Альманах: Материалы науч.-просветит. конф., Калуга, Калужский государственный университет им. К.Э. Циолковского, 16–17 апреля 2021 г. Индивидуальный предприниматель Стрельцов Илья Анатольевич, 2022. С. 61–64.

[7] Шевченко Н.Ю. Русская провинциальная усадьба в общественном сознании рубежа XIX–XX вв. // Научные ведомости БелГУ. Сер. История. Политология. Экономика. Информатика, 2010. № 1 (72). Вып. 13. С. 158–162.
[8] Жеребятьев Д.И., Канищев В.В., Кончаков Р.Б. Особенности трехмерной реконструкции провинциальных сельских дворянских усадеб // Информационный бюллетень Ассоциации «История и компьютер», 2014. № 42. С. 154–155.
[9] Йенсен Т.В., Кондратьева И.Ю., Ойнас Д.Б., Сорокин А.И. Костромская усадьба. Кострома: Линия график, 2005. 597 с.
[10] Ищенко А.С. Повседневная жизнь русской усадьбы второй половины XIX — начала XX вв. // Вестник Донского государственного аграрного университета, 2017. № 3–2(25). С. 33–41.
[11] 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
[12] Попова А.А. Современное состояние насаждений и пространственная структура парковой части усадьбы А.Н. Крафта (г. Королёв) // Лесной вестник / Forestry Bulletin, 2019. Т. 23. № 3. С. 52–63. DOI: 10.18698/2542-1468-2019-3-52-63
[13] 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: Изд-во Комитета по охране и использованию историко-культурного наследия, 2003. 280 с.
[14] Записки Петра Александровича Камайского. Кологривский край. СПб.: [б. и.], 2022. 208 с.
[15] Полевая геоботаника. В 3 т. / под ред. Е.М. Лавренко и А.А. Корчагина. М.; Л.: Изд-во АН СССР, Ботан. ин-та им. В.Л. Комарова [Ленингр. отд.], 1959–1964.
[16] Лебедев А.В., Гостев В.В. Платформа INaturalist как база наблюдений сосудистых растений биосферного резервата «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 г. Кологрив: Изд-во Государственного заповедника «Кологривский лес», 2021. С. 144–149.
[17] Список населенных мест Костромской губернии (по сведениям 1907 г.): издание Костромского губернского земства. Кострома: Типография Т.П. Андронниковой, 1908.
[18] Лебедев А.В., Криницын И.Г., Гостев В.В. Таксономическая структура флоры сосудистых растений заповедника «Кологривский лес» // Природообустройство, 2022. № 3. С. 115–121. DOI: 10.26897/1997-6011-2022-3-115-121
[19] Рудченко В.М., Смирнов Г.К., Шармин П.Н., Щеболева Е.Г. Памятники архитектуры Костромской области. Каталог. Выпуск VI. Чухлома. Чухломский район. Кострома, 2004. 248 с.
[20] 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 г. Кологрив: Изд-во Государственного заповедника «Кологривский лес», 2021. С. 8–13.

Сведения об авторах

Лебедев Александр Вячеславович✉ — канд. с.-х. наук, доцент кафедры землеустройства и лесоводства, Российский государственный аграрный университет — МСХА имени К.А. Тимирязева, научный сотрудник, Государственный природный заповедник «Кологривский лес» имени М.Г. Синицына, alebedev@rgau-msha.ru

Кочнев Ярослав Владимирович — магистрант, кафедра ландшафтной архитектуры, Российский государственный аграрный университет — МСХА имени К.А. Тимирязева, yaroslav.kochnev.vl@gmail.com

Поступила в редакцию 28.11.2022.
Одобрено после рецензирования 19.12.2022.
Принята к публикации 25.05.2023.

NOBLE ESTATE OF VITS-GRIGORYEVS (KOSTROMA REGION): HISTORY OF CREATION AND CURRENT STATE

A.V. Lebedev[1, 2]✉, Ya.V. Kochnev[1]

[1]Russian State Agrarian University — Moscow Timiryazev Agricultural Academy, 49, Timiryazevskaya st., 127550, Moscow, Russia
[2]State Nature Reserve «Kologrivsky Forest» named after M.G. Sinitsyn, 15, Tsentralnaya st., 157440, Kologriv, Kologrivsky district, Kostroma region, Russia

alebedev@rgau-msha.ru

Provincial noble estates are an important component of the domestic architectural and landscape heritage. Over the years, there has been a loss of significance of noble estates as a phenomenon of Russian national culture. Therefore, the role of noble estate and park complexes as cultural landscapes and as elements of preserving the cultural identity of Russia is increasing. This issue is of particular relevance for the Kostroma region, where there is an extremely low safety of rural noble estates. The aim of the study was to examine the history of the creation of the noble estate of the Vits-Grigorievs and the current state of its natural and anthropogenic landscapes (Kologrivsky district of the Kostroma region). The research was carried out in several stages using the following methods: historical and archival expertise, field surveys, graphic-analytical method. By 1917, the manor complex included the main house with outbuildings, garden and park and utility parts, an orphanage with a school. To date, none of the manor buildings have survived. The basis of the complex is a larch-linden park, formed in two stages: in the first half and in the last quarter of the 19th century. An assessment of the sanitary condition of plantings and the structure of the tree canopy made it possible to conclude that an active process of decay of park plantings is taking place. To date, there has been an almost complete displacement of ornamental plants on the estate by species from wild flora. Since 1917, musk strawberry (*Fragaria moschata*), germander meadowsweet (*Spiraea chamaedryfolia*), Siberian peashrub (*Caragana arborescens*) and common lilac (*Syringa vulgaris*) have remained in the assortment of ornamental plants. To preserve the historical and cultural value of the object, it is necessary to carry out measures for its reconstruction. Modern use of the territory may include the creation and implementation of a tourist route.
Keywords: noble estate, park, planning reconstruction, cultural heritage, Kostroma region, Kologriv

Suggested citation: 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

References

[1] Sanaeva T.S., Seldushova T.A. *Analiz usadebnykh territoriy* «*Pushkinskogo kol'tsa*» [Analysis of the manor areas of the «Pushkin Ring»]. *Landshaftnaya arhitektura v epohu globalizacii* [Landscape Architecture in the Globalization Era], 2020, no. 3, pp. 39–52. DOI: 10.37770/2712-7656-2020-3-39-52

[2] Krasnobaev I.V. *Sokhranenie i ispol'zovanie sel'skikh dvoryanskikh usadeb v sovremennoy Rossii: problemy i perspektivy* [Preservation and contemporary use of country estates in Russia: problems and perspectives]. Vestnik Tomskogo gosudarstvennogo arkhitekturno-stroitel'nogo universiteta [Bulletin of the Tomsk State University of Architecture and Civil Engineering], 2007, no. 2(15), pp. 25–36.

[3] Komech A.I. *Pravovaya situatsiya v oblasti okhrany arkhitekturnogo naslediya* [Legal situation in the field of protection of architectural heritage]. Okhrana i restavratsiya arkhitekturnogo naslediya Rossii. Organizatsionno-pravovye i ekonomicheskie problemy [Protection and restoration of the architectural heritage of Russia. Organizational-legal and economic problems]. Moscow, 2000, p. 24.

[4] 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 the economic and cultural life of the province in 1861–1917 (on the example of the estates of the Kostroma province)]. Ivanovo, 2016, 20 p.

[5] Rasskazova L.V. *Provintsial'nye sel'skie dvoryanskie usad'by: zabyt' nel'zya sokhranit'* [Provincial rural noble estates: forget must not save]. Teoriya i praktika izucheniya istorii gorodskikh i sel'skikh naselennykh punktov: Sbornik materialov Vserossiyskikh kraevedcheskikh chteniy, posvyashchennykh 100-letiyu so dnya rozhdeniya S.O. Shmidta [Theory and practice of studying the history of urban and rural settlements: Collection of materials of the All-Russian local history readings dedicated to the 100th anniversary of the birth of S.O. Schmidt]. Penza, May 27–28, 2022. Penza: Institut regional'nogo razvitiya Penzenskoy oblasti, pp. 391–398.

[6] Krivov S.I., Spichenko A.A., Bakhlova N.A. *Istoriya russkoy sel'skoy dvoryanskoy usad'by* [The history of the Russian rural noble estate]. Vremen svyazuyushchaya nit'. Kul'tura russkoy usad'by: al'manakh: materialy nauchno-prosvetitel'skoy konferentsii [The connecting thread of time. Culture of the Russian Estate. Almanac: Proceedings of the Scientific and Educational Conference]. Kaluga, April 16–17, 2021. Kaluga, 2022, pp. 61–64.

[7] Shevchenko N.Yu. *Russkaya provintsial'naya usad'ba v obshchestvennom soznanii rubezha XIX–XX vv.* [Russian provincial estate in the public mind at the turn of the 19th–20th centuries]. Nauchnye vedomosti BelGU. Ser. Istoriya. Politologiya. Ekonomika. Informatika [Scientific statements of BelSU. Ser. History. Political Science. Economy. Informatics], 2010, no. 1 (72), v. 13, pp. 158–162.

[8] Zherebyat'ev D.I., Kanishchev V.V., Konchakov R.B. *Osobennosti trekhmernoy rekonstruktsii provintsial'nykh sel'skikh dvoryanskikh usadeb* [Features of 3D reconstruction of provincial rural noble estates]. Informatsionnyy byulleten' Assotsiatsii «Istoriya i komp'yuter» [Newsletter of the Association History and Computer], 2014, no. 42, pp. 154–155.

[9] Yensen T.V., Kondrat'eva I.Yu., Oynas D.B., Sorokin A.I. *Kostromskaya usad'ba* [Kostroma estate]. Kostroma, 2005, 597 p.
[10] Ishchenko A.S. *Povsednevnaya zhizn' russkoy usad'by vtoroy poloviny XIX — nachala XX vv.* [Everyday life of a Russian estate in the second half of the 19th — early 20th centuries]. Vestnik Donskogo gosudarstvennogo agrarnogo universiteta [Bulletin of the Don State Agrarian University], 2017, no. 3–2(25), pp. 33–41.
[11] Leonova V.A., Kulikova A.I., Tarasova L.A. *Sostoyanieprirodnykh 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.
[12] Popova A.A. *Sovremennoe sostoyanie nasazhdeniy i prostranstvennaya struktura parkovoy chasti usad'by A.N. Krafta (g. Korolev)* [Current condition of planting and the parking zone spatial structure of A.N. Kraft's manor in Korolev city]. Lesnoy vestnik / Forestry Bulletin, 2019, vol. 23, no. 3, pp. 52–63. DOI: 10.18698/2542-1468-2019-3-52-63.
[13] 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* [Monuments of architecture of the Kostroma region. Catalog. Issue V. Kologrivsky district. Mezhevsky district. Neisky district. Manturovsky district]. Kostroma: Komitet po okhrane i ispol'zovaniyu istoriko-kul'turnogo naslediya, 2003, 280 p.
[14] Zapiski Petra Aleksandrovicha Kamayskogo. Kologrivskiy kray [Notes of Peter Aleksandrovich Kamaisky. Kologrivsky district]. Saint-Petersburg, 2022, 208 p.
[15] Polevaya geobotanika [Field geobotany]. 3 t. Ed. E.M. Lavrenko, A.A. Korchagina. Moscow–Leningrad: Izd-vo Akad. nauk SSSR Botan. in-t im. V.L. Komarova [Leningr. otd.], 1959–1964.
[16] Lebedev A.V., Gostev V.V. *Platforma INaturalist kak baza nablyudeniy sosudistykh rasteniy biosfernogo rezervata «Kologrivskiy les»* [INaturalist platform as a base for observations of vascular plants of the Kologrivsky Forest Biosphere Reserve]. Vklad osobo okhranyaemykh prirodnykh 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, 2021, pp. 144–149.
[17] *Spisok naselennykh mest Kostromskoy gubernii (po svedeniyam 1907 goda): izdanie Kostromskogo gubernskogo zemstva* [List of populated places in the Kostroma province (according to 1907): edition of the Kostroma provincial zemstvo]. Kostroma: Tipografiya T.P. Andronnikovoy, 1908.
[18] Lebedev A.V., Krinitsyn I.G., Gostev V.V. *Taksonomicheskaya struktura flory sosudistykh rasteniy zapovednika «Kologrivskiy les»* [Taxonomical structure of the flora of vascular plants of the forest nature reserve «Kologrivsky les»]. Prirodoobustroystvo, 2022, no. 3, pp. 115–121. DOI: 10.26897/1997-6011-2022-3-115-121
[19] Rudchenko V.M., Smirnov G.K., Sharmin P.N., Shcheboleva E.G. *Pamyatniki arkhitektury Kostromskoy oblasti. Katalog. Vypusk VI. Chukhloma. Chukhlomskiy rayon* [Monuments of architecture of the Kostroma region. Catalog. Issue VI. Chukhloma. Chukhloma district]. Kostroma, 2004, 248 p.
[20] Sirotina 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]. klad osobo okhranyaemykh prirodnykh 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, 2021, pp. 8–13.

Authors' information

Lebedev Aleksandr Vyacheslavovich✉ — Cand. 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

Kochnev Yaroslav Vladimirovich — pg. of the Department of Landscape Architecture, Russian State Agrarian University — Moscow Timiryazev Agricultural Academy, yaroslav.kochnev.vl@gmail.com

Received 28.11.2022.
Approved after review 19.12.2022.
Accepted for publication 25.05.2023.

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

УДК 67.05: 66.040.287
DOI: 10.18698/2542-1468-2023-4-117-127
Шифр ВАК 4.3.4

МОДЕЛИРОВАНИЕ ПРОЦЕССА СУШКИ ВТОРИЧНОГО СЫРЬЯ В ТЕХНОЛОГИЧЕСКОЙ ЛИНИИ ПРОИЗВОДСТВА АКТИВИРОВАННОГО УГЛЯ

Р.Г. Сафин, А.С. Родионов✉, В.Г. Сотников, Д.Ф. Зиатдинова, Н.Ф. Тимербаев

ФГБОУ ВО «Казанский национальный исследовательский технологический университет» (КНИТУ), Россия, 420015, Республика Татарстан, г. Казань, ул. К. Маркса, д. 68

rodionov2014@bk.ru

Представлена технологическая схема установки производства активированного угля, узла конвективной сушки; экспериментальной установки для исследования процесса конвективной сушки. Изложены методики расчета и исходные данные. Представлены результаты математического моделирования процесса конвективной сушки для технологической линии производства активированного угля. Получены динамические кривые температуры и влажности материала, которые позволят рекомендовать технологические параметры для установки. Проведена апробация математической модели, подтверждающая адекватность разработанной модели.

Ключевые слова: пиролиз, вторичное сырье, активированный уголь, сушка, моделирование, конвективный тепломассоперенос

Ссылка для цитирования: Сафин Р.Г., Родионов А.С., Сотников В.Г., Зиатдинова Д.Ф., Тимербаев Н.Ф. Моделирование процесса сушки вторичного сырья в технологической линии производства активированного угля // Лесной вестник / Forestry Bulletin, 2023. Т. 27. № 4. С. 117–127. DOI: 10.18698/2542-1468-2023-4-117-127

Ежегодно в отходы поступает несколько десятков миллионов тонн органических коммунальных и промышленных отходов лесопромышленного (ЛПК) и агропромышленного (АПК) комплексов. Биоразлагаемые отходы чаще всего сжигают или зарывают в почву. Процессы биодеградации в почве протекают очень медленно, приводят к образованию газов и вызывают утечку токсичных веществ. Газы, сопровождающие процессы разложения, улавливаются дренажными системами лишь частично, а, смешиваясь с воздухом, способствуют развитию парникового эффекта. В связи с этим разрабатываются правовые нормы, направленые на постепенное сокращение объемов захоронения биоразлагаемых отходов, вплоть до полного запрета. Таким образом, актуальность приобретает альтернативная утилизация биоразлагаемых отходов на базе производства активированного угля из вторичного сырья [1].

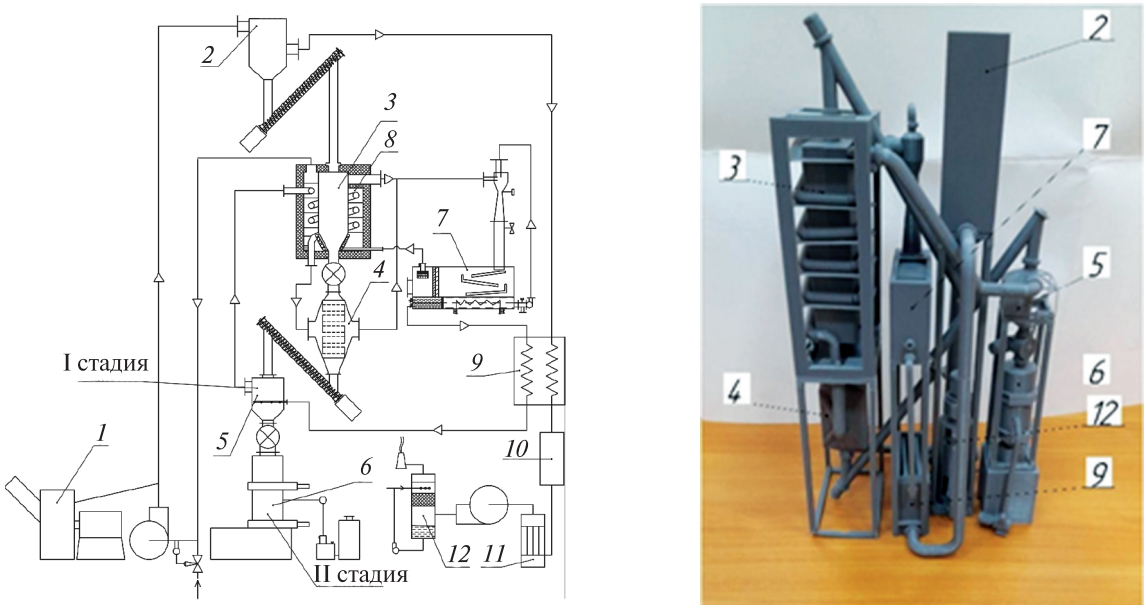
Активированный уголь является адсорбентом, который используется для очистки газов и жидкостей. Его свойства обусловлены большой удельной поверхностью и сильно развитой пористой структурой (обычно микропористой), обеспечивающей отличную сорбционную способность в отношении широкого спектра веществ: как неорганических (например, ионов металлов), так и органических (спиртов и эфирных растворителей). Сырьем для производства активированного угля может служить любое органическое вещество, содержащее углерод. Принимая во внимание высокую стоимость производства активированного угля из ископаемого угля, экономический и экологический аспекты, в последнее время большое внимание уделяется производству актированного угля из вторичного сырья растительного происхождения. Отходы ЛПК и АПК признаны легкодоступными, возобновляемыми и недорогими, поэтому производимый из них активированный уголь имеет высокий коммерческий потенциал [2, 3].

На кафедре переработки древесных материалов КНИТУ на основе экспериментальных исследований разработана установка термохимической переработки вторичного сырья в активированный уголь [4, 5]. Важным этапом подготовки сырья к термической переработке является его сушка топочным газом. Влага, содержащаяся в сырье, имеет высокую теплоемкость, которая заметно увеличивает время прогрева на стадии пиролиза. Для выявления оптимальных режимов конвективной сушки необходима разработка математической модели процесса, на основании которой можно проводить конструкторский расчет узла сушки.

Цель работы

Цель работы — разработка математической модели и моделирование процесса конвективной

© Автор(ы), 2023



а *б*

Рис. 1. Схема (*а*) и внешний вид (*б*) установки для производства активированного угля: *1* — измельчитель; *2* — узел конвективной сушки; *3* — пиролизная камера; *4* — камера активации; *5*, *6* — первая и вторая стадии охлаждения активированного угля; *7* — эжекционный сепаратор; *8* — рубашка пиролизной камеры; *9* — теплообменник; *10–12* — электрический, рукавный, абсорбционный фильтры соответственно

Fig. 1. Schematic diagram (*a*) and appearance (*б*) of the plant for the production of activated carbon: *1* — shredder; *2* — convective drying unit; *3* — pyrolysis chamber; *4* — activation chamber; *5*, *6* — first and second cooling stages of the activated carbon; *7* — ejection separator; *8* — jacket of pyrolysis chamber; *9* — heat exchanger; *10–12* — electric, bag and absorption filters, respectively

сушки сыпучего вторичного сырья для выявления рациональных режимов организации процесса его сушки в установке по производству активированного угля.

Материалы и методы исследования

Непрерывно действующая установка для производства активированного угля (рис. 1) работает следующим образом. Вторичное сырье измельчается в дисковом измельчителе *1*, сушится топочными газами в узле конвективной сушки *2*. В камере пиролиза *3* высушенное сырье кондуктивно пиролизируется в уголь с выделением пиролизных газов. Активация угля проходит в камере активации *4* перегретым водяным паром с выделением горючих газов активации. Активированный уголь охлаждается в две стадии: орошением водой (I стадия) с выделением водяного пара и понижением давления (II стадия). Газы, образовавшиеся в результате пиролиза, из пиролизной камеры и горючие газы активации из камеры активации сепарируются в эжекционном сепараторе *7* на жижку, воду и горючие газы, последние сжигаются в рубашке *8* пиролизной камеры. Отсепарированная вода, предварительно нагретая топочными газами в теплообменике *9*, охлаждает активированный уголь на первой стадии охлаждения. Топочными газами перегревают пар с первой стадии охлаждения угля, нагревают пиролизную камеру и конвективно сушат измельченное сырье. Отработанные топочные газы последовательно очищаются в электрическом *10*, рукавном *11*, абсорбционном *12* фильтрах [6].

Узел конвективной сушки более подробно представлен на рис. 2. Сушка измельченного вторичного сырья происходит в два этапа — при пневмотранспортировке в трубопроводе I и в сушильной камере II. Измельченное сырье с начальной температурой T_{c_0} и влагосодержанием U_{c_0} пневмотранспортируется и сушится сухими топочными газами с температурой $T_{г_0}$ и влажностью $\varphi_{г_0}$, нагнетаемыми газодувкой *2*. Вторичное сырье, попав в сушильную камеру II, перемещается вращением *S*-образных лопастей *3* по перфорированным тарелкам *4*, *5* с выгрузочными отверстиями в центре и на периферии *6*, *7*. Вследствие постоянного перемешивания высушиваемое сырье равномерно прогревается и высушивается. Лопасти *S*-образной формы жестко закреплены на валу *8* и приводятся в движение приводом *9*. Перфорированный конус *10* отделяет влажный топочный газ с температурой $T_{г.к}$ и влагосодержанием $\varphi_{г.к}$ от высушенного сырья. Высушенное сырье с температурой $T_{с.к}$ и влагосодержанием

$U_{с.к}$ выгружается шнековым питателем *11*. Продолжительность сушки регулируется скоростью вращения *S*-образных лопастей *3* и зависит от размеров частиц высушиваемого материала и его влагосодержания. Скорость вращения *S*-образных лопастей *3* может изменяться частотным преобразователем или установленным вариатором [4, 7].

Для исследования процесса конвективной сушки и проверки адекватности математической модели конвективной сушки была разработана экспериментальная установка (рис. 3). Высушиваемые образцы *1*, зажимаются в держателе *2*, жестко закрепленном на прутке *3*, и подвешиваются на захватах *4* на расстоянии 10 мм от перфорированного дна *5*. Это необходимо для равномерного процесса сушки образцов *1*. В качестве сушильного агента применяется воздух, который нагнетается вентилятором *6* и нагревается электронагревателем *7*. Терморегулятор *8* и термопара *9* поддерживают заданную температуру сушильного агента. Скорость потока сушильного агента изменяется регулятором оборотов *10*. Для уменьшения тепловых потерь корпус сушильный камеры покрыт теплоизоляцией *11*, температура в центре образца измеряется термопарой *12* [8].

Подготовка эксперимента включала в себя изготовление образцов высушиваемого материала в виде пластин квадратной формы размерами 50×50 мм и толщиной 0,5, 2, 4 и 6 мм. Для создания точки отсчета один образец высушивался до постоянной массы в вакуумной сушилке. Далее по формуле определялась начальная влажность всех образцов

$$U_{м_0} = \frac{m_{в.м} - m_{с.м}}{m_{в.м}}, \quad (1)$$

где $m_{в.м}$ — масса влажного материала, г;
$m_{с.м}$ — масса сухого материала, г.

Зная начальную массу всех образцов, можно вычислить ожидаемую конечную массу образцов без досушки до постоянной массы и определить текущее влагосодержание образцов в процессе сушки [6].

$$m_{с.м_i} = m_{в.м_i} - m_{в.м_i} \cdot U_{м_0}. \quad (2)$$

Для определения экспериментальных значений влажности и температуры по сечению в процессе конвективной сушки древесины сосны готовили три комплекта по четыре образца: первый комплект — из четырех образцов толщиной 12,5 мм (см. рис. 3, *в*), собранных из двух пластин размером 50×50×6 мм с контрольным элементом между ними в виде строганного соснового шпона толщиной 0,5 мм. У шпона есть выемка по центру, в которую помещается горячий спай термопары хромель-копель, провода термопары прокладываются между шпоном и одной из пластин. Подобным образом изготовляются еще два комплекта из пластин толщиной 2 и 4 мм.

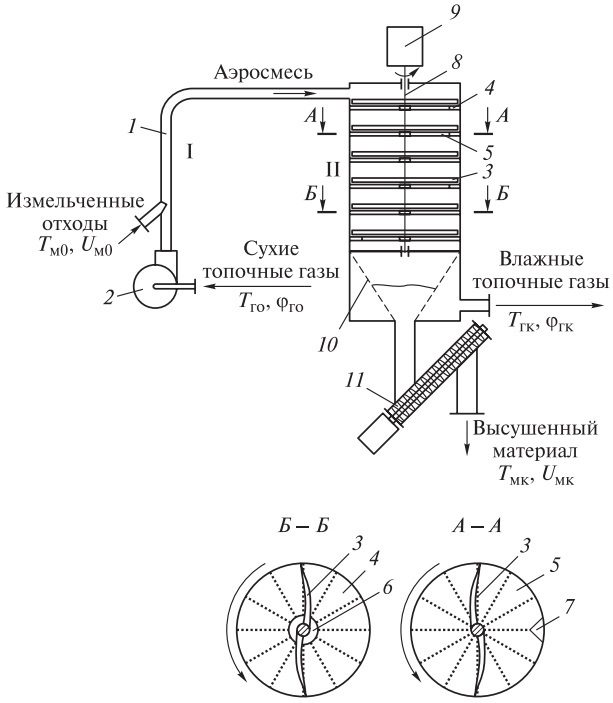


Рис. 2. Узел конвективной сушки в технологической линии производства активированного угля: I — трубопровод; II — сушильная камера; *1* — трубопровод; *2* — газодувка; *3* — *S*-образные лопасти; *4*, *5* — четные и нечетные тарелки соответственно; *6*, *7* — центральное и периферийное выгрузочное отверстие; *8* — вал; *9* — привод; *10* — перфорированный конус; *11* — шнековый питатель

Fig. 2. Unit of convective drying in the technological line of activated carbon production: I — pipeline; II — drying chamber; *1* — pipeline; *2* — gas blower; *3* — *S*-shaped blades; *4*, *5* — even and odd plates, respectively; *6*, *7* — the central and peripheral discharge holes; *8* — shaft; *9* — drive; *10* — perforated cone; *11* — screw feeder

Подготовленные 12 образцов из указанных пластин скрепляли под прессом заклепками, с торцов закрашивали. Комплекты образцов помещали в прогретую экспериментальную установку (см. рис. 3, *а*), обрабатывали сушильным агентом с температурой 235 °С при скорости теплоносителя 2 м/с и фиксировали текущую температуру в центре сечения образцов. Влажность внутри образцов определяли путем поочередного извлечения одного образца с каждого комплекта с интервалом 5 мин с дальнейшим взвешиванием контрольного шпона.

Отработанные топочные газы из пиролизной зоны (см. рис. 1) имеют температуру 250 °С и используются для пневмотранспортирования влажного вторичного сырья с начальной влажностью 60 %, от измельчителя в сушильную камеру (см. рис. 2). В результате тепловых потерь при пневмотранспортировании температура топочного газа снижается до 235 °С, поэтому при

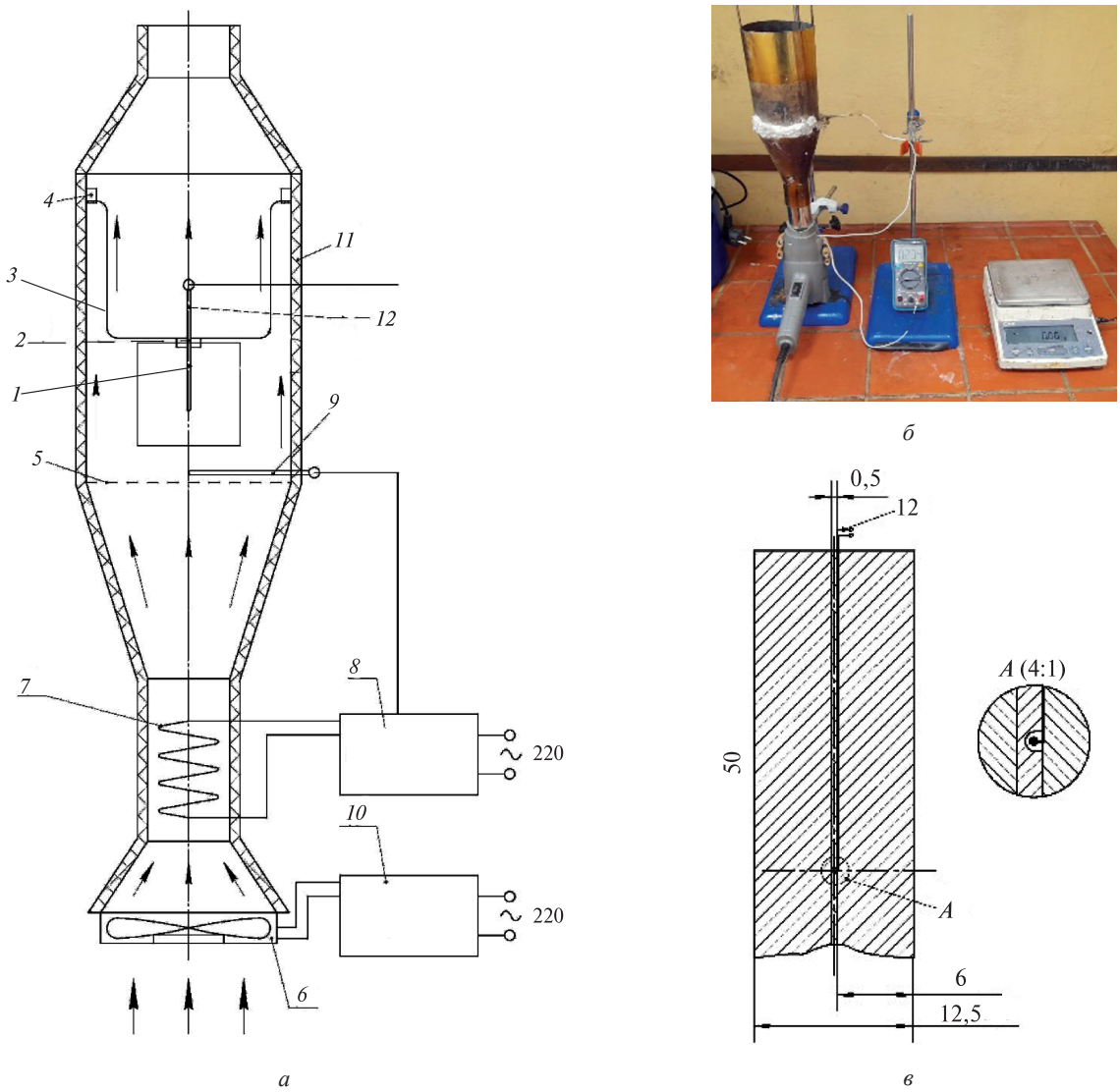


Рис. 3. Экспериментальная установка для исследования процесса конвективной сушки: *а* — схема; *б* — внешний вид; *в* — образец толщиной 4 мм: *1* — высушиваемый материал; *2* — держатель; *3* — пруток; *4* — захваты; *5* — перфорированное дно; *6* — вентилятор; *7* — электронагреватель; *8* — терморегулятор; *9* — термопара для измерения температуры сушильного агента; *10* — регулятор оборотов лопастей вентилятора; *11* — теплоизоляция; *12* — термопара для измерения температуры внутри образца

Fig. 3. Experimental unit to study the process of convective drying: *a* — scheme; *б* — external view; *в* — sample of 4 mm thickness: *1* — material to be dried; *2* — holder; *3* — rod; *4* — grips; *5* — perforated bottom; *6* — fan; *7* — electric heater; *8* — thermostat; *9* — thermocouple for measuring temperature of drying agent; *10* — fan blade speed controller; *11* — thermal insulation; *12* — thermocouple for measuring temperature inside sample

проведении экспериментального исследования температура сушильного агента составила 235 °С. Скорость теплоносителя 2 м/с определялась из априорной информации, исходя из расхода топочного газа и выбранного сечения сушильной камеры.

Математическое моделирование процесса конвективной сушки сыпучего вторичного сырья предполагает нахождение нестационарного поля влагосодержания сырья по сечению материала на основе решения системы дифференциальных уравнений тепломассопереноса, записанных для бесконечной пластины [9, 10]:

$$\frac{\partial U}{\partial \tau} = K\frac{\partial^2 U}{\partial x^2} + K\delta\frac{\partial^2 T}{\partial x^2}, \quad (3)$$

$$\frac{\partial T}{\partial \tau} = a_т\frac{\partial^2 T}{\partial x^2}, \quad (4)$$

где U — влажность высушиваемого материала, кг/кг;
τ — время, с;
K — коэффициент влагопроводности, м²/с;
δ — термоградиентный коэффициент, кг/(кг·K);
T — температура высушиваемого материала, °С;
$a_т$ — коэффициент температуропроводности, м/с²

Начальные условия системы дифференциальных уравнений тепломассопереноса задаются исходными значениями влажности U_{c_0} и температуры высушиваемого материала T_{c_0} [11]

$$U\left(x;0\right)=U_{c_0}; \quad (5)$$

$$T\left(x;0\right)=T_{c_0}. \quad (6)$$

Условия на границе высушиваемой частицы можно записать граничным условием 3-го рода и уравнением Фрейндлиха соответственно

$$-\lambda\frac{\partial T}{\partial x}\Big|_{x=0}=\alpha\left(T_{\text{т.г}}-T_{\text{п}}\right); \quad (7)$$

$$U(\tau;0)=U_{\text{п}}=a\varphi_{\text{г}}^{n}, \quad (8)$$

где λ — теплопроводность, Вт/м^2·°С;

α — коэффициент теплоотдачи, Вт/м^2·°С;

$T_{\text{т.г}}$ — температура топочного газа, °С;

$T_{\text{п}}$ — температура топочного газа на поверхности, °С;

$U_{\text{п}}$ — влогосодержание на поверхности, %;

a, n —экспериментальные коэффициенты;

$\varphi_{\text{г}}$ — влагосодержание топочного газа.

Схема краевых условий для решения системы дифференциальных уравнений тепломассопереноса представлена на рис 4.

Из краевых условий видно, что при конвективной сушке влага стремится к поверхности, а тепловой поток от сушильного агента — в глубь материала, оказывая сопротивление движению влаги.

Исходные данные для математического моделирования процесса сушки соснового шпона представлены в таблице [12].

Анализ литературных данных [13] показал, что коэффициент температуропроводности древесины зависит от его влажности (рис. 5).

Как следует из рис. 5, с уменьшением влажности древесины сосны коэффициент температуропроводности увеличивается и, как следствие, интенсифицируется процесс прогрева. Методом наименьших квадратов [14] было получено уравнение регрессии, установившее эту зависимость:

$$a_{\text{т}}=-6\cdot10^{-15}U^{3}+2\cdot10^{-12}U^{2}-2\cdot10^{-10}U+1{,}46\cdot10^{-7}. \quad (9)$$

Также анализ литературных данных показал что коэффициент влагопроводности зависит от температуры (рис. 6).

На основании графика, представленного на рис. 6, можно предположить, что по мере прогрева процесс удаления влаги ускоряется [15–18]. Кроме того, обработка линейной зависимости позволила получить уравнение регрессии:

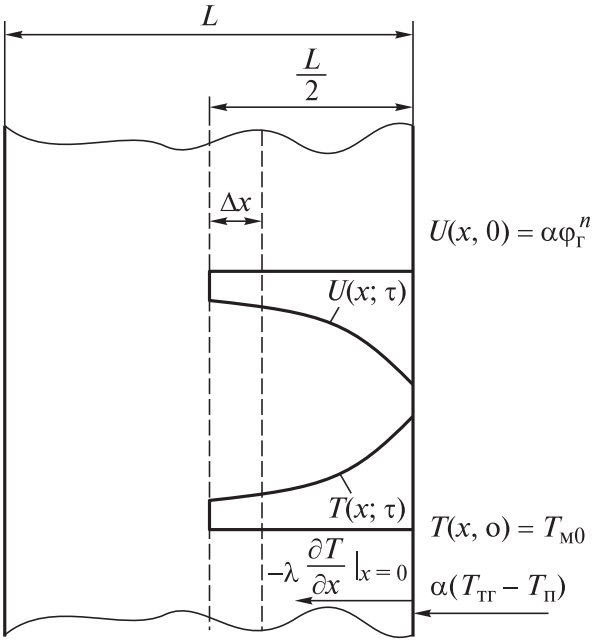


Рис. 4. Схема начальных и граничных условий конвективной сушки сыпучего вторичного сырья

Fig. 4. Scheme of initial and boundary conditions of convective drying of bulk secondary raw materials

Вводные параметры для математического моделирования процесса конвективной сушки соснового шпона

Input parameters for mathematical modeling of convective drying of pine peeled veneer

Исходные данные	Числовое значение
Шаг по координате Δx, м	0,006
Шаг по времени, Δτ, с	10
Коэффициент теплоотдачи, для ламинарного движения топочного газа α, Вт/м^2·°С	30
Термоградиентный коэффициент δ, кг/(кг·К)	0,05
Теплопроводность λ, Вт/м^2·°С	0,15
Коэффициент уравнения Фрейндлиха a	1,35
Коэффициент уравнения Фрейндлиха n	1

$$K=6{,}875\cdot10^{-14}\cdot T+0{,}375. \quad (10)$$

Полученные уравнения 9, 10 используются для расчета коэффициентов при математическом моделировании.

Результаты исследования

Получены расчетные и экспериментальные кривые температуры и влажности древесины сосны с начальной влажностью 60 % при сушке теплоносителем с температурой 235 °С и влажностью 5,3 % при скорости обтекания 2 м/с (рис. 7).

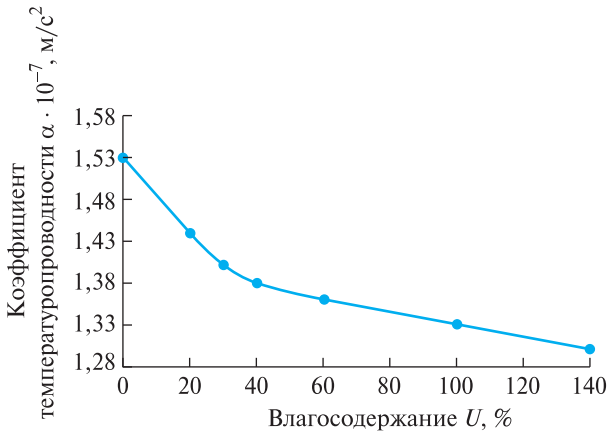


Рис. 5. Зависимость коэффициента температуропроводности древесины сосны от влажности

Fig. 5. Dependence of pine wood thermal conductivity coefficient on humidity

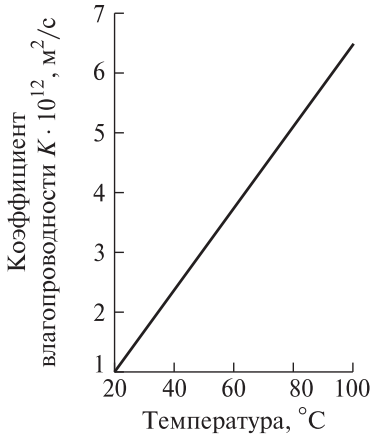


Рис. 6. Зависимость коэффициента влагопроводности от температуры шпона сосны

Fig. 6. Dependence of the coefficient of moisture conductivity on the temperature of pine peeled veneer

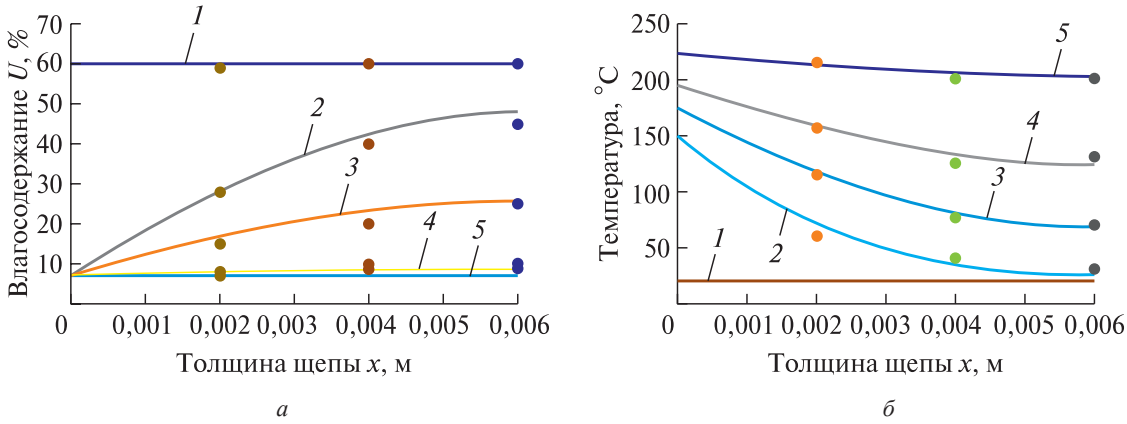


Рис. 7. Диаграмма влагосодержания (*а*) и температуры (*б*) соснового шпона: время τ, мин: *1* — 0; *2* — 5; *3* — 10; *4* — 15; *5* — 20

Fig. 7. Moisture content diagram (a) and temperature diagram (b) for pine veneer: time τ, min: *1* — 0; *2* — 5; *3* — 10; *4* — 15; *5* — 20

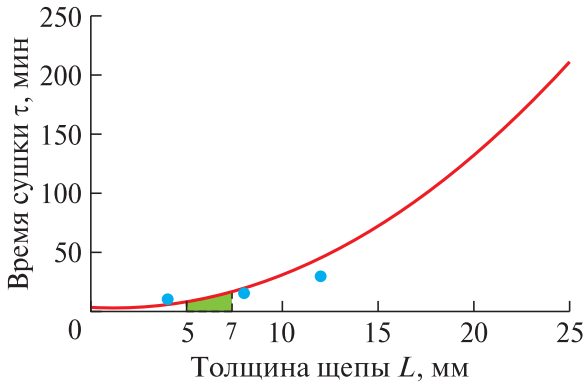


Рис. 8. Зависимость продолжительности процесса сушки от толщины древесных частиц

Fig. 8. Dependence of drying process duration on thickness of wood particles

С помощью метода конечных разностей с использованием языка визуального и объектно-ориентированного программирования Visual Basic for Applications.

Расхождение между расчетными и экспериментальными значениями не превышает 15 %, что позволяет моделировать процесс сушки вторичного сырья с помощью представленной модели.

Анализ температурных зависимостей (см. рис. 7, *б*) показывает, что через 15 мин температура поверхности образца достигает 180 °С и начинается переход от процесса сушки к процессу термомодификации с выделением горючих газов. В связи с этим через 15 мин, для сокращения выбросов продуктов разложения древесины следует понизить температуру теплоносителя до 180 °С, т. е. сырье с влажностью 60 % на верхней нечетной тарелке (см. рис. 2) не может находиться более 15 мин. Это приведет, в дальнейшем, к снижению градиента температуры, препятствующего движению влаги и повышению скорости локального изменения влажности материала [19–23].

На рис. 8 представлена зависимость продолжительности сушки древесины сосны от толщины частиц вторичного сырья.

Данная зависимость (см. рис. 8) позволяет определить рациональное время нахождения древесных отходов в зоне сушки и рекомендовать режимы сушки.

Анализ кривой показывает, что при толщине древесных частиц свыше 7 мм заметно увеличивается требуемое время сушки, поэтому удаление влаги в предлагаемой тарельчатой сушилке целесообразно проводить при толщине вторичного сырья в пределах 5…7 мм.

Результаты моделирования позволяют рекомендовать режимы сушки вторичного сырья в виде древесных отходов на технологической линии по производству активированного угля и конструктивные размеры аппаратурного оформления зоны сушки. Установлено, что при сушке древесных отходов толщиной менее 5 мм можно использовать высокотемпературный режим удаления влаги с температурой сушильного агента более 250 °С. При толщине вторичного сырья более 7 мм целесообразно применять сушильный агент с температурой менее 250 °С [24–27].

Выводы

В результате моделирования процесса конвективной сушки древесного сырья в технологической линии производства активированного угля, установлена возможность использования отработанного топочного газа из пиролизной камеры для предварительного обезвоживания влажного вторичного сырья. При этом время его нахождения на первой нечетной тарелке сушильной камеры определяется размерами измельченных частиц и не должно превышать 15 мин. Разработанную конструкцию тарельчатой сушильной камеры целесообразно использовать при толщине измельченного сырья в пределах 5…7 мм, при толщине частиц более 7 мм рекомендуется применение сушилок шахтного типа.

Исследование выполнено за счет гранта Российского научного фонда № 23-26-00036, https://rscf.ru/project/23-26-00036/

Список литературы

[1] Сафин Р.Г. Пирогенетическая переработка органических отходов. Казань: Изд-во КНИТУ, 2022. 104 с.

[2] Загиров А.Н., Сотников В.Г., Сафин Р.Г. Переработка органических отходов в пиролизное топливо. Казань: Изд-во КНИТУ, 2022. 92 с.

[3] Степанова Т.О. Пирогенетическая переработка древесных отходов в активированный уголь: дис. … канд. техн. наук: 05.21.03. Казань, 2021. 138 с.

[4] Патент № 2780782 Российская Федерация, МПК F23G 5/027 (2006.01), B09B 3/30 (2022.01), B09B 3/40 (2022.01), B09B 3/10 (2022.01). Способ переработки твердых бытовых отходов / Сафин Р.Г., Сотников В.Г., Хайруллин И.Ф., Родионов А.С., Ильясов И.Р., заявитель и патентообладатель ФГБОУ ВО «КНИТУ», № 2021138318; заявл. 22.12.2021; опубл. 30.09.2022, Бюл. № 28. 8 с.

[5] Патент № 2 783 823 Российская Федерация, МПК C10B 49/10 (2006.01) C10G 9/00 (2006.01) B01J 8/00 (2006.01). Установка для производства пиролизного топлива / Сафин Р.Г., Сотников В.Г., Загиров А.Н., Родионов А.С., Мифтахов Р.А.; заявитель и патентообладатель ФГБОУ ВО «КНИТУ», № 2021138320; заявл. 22.12.2021; опубл. 18.11.2022. Бюл. № 22. 7 с.

[6] Патент № 2 789 699 Российская Федерация, МПК C01B 32/324 (2017.01)C10B 53/00 (2006.01) Способ получения активированного угля / Сафин Р.Г., Сотников В.Г., Родионов А.С., Хайруллин И.Ф., Загиров А.Н.; заявитель и патентообладатель ФГБОУ ВО «КНИТУ», № 2021135547; заявл. 03.12.2021; опубл. 07.02.2023. Бюл. № 4. 9 с.

[7] Гороховский А.Г. Аналитическое определение величины параметров влагопереноса при сушке древесины // Хвойные бореальной зоны, 2018. № 4. С. 344–349.

[8] Лыков М.В. Сушка в химической промышленности. М.: Химия, 1970. 423 с.

[9] Хасаншин Р.Р. Термическое модифицирование древесного наполнителя в производстве композиционных материалов: дис. … д-ра техн. наук: 05.21.05. Казань, 2020. 424 с.

[10] Максименко В.А., Евдокимов В.С., Калита В.С. Разработка метода низкотемпературной сушки древесины // Техника и технология нефтехимического и нефтегазового производства: Материалы 10-й Междунар. науч.-техн. конф., Омск, 26–29 февраля 2020 г. Омск: Изд-во ОмГТУ, 2020. С. 176–77.

[11] Кантышев А.В., Колесников Г.Н. Продолжительность и скорость конвективной сушки древесины осины / Повышение эффективности лесного комплекса // Материалы V Всерос. нац. науч.-практ. конф. с междунар. участием, Петрозаводский государственный университет, 22 мая 2019 г. Петрозаводск: Изд-во ПетрГУ, 2019. С. 45–47.

[12] Брагин Д.М., Позолотин А.П., Будин А. Г. Продолжительность и скорость конвективной сушки древесины осины // Общество. Наука. Инновации (НПК–2018): Сб. статей XVIII Всерос. науч.-практ. конф.: в 3 т., Киров, Вятский государственный университет, 02–28 апреля 2018 г. Киров: Изд-во Вятского ГУ, 2018. С. 1173–1176.

[13] Платонов А.Д., Платонова А.С. Особенности нестационарного теплообмена в термохимически обработанной древесине // Актуальные направления научных исследований XXI века: теория и практика, 2015. Т. 3. № 7-2 (18-2). С. 349–353.

[14] Башкинова Е.В., Егорова Г.Ф., Заусаева А.А. Численные методы и их реализация в Microsoft Excel. Ч. 1: Лабораторный практикум по информатике. Самара: Изд-во Самарского ГТУ, 2009. 44 с.

[15] Пономарев В.С., Кашеварова Г.Г. Численное моделирование процесса сушки древесины // Современные технологии в строительстве. Теория и практика, 2022. Т. 1. С. 429–434.

[16] Гороховский А.Г., Шишкина Е.Е. Аналитическое определение величины параметров влагопереноса при сушке древесины // Хвойные бореальной зоны, 2018. Т. 36. № 4. С. 344–349.

[17] Костарев С.Н., Середа Т.Г. Безопасные технологии управления сушкой древесины // Экология и безопасность в техносфере: современные проблемы и пути решения: Сб. тр. Всерос. науч.-практ. конф. молодых ученых, аспирантов и студентов, Юрга, Национальный

исследовательский Томский политехнический университет, Юргинский технологический институт, 22–24 ноября 2018 г. Юрга: Изд-во Национального исследовательского Томского политехнического университета, 2018. С. 75–79.

[18] Кантышев А.В., Колесников Г.Н. Моделирование сушки древесины ивы как биотоплива // Инновационные научные исследования: теория, методология, практика: Сб. статей XVII Междунар. науч.-практ. конф.: в 2 ч.; Пенза, 27 мая 2019 г. Ч. 1. Пенза: Наука и Просвещение, 2019. С. 185–188.

[19] Ампилогов В.А. Математическое моделирование процессов тепло-массопереноса при сушке древесины // Технические науки: проблемы и решения: Сб. статей по материалам LX Междунар. науч.-практ. конф., Москва, 17 мая 2022 года. Т. 5 (55). М.: Интернаука, 2022. С. 33–43. DOI 10.32743/2587862X.2022.5.55.338405

[20] Колесников Г.Н., Кантышев А.В., Зайцева М.И., Гаврилов Т.А., Никонова Ю.В. Конвективная сушка осиновых заготовок малой толщины: модель и эксперименты // Лесной вестник / Forestry Bulletin, 2019. Т. 23. № 3. С. 87–94. DOI: 10.18698/2542-1468-2019-3-87-94

[21] Гороховский А.Г., Шишкина Е.Е. Синтез оптимальной по быстродействию системы управления сушкой пиломатериалов // Системы. Методы. Технологии, 2021. № 1 (49). С. 98–103.

[22] Сычевский В.А. Моделирование технологического процесса конвективной сушки пиломатериалов // Изв. Национальной академии наук Беларуси. Сер. физ.-техн. наук, 2018. Т. 63. № 4. С. 424–434.

[23] Зайцева М.И., Никонова Ю.В., Колесников Г.Н. Моделирование изменений влажности древесины при атмосферной сушке // Ресурсосберегающие технологии, материалы и конструкции: Сб. статей по Материалам региональной науч.-практ. конф., Петрозаводск, 30 апреля 2020 г. Петрозаводск: Петропресс, 2020. С. 11–14.

[24] Панова Т.В., Панов М.В. Теоретическое обоснование температурного поля в сушилке шахтного типа // Вклад науки и практики в обеспечение продовольственной безопасности страны при техногенном ее развитии: сб. науч. тр. Междунар. науч.-практ. конф., Брянск, 18–19 марта 2021 г. Брянск: Изд-во Брянского государственного аграрного университета, 2021. С. 148–152.

[25] Голубкович А.В., Чижиков А.Г., Машковцев М.Ф. Сушилки шахтного типа производства ПНР. М.: Россельхозиздат, 1986. 46 с.

[26] Куцов С.В., Куцова А.Е., Саранов И.А., Ветров А.В. Усовершенствование конвективной сушилки шахтного типа // Вестник Евразийского технологического университета, 2018. № 3(32). С. 19–24.

[27] Гаврилова В.Е. Сушка зерна в сушилках шахтного и барабанного типа // В мире научных открытий: матер. II Междунар. студ. науч. конф., Ульяновск, 23–24 мая 2018 года. Т. III. Ч. 1. Ульяновск: Ульяновский государственный аграрный университет им. П.А. Столыпина, 2018. С. 115–117.

Сведения об авторах

Сафин Рушан Гареевич — д-р техн. наук, профессор, зав. кафедрой переработки древесных материалов ФГБОУ ВО «Казанский национальный исследовательский технологический университет» (КНИТУ), safin@kstu.ru

Родионов Алексей Сергеевич✉ — инженер кафедры переработки древесных материалов ФГБОУ ВО «Казанский национальный исследовательский технологический университет» (КНИТУ), rodionov2014@bk.ru

Сотников Виктор Георгиевич — аспирант кафедры переработки древесных материалов ФГБОУ ВО «Казанский национальный исследовательский технологический университет» (КНИТУ), vcvcvc12345678@gmail.com

Зиатдинова Диляра Фариловна — д-р техн. наук, профессор кафедры переработки древесных материалов ФГБОУ ВО «Казанский национальный исследовательский технологический университет» (КНИТУ), Ziatdinova2804@gmail.com

Тимербаев Наиль Фарилович — д-р техн. наук, профессор кафедры переработки древесных материалов ФГБОУ ВО «Казанский национальный исследовательский технологический университет» (КНИТУ), cpekgeu@gmail.ru

Поступила в редакцию 14.02.2023.
Одобрено после рецензирования 22.03.2023.
Принята к публикации 25.05.2023.

MATHEMATICAL MODELING OF SECONDARY RAW MATERIALS DRYING PROCESS IN ACTIVATED CARBON PRODUCTION LINE

R.G. Safin, A.S. Rodionov✉, V.G. Sotnikov, D.F. Ziatdinova, N.F. Timerbayev

Kazan National Research Technological University, 68, K. Marx st., Kazan, Republic of Tatarstan, Russia

rodionov2014@bk.ru

Mathematical modeling of the convective drying process for the activated carbon production line, which is an effective and inexpensive adsorbent, is presented. At the Department of Wood Materials Processing of Kazan National Research Technological University (KNITU), a pyrogenetic processing unit for secondary raw materials into activated carbon was developed. An important stage in the preparation of raw materials for thermal processing is its drying, which reduces the energy costs of heating the material. To identify the optimal technological parameters of the convective drying process, numerical mathematical modeling of changes in the moisture content and temperature of wood particles was carried out by solving a system of heat and mass transfer equations recorded for an infinite plate. Dynamic curves of temperature and humidity of the material have been obtained, which will allow us to recommend technological parameters for the installation. The approbation of the mathematical.

Keywords: pyrolysis, secondary raw materials, activated carbon, drying, modeling, convective heat and mass transfer

Suggested citation: Safin R.G., Rodionov A.S., Sotnikov V.G., Ziatdinova D.F., Timerbayev N.F. *Modelirovanie protsessa cushki vtorichnogo syr'ya v tekhnologicheskoy linii proizvodstva aktivirovannogo uglya* [Mathematical modeling of secondary raw materials drying process in activated carbon production line]. Lesnoy vestnik / Forestry Bulletin, 2023, vol. 27, no. 4, pp. 117–127. DOI: 10.18698/2542-1468-2023-4-117-127

References

[1] Safin R.G. *Pirogeneticheskaya pererabotka organicheskikh otkhodov* [Pyrogenetic processing of organic waste]. Kazan': KNRTU, 2022, 104 p.

[2] Zagirov A.N., Sotnikov V.G., Safin R.G. *Pererabotka organicheskikh otkhodov v piroliznoe toplivo* [Processing of organic waste into pyrolysis fuel]. Kazan': KNRTU, 2022, 92 p.

[3] Stepanova T.O. *Pirogeneticheskaya pererabotka drevesnykh otkhodov v aktivirovannyy ugol'* [Pyrogenetic processing of wood waste into activated carbon]. Dis. Cand. Sci. (Tech.) 05.21.03. Kazan′, 2021, 138 p.

[4] Pat. 2780782 Russian Federation, IPC F23G 5/027 (2006.01), B09B 3/30 (2022.01), B09B 3/40 (2022.01), B09B 3/10 (2022.01). *Sposob pererabotki tverdykh bytovykh otkhodov* [Method of processing solid domestic wastes], Safin R.G., Sotnikov V.G., Khairullin I.F., Rodionov A.S., Ilyasov I.R., applicant and patent holder FGBOU VO «KNRTU», no. 2021138318; dec. 12/22/2021; publ. 09/30/2022, bull. no. 28, 8 p.

[5] Pat. 2 783 823 Russian Federation, IPC C10B 49/10 (2006.01) C10G 9/00 (2006.01) B01J 8/00 (2006.01). *Ustanovka dlya proizvodstva piroliznogo topliva* [Installation for the production of pyrolysis fuel], Safin R.G., Sotnikov V.G., Zagirov A.N., Rodionov A.S., Miftakhov R.A.; applicant and patent holder FGBOU VO «KNRTU», no. 2021138320; dec. 12/22/2021; publ. 11/18/2022, bull. no. 22, 7 p.

[6] Pat. 2 789 699 Russian Federation, IPC C01B 32/324 (2017.01)C10B 53/00 (2006.01) *Sposob polucheniya aktivirovannogo uglya* [Method for producing activated carbon], Safin R.G., Sotnikov V.G., Rodionov A.S., Khairullin I.F., Zagirov A.N.; applicant and patent holder FGBOU VO «KNRTU», no. 2021135547; dec. 03.12.2021; publ. 02/07/2023, bull. no. 4, 9 p.

[7] Gorokhovskiy A.G. *Analiticheskoe opredelenie velichiny parametrov vlagoperenosa pri sushke drevesiny* [Analytical determination of the value of moisture transfer parameters during wood drying]. Khvoynye boreal'noy zony [Coniferous boreal zone], 2018, no. 4, pp. 344–349.

[8] Lykov M.V. *Sushka v khimicheskoy promyshlennosti* [Drying in the chemical industry]. Moscow: Chemistry, 1970, 423 p.

[9] Khasanshin R.R. *Termicheskoe modifitsirovanie drevesnogo napolnitelya v proizvodstve kompozitsionnykh materialov* [Thermal modification of wood filler in the production of composite materials]. Dis. Dr. Sci. (Tech.) 05.21.05. Kazan, 2020, 424 p.

[10] Maksimenko V.A., Evdokimov V.S., Kalita V.S. *Razrabotka metoda nizkotemperaturnoy sushki drevesiny* [Development of a method for low-temperature drying of wood]. Tekhnika i tekhnologiya neftekhimicheskogo i neftegazovogo proizvodstva: Materialy 10-y Mezhdunarodnoy nauchno-tekhnicheskoy konferentsii, Omsk, 26–29 fevralya 2020 goda. [Technique and technology of petrochemical and oil and gas production: Proceedings of the 10th International Scientific and Technical Conference], Omsk, February 26–29, 2020. Omsk: Publishing house of OmSTU, 2020, pp. 176–177.

[11] Kantyshev A.V., Kolesnikov G.N. *Prodolzhitel'nost' i skorost' konvektivnoy sushki drevesiny osiny / Povyshenie effektivnosti lesnogo kompleksa* [Duration and speed of convective drying of aspen wood. Improving the efficiency of the forest complex]. Materialy V Vserossiyskoy natsional'noy nauchno-prakticheskoy konferentsii s mezhdunarodnym uchastiem [Proceedings of the V All-Russian National Scientific and Practical Conference with International Participation], Petrozavodsk State University, May 22, 2019. Petrozavodsk: PetrGU, 2019, pp. 45–47.

[12] Bragin D.M., Pozolotin A.P., Budin A. G. *Prodolzhitel'nost' i skorost' konvektivnoy sushki drevesiny osiny* [Duration and speed of convective drying of aspen wood]. Obshchestvo. Nauka. Innovatsii (NPK–2018): Sbornik statey XVIII Vserossiyskoy nauchno-prakticheskoy konferentsii [Society. The science. Innovations (NPK-2018): Collection of articles of the XVIII All-Russian Scientific and Practical Conference], in 3 volumes, Kirov, Vyatka State University, April 02–28, 2018. Kirov: Vyatsky State University, 2018, pp. 1173–1176.

[13] Platonov A.D., Platonova A.S. *Osobennosti nestatsionarnogo teploobmena v termokhimicheski obrabotannoy drevesine* [Features of non-stationary heat transfer in thermochemically treated wood]. Aktual'nye napravleniya nauchnykh issledovaniy XXI veka: teoriya i praktika [Actual directions of scientific research of the XXI century: theory and practice], 2015, v. 3, no. 7-2 (18-2), pp. 349–353.
[14] Bashkinova E.V., Egorova G.F., Zausaeva A.A. *Chislennye metody i ikh realizatsiya v Microsoft Excel. Ch.1: Laboratornyy praktikum po informatike* [Numerical methods and their implementation in Microsoft Excel. Part 1: Laboratory workshop on informatics]. Samara: Samara GTU, 2009, 44 p.
[15] Ponomarev V.S., Kashevarova G.G. *Chislennoe modelirovanie protsessa sushki drevesiny* [Numerical modeling of wood drying process]. Sovremennye tekhnologii v stroitel'stve. Teoriya i praktika [Modern technologies in construction. Theory and Practice], 2022, vol. 1, pp. 429–434.
[16] Gorokhovskiy A.G., Shishkina E.E. *Analiticheskoe opredelenie velichiny parametrov vlagoperenosa pri sushke drevesiny* [Analytical determination of the value of moisture transfer parameters during wood drying]. Khvoynye boreal'noy zony [Coniferous boreal zone], 2018, v. 36, no. 4, pp. 344–349.
[17] Kostarev S.N., Sereda T.G. *Bezopasnye tekhnologii upravleniya sushkoy drevesiny* [Safe technologies for wood drying control]. Ekologiya i bezopasnost' v tekhnosfere: sovremennye problemy i puti resheniya: sb. tr. Vserossiyskoy nauchno-prakticheskoy konferentsii molodykh uchenykh, aspirantov i studentov [Ecology and safety in the technosphere: modern problems and solutions: Sat. tr. All-Russian scientific and practical conference of young scientists, graduate students and students, Yurga, National Research Tomsk Polytechnic University], Yurga Technological Institute, November 22–24, 2018. Yurga: National Research Tomsk Polytechnic University, 2018, pp. 75–79.
[18] Kantyshev A.V., Kolesnikov G.N. *Modelirovanie sushki drevesiny ivy kak biotopliva* [Modeling the drying of willow wood as a biofuel]. Innovatsionnye nauchnye issledovaniya: teoriya, metodologiya, praktika: sbornik statey XVII Mezhdunarodnoy nauchno-prakticheskoy konferentsii [Innovative scientific research: theory, methodology, practice: collection of articles of the XVII International Scientific and Practical Conference], 2 p, Penza, May 27, 2019 Part 1. Penza: Science and Education, 2019, pp. 185–188.
[19] Ampilogov V.A. *Matematicheskoe modelirovanie protsessov teplo-massoperenosa pri sushke drevesiny* [Mathematical modeling of heat and mass transfer processes during wood drying]. Tekhnicheskie nauki: problemy i resheniya: Sbornik statey po materialam LX mezhdunarodnoy nauchno-prakticheskoy konferentsii [Technical sciences: problems and solutions: Collection of articles based on the materials of the LX international scientific and practical conference], Moscow, May 17, 2022, vol. 5 (55). Moscow: Internauka, 2022, pp. 33–43. DOI 10.32743/2587862X.2022.5.55.338405
[20] Kolesnikov G.N., Kantyshev A.V., Zaitseva M.I., Gavrilov T.A., Nikonova Yu.V. *Konvektivnaya sushka osinovykh zagotovok maloy tolshchiny: model' i eksperimenty* [Convective seasoning of small thickness aspen workpieces: model and experiments]. Lesnoy vestnik / Forestry Bulletin, 2019, vol. 23, no. 3, pp. 87–94. DOI: 10.18698/2542-1468-2019-3-87-94
[21] Gorokhovskiy A.G., Shishkina E.E. *Sintez optimal'noy po bystrodeystviyu sistemy upravleniya sushkoy pilomaterialov* [Synthesis of a speed-optimal control system for drying lumber]. Sistemy. Metody. Tekhnologii. [Sistemy. Methods. Technologies], 2021, no. 1 (49), pp. 98–103.
[22] Sychevskiy V.A. *Modelirovanie tekhnologicheskogo protsessa konvektivnoy sushki pilomaterialov* [Simulation of the technological process of convective drying of sawn timber]. Izvestiya Natsional'noy akademii nauk Belarusi. Seriya fiziko-tekhnicheskikh nauk [Proceedings of the National Academy of Sciences of Belarus. Series of Physical and Technical Sciences], 2018, v. 63, no. 4, pp. 424–434.
[23] Zaytseva M.I., Nikonova Yu.V., Kolesnikov G.N. *Modelirovanie izmeneniy vlazhnosti drevesiny pri atmosfernoy sushke* [Modeling of changes in wood moisture during atmospheric drying]. Resursosberegayushchie tekhnologii, materialy i konstruktsii: sb. statey po materialam regional'noy nauchno-prakticheskoy konferentsii [Resource-saving technologies, materials and structures: coll. articles based on the materials of the regional scientific and practical conference[, Petrozavodsk, April 30, 2020. Petrozavodsk: Petropress, 2020, pp. 11–14.
[24] Panova T.V., Panov M.V. *Teoreticheskoe obosnovanie temperaturnogo polya v sushilke shakhtnogo tipa* [Theoretical substantiation of the temperature field in a shaft-type dryer]. Vklad nauki i praktiki v obespechenie prodovol'stvennoy bezopasnosti strany pri tekhnogennom ee razvitii: sb. nauchnykh trudov Mezhdunarodnoy nauchno-prakticheskoy konferentsii [Contribution of science and practice to ensuring the food security of the country with its technogenic development: Sat. scientific papers of the International Scientific and Practical Conference], Bryansk, March 18–19, 2021. Bryansk: Bryansk State Agrarian University, 2021, pp. 148–152.
[25] Golubkovich A.V., Chizhikov A.G., Mashkovtsev M.F. *Sushilki shakhtnogo tipa proizvodstva PNR* [Dryers of mine type of production of Poland]. Moscow: Rosselkhozizdat, 1986, 46 p.
[26] Kutsov S.V., Kutsova A.E., Saranov I.A., Vetrov A.V. *Usovershenstvovanie konvektivnoy sushilki shakhtnogo tipa* [Improvement of the shaft-type convective dryer]. Vestnik Evraziyskogo tekhnologicheskogo universiteta [Bulletin of the Eurasian Technological University], 2018, no. 3(32), pp. 19–24.
[27] Gavrilova V.E. *Sushka zerna v sushilkakh shakhtnogo i barabannogo tipa* [Drying of grain in dryers of shaft and drum type]. V mire nauchnykh otkrytiy: mater. II Mezhdunarodnoy studencheskoy nauchnoy konferentsii [In the world of scientific discoveries: mater. II International Student Scientific Conference], Ulyanovsk, May 23–24, 2018. T. III. Part 1. Ulyanovsk: Ulyanovsk State Agrarian University P.A. Stolypin, 2018, pp. 115–117.

The research was carried out at the expense of a grant from the Russian Science Foundation No. 23-26-00036, https://rscf.ru/project/23-26-00036/

Authors' information

Safin Rushan Gareevich — Dr. Sci. (Tech.), Professor, Head Department of Wood Materials Processing of Kazan National Research Technological University, safin@kstu.ru

Rodionov Aleksey Sergeevich✉ — Engineer, Department of Wood Materials Processing, Kazan National Research Technological University, rodionov2014@bk.ru

Sotnikov Viktor Georgievich, — pg. of the Department of Wood Materials Processing, Kazan National Research Technological University, vcvcvc12345678@gmail.com

Ziatdinova Dilyara Farilovna, — Dr. Sci. (Tech.), Professor, Department of Wood Materials Processing, Kazan National Research Technological University, Ziatdinova2804@gmail.com

Nail Farilovich Timerbayev — Dr. Sci. (Tech.), Professor, Department of Wood Materials Processing, Kazan National Research Technological University, cpekgeu@gmail.ru

Received 14.02.2023.
Approved after review 22.03.2023.
Accepted for publication 25.05.2023.

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

УДК 694.4
DOI: 10.18698/2542-1468-2023-4-128-136
Шифр ВАК 4.3.4

ПЕРСПЕКТИВЫ СТРОИТЕЛЬСТВА УНИКАЛЬНЫХ ЗДАНИЙ И СООРУЖЕНИЙ ИЗ ДРЕВЕСИНЫ

В.И. Запруднов[1], Н.Г. Серегин[2]✉, Н.И. Потехин[2]

[1]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
[2]ФГБОУ ВО «Национальный исследовательский Московский государственный строительный университет» (НИУ МГСУ), Россия, 129337, г. Москва, Ярославское ш., д. 26

SereginNG@mgsu.ru

Рассмотрены и проанализированы проекты масштабных деревянных зданий и сооружений. Охарактеризованы решения на основе деревянных конструкций, применяемых в масштабных проектах. Приведено описание наиболее востребованных для уникального строительства технологий производства деревянных конструкций. Сделан вывод о перспективах строительства уникальных зданий и сооружений из древесины.

Ключевые слова: уникальное здание или сооружение, древесина, деревянные конструкции, высотное здание, небоскреб, клееная древесина

Ссылка для цитирования: 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

В настоящее время в России большими темпами идет строительство зданий и сооружений. Широко развернуто строительство с применением древесины. В том числе разработаны и реализованы уникальные здания и сооружения из древесины. Уникальные здания и сооружения должны обладать хотя бы одной характеристикой, приведенной в таблице [1–5].

Характеристика уникальных зданий и сооружений

Characteristics of unique buildings and structures

Характеристика	Значение
Высота, м	>100
Заглубление подземной части, м	>15
Строительный объем, тыс. м^3	>100
Одновременное пребывание посетителей, чел.	>500
Величина пролета, м	>100
Наличие консоли, м	>20

Проектирование и строительство уникальных зданий и сооружений из древесины до недавнего времени воплощалось в основном в проектах малоэтажных зданий. Современные технологии раскрыли преимущества древесины перед железобетоном и металлом, что натолкнуло на мысль об использовании этого материала в качестве основного в строительстве уникальных зданий и сооружений. К основным преимуществам деревянных конструкций перед железобетонными и металлическими отнесены следующие:

– малая плотность материала, следовательно и меньший вес конструкций, что позволяет снизить затраты на устройство фундамента;
– относительная дешевизна строительства;
– высокая несущая способность конструкций;
– возможность замены отдельных конструктивных элементов без больших финансовых и трудовых затрат;
– высокая огнестойкость конструкций.

Благодаря специальным антисептическим и пожаростойким пропиткам, конструкции из древесины при возникновении пожара способны 2,5…3 ч сохранять прочность вплоть до обрушения.

Цель работы

Цель работы — оценка перспектив строительства деревянных уникальных конструкций на примерах как реализованных, так и нереализованных архитектурных работ.

Конструктивные решения уникальных зданий и сооружений из древесины

Рассмотрим самые яркие проекты применения древесина в зодчестве, и прежде всего предложение выдающегося русского инженера и изобретателя И.П. Кулибина (1735–1818) по созданию безопорного моста через р. Неву [6–10]. Предпосылкой для этого технического предложения стал единственный Исаакиевский наплавной (плашкоутный) мост, который в периоды ледохода и

© Автор(ы), 2023

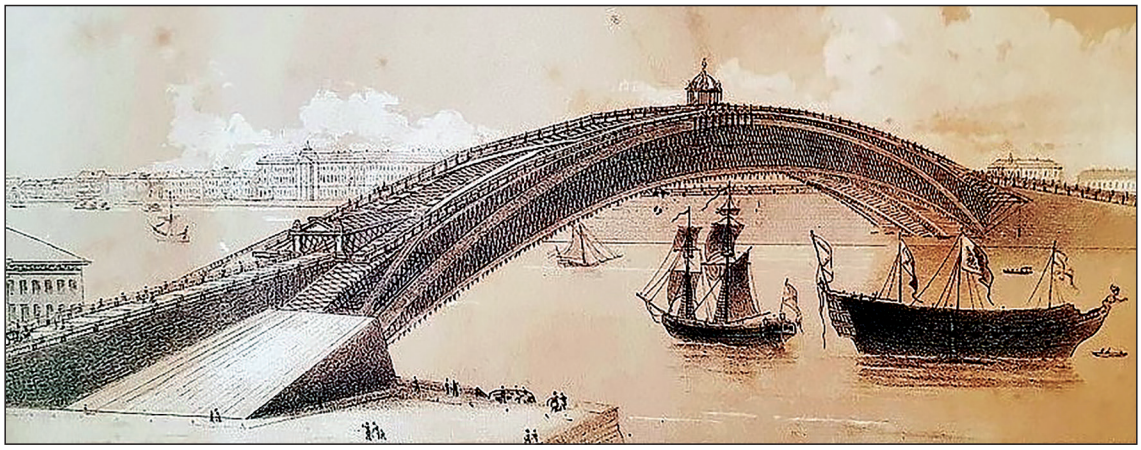


Рис. 1. Проект деревянного одноарочного моста И.П. Кулибина через р. Неву пролетом около 300 м
Fig. 1. The project of I.P. Kulibin's wooden single-arch bridge across the Neva with a span of about 300 meters

ледостава разводился на несколько недель, из-за чего жители были вынуждены переходить реку по льду или на лодках, что представляло большую опасность.

И.П. Кулибин решил создать одноарочный деревянный мост пролетом около 300 м. Технология строительства деревянных арочных мостов была хорошо известна русским мостостроителям, однако подобных масштабных проектов в практике мирового мостостроения не было. Проект Кулибина включал в себя три варианта моста, и какому из них отдать предпочтение сразу решить не мог. Со временем был выбран окончательный вариант, в котором основными несущими конструкциями сооружения были спаренные деревянные арки с ромбической решеткой по обеим сторонам проезжей части шириной 8,52 м (рис. 1).

Проект одноарочного моста Кулибина был холодно принят Императорской академией наук в Санкт-Петербурге как и всем научным сообществом. Тем не менее, И.П. Кулибин принял решение провести показательные экспериментальные исследования макета сооружения масштабом 1:10. Это макет имел длину 30 м и массу 5,4 т. Вначале на него поместили груз массой 54 т, с которым макет моста успешно справился. Тогда ученый увеличил нагрузку до 63,5 т, с чем конструкция также успешно справилась, простояв 28 сут.

Отметим, что именно И.П Кулибин впервые теоретически обосновал применение теории подобия, установив, что макеты, отличающиеся в несколько раз от натуральной величины, имеют кратно отличающиеся напряжения. Для обеспечения полного подобия необходимо было также кратно уменьшить воздействие на макет.

Современное деревянное строительство шагнуло далеко вперед от своих предшественников. Датская компания C.F. Møller Architecs в 2013 г. представила миру проект высотки Big Wood для возведения в Стокгольме, что подтверждает высказанное мнение Кулибина о подобии конструкций (рис. 2). Big Wood станет первым в мире деревянным небоскребом высотой в 34 этажа. Свой выбор в пользу древесины авторы проекта объяснили тем, что это традиционный для Швеции материал. Строительство высотки Big Wood планируется начать в 2023 г.

Проект предполагает лишь наличие фундамента и центрального ядра из железобетона. Остальные конструкции будут выполнены полностью из древесины, изготовленной заводским способом по соответствующим технологиям, а это обеспечит надежность. Вопрос с пожаростойкостью древесины авторы проекта планируют решить путем пропитки древесины специальными составами, устойчивыми к воздействию огня [11–13].

Основой несущего каркаса здания станут клееные деревянные конструкции.

Интересной особенностью данного проекта является его планировка. С 3-го по 20-й этаж будет размещено по четыре квартиры. На этажах, расположенных выше, площадь квартир будет постепенно уменьшаться, а освободившееся место использоваться для открытых озелененных террас. Кроме них каждая квартира в доме получит полностью остекленную лоджию. Вопрос с энергоснабжением здания авторы проекта решили путем размещения на кровле солнечных панелей.

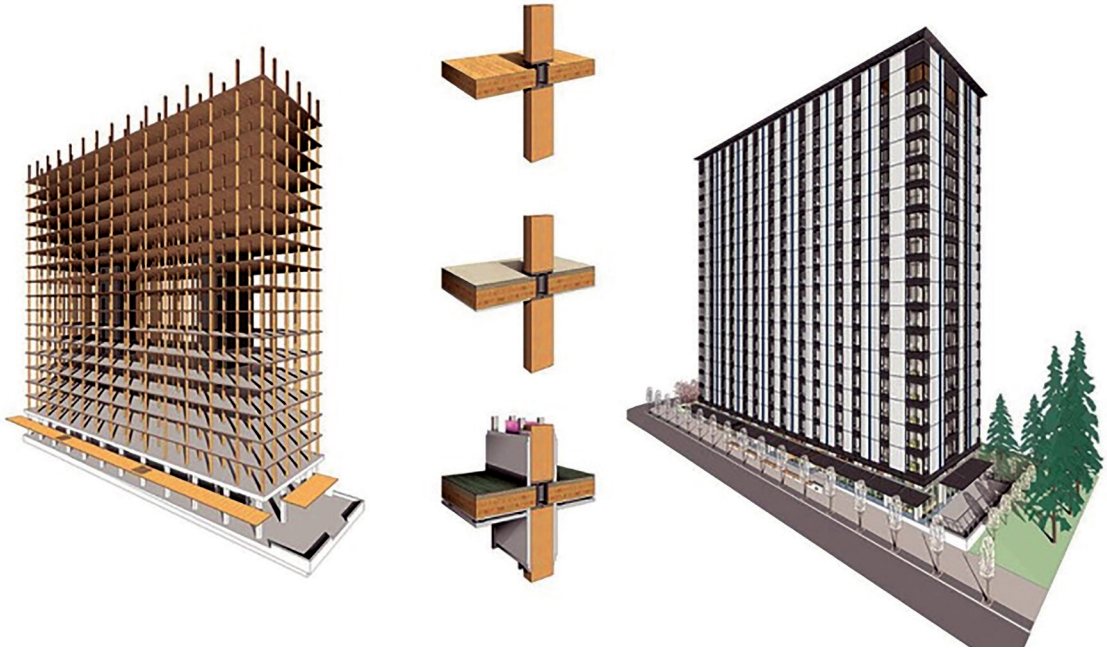
Японские архитекторы из компании Nikken Sekkei отличились еще больше, представив миру проект 70-этажного небоскреба, который будет возведен исключительно с применением древесины (рис. 3) в Токио. Высота небоскреба составит 350 м и он будет вмещать жилые помещения, магазины, офисы и гостиницу.

Рис. 2. Проект деревянной высотки Big Wood в Стокгольме высотой в 34 этажа
Fig. 2. The project of a wooden high-rise Big Wood in Stockholm with a height of 34 floors

Рис. 3. Проект деревянного небоскреба в центре г. Токио высотой 350 м
Fig. 3. The project of a wooden skyscraper in the center of Tokyo with a height of 350 meters

По оценке архитекторов, на возведение здания затратят 200 тыс. м^3 древесины, что будет способствовать снижению выбросов диоксида углерода в атмосферу примерно на 2800 т. в год, что, несомненно, повысит экологичность городской среды Токио. Именно на это рассчитывают создатели проекта такого небоскреба из древесины [14–19].

Планируется большое остекление как внутри здания, так и на фасадах, что позволит «залить» внутреннее пространство естественным светом. Пожаростойкость небоскреба будет обеспечена пропиткой древесины специальными огнестойкими составами при производстве конструкций.



а *б* *в*

Рис. 4. Конструкция деревянного общежития Brock Commons в Канаде высотой в 17 этажей: *а* — каркас здания; *б* — конструктивные узлы; *в* — общий вид общежития

Fig. 4. The construction of a Brock Commons wooden dormitory in Canada with a height of 17 floors: *а* —the frame of the building; *б* — structural components; *в* — the general view of the dormitory

Реализованные проекты уникальных зданий и сооружений из древесины

Для изучения конструкций, используемых в строительстве масштабных сооружений из древесины, рассмотрим несколько реализованных проектов.

Современной истории строительства известно немалое количество внедренных масштабных проектов с использованием деревянных конструкций. Одним из них является студенческое общежитие Brock Commons в Канаде (рис. 4). Данный проект имеет несколько особенностей. Это не элитная жилая и коммерческая недвижимость, а проект университетского общежития, перед авторами которого была поставлена задача снижения затрат на строительство. Поэтому было принято решение разработать проект с гибридной конструкцией: нулевой цикл и цокольный этаж — железобетонные; межэтажные перекрытия 17 этажей — деревянный клееный брус и CLT-панели; конструкции крыши и кровли — металлические.

Основной каркас общежития формируют деревянные колонны из клееного бруса с предусмотренными узлами быстрого соединения. Перекрытия выполняются из CLT-панелей (пятислойной перекрестно-клееной древесины) с габаритами 2,85×4,0 м. Такая конструкция позволяет надежно выдерживать и распределять нагрузку от расположенных выше этажей и передавать ее на железобетонные конструкции нулевого цикла.

Стены здания формируются из готовых монтажных элементов — фасадных панелей с установленными на заводе-изготовителе окнами. Панель представляет собой деревянную конструкцию габаритами 8×2,81 м с заполнением стекловолоконными плитами и обшивкой из древесно-волокнистых плит высокого давления.

Рассмотрим подробнее технологию CLT. Это деревянная панель, изготовленная из расположенных перпендикулярно друг к другу и склеенных между собой слоев сплошного пиломатериала [20–25]. Эта технология открыла для древесины большие возможности в области уникального строительства, поскольку такие панели имеют высокую несущую способность и устойчивы к сейсмическим нагрузкам [26–29].

Перед непосредственным возведением здания общежития для отработки монтажа и проверки элементов конструкции был построен двухэтажный полномасштабный макет с установкой нескольких фасадных панелей, исследование которого подтвердило правильность выполнения проектных работ.

Здание из дерева приносит существенную пользу для окружающей среды, снижая выбросы диоксида углерода в атмосферу на 500 т. в год благодаря использованию древесины вместо железобетона и металла.

Рис. 5. Конструкция деревянной башни «Мьёс» в Норвегии высотой 85,4 м
Fig. 5. The construction of the wooden skyscraper Mies in Norway is 85.4 meters high

В целом, данный проект служит наглядным доказательством успешного применения древесины в подобных проектах.

Самым высоким на планете деревянным зданием является башня «Мьёс» высотой 85,4 м (18 этажей), построенная за 11 мес., жилой площадью 11 300 м^2, которая расположена в норвежском г. Брумунддале на берегу оз. Мьёс, в 100 км к северу от г. Осло (рис. 5). Это местный центр лесной и деревообрабатывающей промышленности.

На площади 11 300 м^2 находятся жилые помещения и иные общественные пространства. Здание имеет каркасно-ствольную конструктивную систему и центральное ядро. Конструкция стен представляет собой каркас, обшитый древесиной, с утеплителем внутри. В конструкции перекрытий также использовался бетон. До 12-го этажа перекрытие покрывались ламинированным шпоном и 50 мм бетона для обеспечения лучшей акустики и снижения вибраций [30–34]. С 12-го по 18-й этаж использовались исключительно бетонные плиты, что обеспечило поддержание необходимой высоты, а также устойчивость к ветровым нагрузкам.

Рассмотренные примеры уникальных зданий и сооружений из древесины показывают, что древесина, наряду с такими строительными материалами, как камень, железобетон и металл, имеет значительные перспективы в строительной отрасли.

Выводы

1. Анализ проектов масштабных зданий и сооружений с применением деревянных конструкций, изготовленных по новым технологиям, показал их значительную перспективу в настоящем и будущем.

2. В проекте моста Кулибина деревянные конструкции в уменьшенной его модели продемонстрировали возможность их практического применения, а также послужили основанием для создания теории подобия.

3. Канадское общежитие Brock Commons, являющееся относительно новым сооружением, положило начало революции в использовании древесины в качестве основного материала в строительстве масштабных зданий и сооружений. Оно стало уникальным в своем роде объектом на время его возведения, и уже тогда многие инженеры стали задумываться о применении древесины в своих проектах.

4. Следующим в ступени так называемого «возрождения» деревянных конструкций стала

башня «Мьёс», которая и по сей день является самым высоким деревянным сооружением в мире, его высота составляет 85,4 м.

5. Мировое строительное сообщество не планирует останавливаться на достигнутом, доказательством чего служит проект шведской компании C.F. Møller architects под названием Big Wood, который станет первым небоскребом, построенным из дерева. Японские архитекторы из компании Nikken Sekkei превзошли остальные страны и представили свой проект 70-этажного небоскреба, высотой 350 м, который будет выполнен из деревянных конструкций.

6. Следовательно, можно утверждать высокую перспективность применения деревянных конструкций при строительстве. Развитие современных технологий обработки древесины и изготовления из нее конструкций способствует снижению их недостатков и расширению преимуществ по сравнению с железобетоном и металлом.

Список литературы

[1] Ашихина А.А., Исакова В.В., Никитина А.В. Защитная обработка деревянных конструкций // Глобальные вызовы развития естественных и технических наук. Сб. науч. тр. по материалам Междунар. науч.-практ. конф. Белгород, 29 ноября 2018 г. Белгород: Изд-во ООО «Агентство перспективных научных исследований», 2018. С. 132–135.

[2] Рябова В.И., Дериглазова Н.О., Чернышев А.А. Огнестойкость деревянных конструкций // Вестник КемРИПК, 2018. № 5. С. 61–66.

[3] Бабухин Д.А., Башкатов А.В., Пономарева Т.В. К вопросу применения композитных материалов на основе древесины // Образование. Наука. Производство: Материалы X Междунар. молодежного форума. Белгород, 01–15 октября 2018 г. Белгород: Изд-во БГТУ им. В.Г. Шухова, 2018. С. 669–672.

[4] Серегин Н.Г., Гиясов Б.И. Методика расчета производства клееного оконного бруса для строительных конструкций // Вестник МГСУ, 2016. Т. 12. Вып. 2 (101). С. 157–164.

[5] Разиньков Е.М. Прочность склеивания пиломатериалов в технологии клееного бруса для жилых домов // Лесотехнический журнал, 2016. № 3. С. 127–134.

[6] Попова З.В. CLT-панели: возможности и перспективы // Инвестиции, градостроительство, недвижимость как драйверы социально-экономического развития территории и повышения качества жизни населения. Томск, 01–04 марта 2022 г. Томск: Изд-во Томского государственного архитектурно-строительного университета, 2022. С. 374–380.

[7] Требакс Е.А. Использование уникальных свойств клееных деревянных панелей CLT в строительстве общественных зданий // Инновации в науке, 2017, № 10 (71). С. 68–69.

[8] Забегина А.Р. Особенности типологии современных зданий с использованием CLT панелей // Вестник Московского информационно-технологического университета – Московского архитектурно-строительного института, 2021, № 1. С. 37–43.

[9] Ключенко М.О. LVL-брус — конструкционный материал нового поколения // Современные тенденции в науке, технике, образовании: сб. науч. тр. по материалам IV Междунар. науч.-практ. конференции. Смоленск, 30 декабря 2018 года. Смоленск: б.и., 2018. С. 7–9.

[10] Коновалов М.А. Использование деревянных конструкций в качестве альтернативной замены железобетонным конструкциям в многоэтажном здании // Вестник Белгородского государственного технологического университета им. В.Г. Шухова. 2022. Т. 7. № 6. С. 17–24. https://doi.org/10.34031/2071-7318-2022-7-6-17-24

[11] Seregin N. An integrated way to improve the properties of soil-cement pile foundations // J. E3S Web of Conferences, 2020, no. 157, p. 06006.

[12] Seregin N.G. Feasibility for the implementation of cement piles // J. OP Conference Series: Materials Science and Engineering, 2020, no. 953, p. 012093.

[13] Unaibayev B.Z., Andreyachshenko V., Unaibayev B.B. Cast-in-situ piles encasements based on oil-bituminous rocks (kirs) in saline soils // Scientific Review Engineering and Environmental Sciences, 2021, t. 30, no. 1, pp. 51–61.

[14] Jin X., Wang T.-H., Cheng W.-C., Luo Y., Zhou A. A simple method for settlement evaluation of loess–pile foundation // Canadian Geotechnical J., 2019, t. 56, no. 11, pp. 1690–1699.

[15] Seregin N. Parametric Model of Cement Soil. In: Technological Advancements in Construction. Lecture Notes in Civil Engineering, 2022, vol. 180. Springer, Cham. https://doi. org/10.1007/978-3-030-83917-8-43.

[16] Sakai T., Nakano M. Interpretation of the mechanical behavior of embankments having various compaction properties based on the soil skeleton structure // Soils and Foundations, 2015, no. 55, pp. 1069–1085.

[17] Kumor Ł.A., Kumor M.K. Changes in mechanical parameters of soil, considering the effect of additional compaction of embankment // Transportation Research Procedia, 2016, no. 14, pp. 787–796.

[18] Ang J.B., Fredriksson P.G. Trade, Global Policy, and the Environment: New Evidence and Issues // J. of Comparative Economics, 2018, no. 46, pp. 616–633.

[19] Hong Z. Executive labor market segmentation: How local market density affects incentives and performance // J. of Corporate Finance, 2018, v. 50, pp. 1–21.

[20] Garmanov G., Urazaeva N. Design and Calculation of Cost Effectiveness of Various Types of Foundations in Central Russia // Procedia Engineering, 2015, v. 117, pp. 465–475.

[21] Baril G.L., Wright J.C. Different types of moral cognition: Moral stages versus moral foundations // Personality and Individual Differences, 2012, v. 53, iss. 4, pp. 468–473.

[22] Kong G., Cao T., Hao Y., Zhou Y., Ren L. Thermomechanical properties of an energy micro pile — raft foundation in silty clay // Underground Space, 2019, no. 6 (3), pp. 1–9.

[23] Li J., Wang X., Guo Y., Yu X. Vertical bearing capacity of the pile foundation with restriction plate via centrifuge modelling // Ocean Engineering, 2019, v. 181, pp 109–120.

[24] Santos R., Esquivel E. Saturated anisotropic hydraulic conductivity of a compacted lateritic soil // J. of Rock Mechanics and Geotechnical Engineering, 2018, v. 10, iss. 5, pp. 986–991.

[25] Lu Z., Xian Sh., Yao H., Fang R., She J. Influence of freeze-thaw cycles in the presence of a supplementary water supply on mechanical properties ofcompacted soil // Cold Regions Science and Technology, 2019, v. 157, pp. 42–52.

[26] Sakai T., Nakano M. Interpretation of the mechanical behavior of embankments having various compaction properties based on the soil skeleton structure // Soils and Foundations, 2015, v. 55, iss. 5, pp. 1069–1085.

[27] Kumor Ł.A., Kumor M.K. Changes in Mechanical Parameters of Soil, Considering the Effect of Additional Compaction of Embankment // Transportation Research Procedia, 2016, v. 14, pp. 787–796.
[28] Zhao R., Hui R., Liu L., Xie M., An L. Effects of snowfall depth on soil physical–chemical properties and soil microbial biomass in moss – dominated crusts in the Gurbantunggut Desert, Northern China // CATENA, 2018, v. 169, pp. 175–182.
[29] Zhang Q., Shao M., Jia X., Wei X. Changes in soil physical and chemical properties after short drought stress in semi-humid forests // Geoderma, 2019, v. 338, pp. 170–177.
[30] Kante N., Kryshchuk M., Lavendels J. Charged Particle Location Modeling Based Experiment Plan Acquisition Method // Procedia Computer Science, 2017, v. 104, pp. 592–597.
[31] Baraffe H.D., Cosson M., Bect J., Delille G., Francois B. A novel non-intrusive method using design of experiments and smooth approximation to speed up multi-period load-flows in distribution network planning // Electric Power Systems Research, 2018, v. 154, pp. 444–451.
[32] Hong Y., Wang Y., Wu J., Jiao L., Chang X. Developing a mathematical modeling method for determining the potential rates of microbial ammonia oxidation and nitrite oxidation in environmental samples // International Biodeterioration & Biodegradation, 2018, v. 133, pp. 116–123.
[33] Jayanudin J., Fahrurrozi M., Wirawan S.K., Rochmadi R. Mathematical modeling of the red ginger oleoresin release from chitosan-based microcapsules using emulsion crosslinking method // Engineering Science and Technology, 2019, v. 22, iss. 2, pp. 458–467.
[34] Stephenson C.L., Harris C.A. An assessment of dietary exposure to glyphosate using refined deterministic and probabilistic methods // Food and Chemical Toxicology, 2016, v. 95, pp. 28–41.

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@mgsu.ru

Потехин Никита Ильич — студент ФГБОУ ВО «Национальный исследовательский Московский государственный строительный университет» (НИУ МГСУ), potexin-2001@mail.ru

Поступила в редакцию 26.09.2022.
Одобрено после рецензирования 03.04.2023.
Принята к публикации 14.06.2023.

PROSPECTS FOR UNIQUE BUILDINGS CONSTRUCTION AND WOOD STRUCTURES

B.I. Zaprudnov[1], N.G. Seregin[2]✉, N.I. Potekhin[2]

[1]BMSTU (Mytishchi branch), 1, 1st Institutskaya st., 141005, Mytishchi, Moscow reg., Russia
[2]National Research Moscow State University of Civil Engineering, 26, Yaroslavl highway, 129337, Moscow, Russia

SereginNG@mgsu.ru

Projects of large-scale wooden buildings and structures are presented. The projects of buildings and structures erected using wood are analyzed. The main structural solutions based on wooden structures used in large-scale projects are considered. The most popular technologies for the production of wooden structures for unique construction are described. Based on the analysis of the projects of buildings and structures, it was concluded about the prospects for the construction of unique buildings and structures made of wood.
Keywords: unique building or structure, wood, wooden structures, high-rise building, skyscraper, glued wood

Suggested citation: 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

References

[1] Ashikhina A.A., Isakova V.V., Nikitina A.V. Protective treatment of wooden structures // Global challenges of the development of natural and technical sciences. Collection of scientific papers based on the materials of the International Scientific and Practical Conference in Belgorod on November 29, 2018: LLC «Agency for Advanced Scientific Research», 2018. pp. 132–135.
[2] Ryabova V.I., Deriglazova N.O., Chernyshev A.A. *Ognestoykost' derevyannykh konstruktsiy* [Fire resistance of wooden structures]. Bulletin of KemRIPK, 2018, no. 5, pp. 61–66.

[3] Babukhin D.A., Bashkatov A.V., Ponomareva T.V. *K voprosu primeneniya kompozitnykh materialov na osnove drevesiny* [To the question of the use of composite materials based on wood]. Obrazovanie. Nauka. Proizvodstvo: Materialy X Mezhdunarodnogo molodezhnogo foruma s mezhdunarodnym uchastiem [Education. The science. Production: Proceedings of the X International Youth Forum with international participation], Belgorod, October 01–15, 2018. Belgorod: Belgorod State Technological University V.G. Shukhova, 2018, pp. 669–672.
[4] Seregin N.G., Giyasov B.I. *Metodika rascheta proizvodstva kleenogo okonnogo brusa dlya stroitel'nykh konstruktsiy* [Methodology for calculating the production of glued window beams for building structures]. Vestnik MGSU, 2016, t. 12, iss. 2 (101), pp. 157–164.
[5] Razin'kov E.M. *Prochnost' skleivaniya pilomaterialov v tekhnologii kleenogo brusa dlya zhilykh domov* [Gluing strength of lumber in the technology of glued laminated timber for residential buildings]. Lesotekhnicheskiy zhurnal [Forestry Engineering Journal], 2016, no. 3, pp. 127–134.
[6] Popova Z.V. CLT-panels: opportunities and prospects // Investments, urban planning, real estate as drivers of socio-economic development of the territory and improvement of the quality of life of the population, Tomsk, Tomsk State University of Architecture and Civil Engineering Publishing House, March 01-04, 2022. pp. 374-380.
[7] Trebaks E.A. The use of the unique properties of glued wooden panels CLT in the construction of public buildings // Innovations in Science, No. 10 (71) 2017, Publishing House ANS «SibAK» pp. 68-69.
[8] Zabegina A.R. Typology features of modern buildings using CLT panels // Bulletin of the Moscow Information Technology University – Moscow Institute of Architecture and Construction, No. 1 2021, Moscow. pp. 37-43.
[9] Klyuchenko M.O. *LVL-brus — konstruktsionnyy material novogo pokoleniya* [LVL-beam — structural material of a new generation]. Sovremennye tendentsii v nauke, tekhnike, obrazovanii: sbornik nauchnykh trudov po materialam IV Mezhdunarodnoy nauchno-prakticheskoy konferentsii [Modern trends in science, technology, education: a collection of scientific papers based on the materials of the IV International Scientific and Practical Conference], Smolensk, December 30, 2018. Smolensk, 2018, pp. 7–9.
[10] Konovalov M.A. *Ispol'zovanie derevyannykh konstruktsiy v kachestve al'ternativnoy zameny zhelezobetonnym konstruktsiyam v mnogoetazhnom zdanii* [The use of wooden structures as an alternative replacement for reinforced concrete structures in a multi-storey building]. Vestnik Belgorodskogo gosudarstvennogo tekhnologicheskogo universiteta im. V.G. Shukhova [Bulletin of the Belgorod State Technological University V.G. Shukhov], 2022, v. 7, no. 6, pp. 17–24. https://doi.org/10.34031/2071-7318-2022-7-6-17-24
[11] Seregin N. An integrated way to improve the properties of soil-cement pile foundations. J. E3S Web of Conferences, 2020, no. 157, p. 06006.
[12] Seregin N.G. Feasibility for the implementation of cement piles. J. OP Conference Series: Materials Science and Engineering, 2020, no. 953, p. 012093.
[13] Unaibayev B.Z., Andreyachshenko V., Unaibayev B.B. Cast-in-situ piles encasements based on oil-bituminous rocks (kirs) in saline soils. Scientific Review Engineering and Environmental Sciences, 2021, t. 30, no. 1, pp. 51–61.
[14] Jin X., Wang T.-H., Cheng W.-C., Luo Y., Zhou A. A simple method for settlement evaluation of loess–pile foundation. Canadian Geotechnical J., 2019, t. 56, no. 11, pp. 1690–1699.
[15] Seregin N. Parametric Model of Cement Soil. In: Technological Advancements in Construction. Lecture Notes in Civil Engineering, 2022, vol. 180. Springer, Cham. https://doi. org/10.1007/978-3-030-83917-8-43.
[16] Sakai T., Nakano M. Interpretation of the mechanical behavior of embankments having various compaction properties based on the soil skeleton structure. Soils and Foundations, 2015, no. 55, pp. 1069–1085.
[17] Kumor Ł.A., Kumor M.K. Changes in mechanical parameters of soil, considering the effect of additional compaction of embankment. Transportation Research Procedia, 2016, no. 14, pp. 787–796.
[18] Ang J.B., Fredriksson P.G. Trade, Global Policy, and the Environment: New Evidence and Issues. J. of Comparative Economics, 2018, no. 46, pp. 616–633.
[19] Hong Z. Executive labor market segmentation: How local market density affects incentives and performance. J. of Corporate Finance, 2018, v. 50, pp. 1–21.
[20] Garmanov G., Urazaeva N. Design and Calculation of Cost Effectiveness of Various Types of Foundations in Central Russia. Procedia Engineering, 2015, v. 117, pp. 465–475.
[21] Baril G.L., Wright J.C. Different types of moral cognition: Moral stages versus moral foundations. Personality and Individual Differences, 2012, v. 53, iss. 4, pp. 468–473.
[22] Kong G., Cao T., Hao Y., Zhou Y., Ren L. Thermomechanical properties of an energy micro pile — raft foundation in silty clay. Underground Space, 2019, no. 6 (3), pp. 1–9.
[23] Li J., Wang X., Guo Y., Yu X. Vertical bearing capacity of the pile foundation with restriction plate via centrifuge modelling. Ocean Engineering, 2019, v. 181, pp 109–120.
[24] Santos R., Esquivel E. Saturated anisotropic hydraulic conductivity of a compacted lateritic soil. J. of Rock Mechanics and Geotechnical Engineering, 2018, v. 10, iss. 5, pp. 986–991.
[25] Lu Z., Xian Sh., Yao H., Fang R., She J. Influence of freeze-thaw cycles in the presence of a supplementary water supply on mechanical properties ofcompacted soil. Cold Regions Science and Technology, 2019, v. 157, pp. 42–52.
[26] Sakai T., Nakano M. Interpretation of the mechanical behavior of embankments having various compaction properties based on the soil skeleton structure. Soils and Foundations, 2015, v. 55, iss. 5, pp. 1069–1085.
[27] Kumor Ł.A., Kumor M.K. Changes in Mechanical Parameters of Soil, Considering the Effect of Additional Compaction of Embankment. Transportation Research Procedia, 2016, v. 14, pp. 787–796.
[28] Zhao R., Hui R., Liu L., Xie M., An L. Effects of snowfall depth on soil physical–chemical properties and soil microbial biomass in moss – dominated crusts in the Gurbantunggut Desert, Northern China. CATENA, 2018, v. 169, pp. 175–182.
[29] Zhang Q., Shao M., Jia X., Wei X. Changes in soil physical and chemical properties after short drought stress in semi-humid forests. Geoderma, 2019, v. 338, pp. 170–177.
[30] Kante N., Kryshchuk M., Lavendels J. Charged Particle Location Modeling Based Experiment Plan Acquisition Method. Procedia Computer Science, 2017, v. 104, pp. 592–597.

[31] Baraffe H.D., Cosson M., Bect J., Delille G., Francois B. A novel non-intrusive method using design of experiments and smooth approximation to speed up multi-period load-flows in distribution network planning. Electric Power Systems Research, 2018, v. 154, pp. 444–451.
[32] Hong Y., Wang Y., Wu J., Jiao L., Chang X. Developing a mathematical modeling method for determining the potential rates of microbial ammonia oxidation and nitrite oxidation in environmental samples. International Biodeterioration & Biodegradation, 2018, v. 133, pp. 116–123.
[33] Jayanudin J., Fahrurrozi M., Wirawan S.K., Rochmadi R. Mathematical modeling of the red ginger oleoresin release from chitosan-based microcapsules using emulsion crosslinking method. Engineering Science and Technology, 2019, v. 22, iss. 2, pp. 458–467.
[34] Stephenson C.L., Harris C.A. An assessment of dietary exposure to glyphosate using refined deterministic and probabilistic methods. Food and Chemical Toxicology, 2016, v. 95, pp. 28–41.

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 National Research Moscow State University of Civil Engineering, SereginNG@mgsu.ru

Potekhin Nikita Il'ich — Student of the National Research Moscow State University of Civil Engineering, potexin-2001@mail.ru

Received 26.09.2022.
Approved after review 03.04.2023.
Accepted for publication 14.06.2023.

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

УДК 546.47:661.7
DOI: 10.18698/2542-1468-2023-4-137-146
Шифр ВАК 4.3.4

УЛУЧШЕНИЕ ФИЗИКО-МЕХАНИЧЕСКИХ СВОЙСТВ НАТУРАЛЬНОЙ ДРЕВЕСИНЫ ДОПИРОВАНИЕМ НАНОЧАСТИЦАМИ ОКСИДА ЦИНКА

Н.А. Ходосова✉, Е.В. Томина, Л.А. Новикова, А.И. Дмитренков

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

nhodosova@mail.ru

Приведены результаты исследования влияния наночастиц ZnO в структуре натуральной древесины березы повислой на ее физико-механические свойства. Установлена возможность синтеза наноразмерных частиц ZnO в полостях древесины после активированного ультразвуком импрегнирования аморфного геля $Zn(OH)_2$ в древесину и последующего высушивания при температуре 110 °С. Выявлено, что допирование наноразмерным ZnO способствует гидрофобизации натуральной древесины березы. Показано, что влагопоглощение допированной ZnO древесины уменьшается в 4 раза, водопоглощение — на 30 %, разбухание в радиальном и тангенциальном направлениях — в 3,5 и 6 раз соответственно. Определено увеличение краевого угла смачивания в 3,5 раза.

Ключевые слова: древесина березы, золь-гель синтез, наночастицы, оксид цинка, краевой угол смачивания, водопоглощение, импрегнирование

Ссылка для цитирования: Ходосова Н.А., Томина Е.В., Новикова Л.А., Дмитренков А.И. Улучшение физико-механических свойств натуральной древесины допированием наночастицами оксида цинка // Лесной вестник / Forestry Bulletin, 2023. Т. 27. № 4. С. 137–146. DOI: 10.18698/2542-1468-2023-4-137-146

Древесина является возобновляемым природным материалом, который обладает уникальными свойствами. Такие природные факторы, как влага, температура, свет, разрушительно воздействуя на древесину, сильно снижают сроки эксплуатации произведенных из нее изделий. Максимально противостоять неблагоприятному действию окружающей среды и возникающим деструктивным процессам можно, используя древесину ценных твердых пород — дуба, ясеня и других, обладающих значительно более высокими физико-механическими свойствами. На их долю приходится 2,4 % общего запаса древесины в РФ, эти породы не являются быстрорастущими, тогда как потребность в древесине такого типа все возрастает. Древесина быстрорастущих пород деревьев характеризуется, как правило, малой плотностью и невысокой прочностью, содержит значительную долю ювенильной древесины, которая имеет худшие физико-механические свойства по сравнению со зрелой древесиной.

Остро стоит проблема вырубки лесов, неконтролируемое уничтожение которых приводит к частичному исчезновению отдельных видов флоры и фауны, снижению видового разнообразия, возникновению почвенной эрозии. Отсюда следует, что задача создания технологий, улучшающих характеристики древесных материалов и продлевающих срок службы изделий на основе натуральной древесины приобрела актуальность.

В этом отношении нанотехнологи могут предоставить перспективные альтернативные разработки новых и эффективных методов управления эксплуатационными характеристиками древесины. В нанометровом диапазоне измерений изменяются многие физические и химические свойства веществ по сравнению с объемными объектами, прежде всего за счет резкого увеличения поверхности и роста реакционной способности. В некоторых публикациях [1–4] подтверждается значительное повышение устойчивости древесины к набуханию (ASE), уменьшение водопоглощения, увеличение прочности и антимикробных свойств нанокомпозитов на основе древесины, придание древесине магнитных и супергидрофобных свойств за счет внедрения наноматериалов в природный полимер как матрицу.

В работе [5] указано, что в композитах на основе лиственных пород древесины, импрегнированных наночастицами серебра, повышается огнестойкость. Обработка древесных материалов из ели (*Picea abies*) растворами с наночастицами серебра способствует улучшению некоторых физико-механических свойств, в частности, отмечается возрастание упругости, прочности на изгиб (модуль разрыва) и устойчивости к ударным нагрузкам [6]. Пропитка образцов Павловнии (*Paulownia tomentosa*) водными растворами,

© Автор(ы), 2023

содержащими наночастицы серебра, меди и цинка, улучшает фунгицидные свойства последней [7]. Использование наноматериалов на основе цинка при обработке древесины способствуют увеличению продолжительного срока службы изделий из древесины [8, 9].

Особый интерес представляет синтез наночастиц внутри пор и капилляров древесины, позволяющий ограничить размер частиц размерами внутренних полостей древесины. Это открывает возможности получения композитов на основе древесины с качественно улучшенными функциональными характеристиками, в том числе огне- и биостойкостью, износостойкостью, прочностью, твердостью, гидрофобностью.

Цель работы

Цель работы — установление влияния синтезированных в полостях древесины березы повислой наноразмерных частиц ZnO на физико-механические свойства природного полимера

Материалы и методы

Поры древесины имеют размеры, позволяющие наночастицам легко проникать в структуры древесины, изменяя химический состав ее поверхности и улучшая физико-механические свойства. Капиллярно-пористая структура натуральной древесины может выступать как отличная матрица для синтеза наночастиц. Для синтеза наночастиц ZnO и изучения их влияния на свойства природного полимерного материала выбраны образцы древесины березы повислой (*Bétula péndula*).

Золь-гель синтез наночастиц оксида цинка в образцах древесины березы повислой. Существует множество методов синтеза наноразмерного оксида цинка, такие как механосинтез, метод соосаждения, микроэмульсионный метод, гидротермальный синтез, золь-гель синтез [10–16].

Золь-гель синтез нанообъектов относится к методам «мягкой химии». При проведении работ использовалась модифицированная по сравнению с предложенной нами ранее [17] методика синтеза наноразмерного ZnO. В качестве осадителя использовали 25%-й раствор аммиака в количестве, необходимом для полного осаждения катионов Zn^{2+} в соответствии с реакцией

$$Zn(NO_3)_2 + 2NH_4OH = Zn(OH)_2 + 2NH_4NO_3.$$

К 300 мл кипящей воды при перемешивании по каплям добавляли 20 мл 0,5 М раствора $Zn(NO_3)_2$. После введения соли кипячение продолжалось 3–5 мин. Полученный золь охлаждали до комнатной температуры, а затем к нему по каплям при перемешивании магнитной мешалкой добавляли 4 мл 0,5 М раствора аммиака, что позволяло остановить реакцию на стадии образования $Zn(OH)_2$, не допуская его перехода в растворимый комплекс. Образовавшийся гель перемешивали в течение 120 мин при температуре 70 °C. В некоторых работах [18, 19] указано, что многочасовое перемешивание аморфного геля $Zn(OH)_2$, осажденного из раствора нитрата цинка гидратом аммиака, приводит к образованию высокодисперсного кристаллического ZnO со средним размером частиц около 100 нм и удельной площадью поверхности 40 м^2/г без дополнительной стадии термообработки для термолиза гидроксида. В исследованиях перемешивание останавливали, не достигая полного перехода $Zn(OH)_2$ в ZnO.

Для характеристики наночастиц ZnO гелеобразный осадок высушивали до постоянной массы и отжигали на воздухе при температуре 240 °C в течение 2 ч. Размер и морфологию частиц определяли методом просвечивающей электронной микроскопии (просвечивающий электронный микроскоп CarlZeiss Libra-120). Гистограмму распределения частиц по размерам строили с использованием программы ImageJ, версия 1.53k.

Для синтеза наночастиц ZnO в древесине березы повислой использовали предварительно высушенные до абсолютно сухого состояния при температуре 103 °C образцы древесины размером 20×20 мм в радиальном и тангенциальном направлениях, высотой 10 мм вдоль волокон. Древесный материал на стадии гелеобразования после перемешивания в течение 120 мин при температуре 70 °C помещали в гель $Zn(OH)_2$ на 30 мин. Процесс заполнения гелем пор и капилляров березы активировали ультразвуковым излучением (ультразвуковая ванна ВУ-09-«Я-ФП»-0) в течение 25 мин. Затем образцы березы высушивали в сушильном шкафу 6 ч при температуре 110 °C.

Определение водопоглощения, влагопоглощения и набухания древесины. Для оценки гидрофобности полученного композитного материала были измерены влагопоглощение, водопоглощение и набухание древесины в тангенциальном и радиальном направлениях по методикам, представленным в работах [20, 21].

Определение краевого угла смачивания композитного материала водой. Краевой угол смачивания композита дистиллированной водой измеряли методом лежащей капли гониометром. Жидкость наносили на поверхность образцов микрошприцом объемом 0,01 мл. Изображение фиксировали портативной цифровой камерой (Ruihoge, производство Китай) сразу после нанесения капли и по прошествии 5 мин.

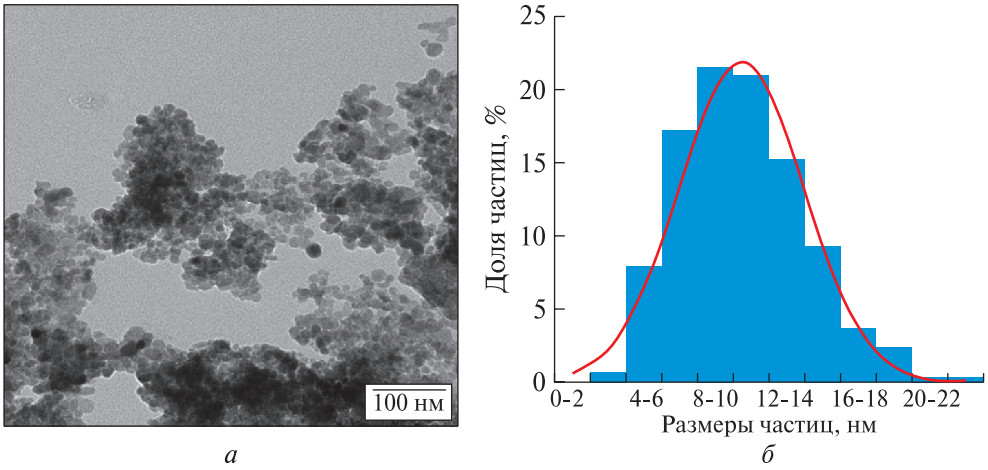


Рис. 1. ПЭМ-изображение (*а*) и гистограмма распределения (*б*) наночастиц ZnO по размерам

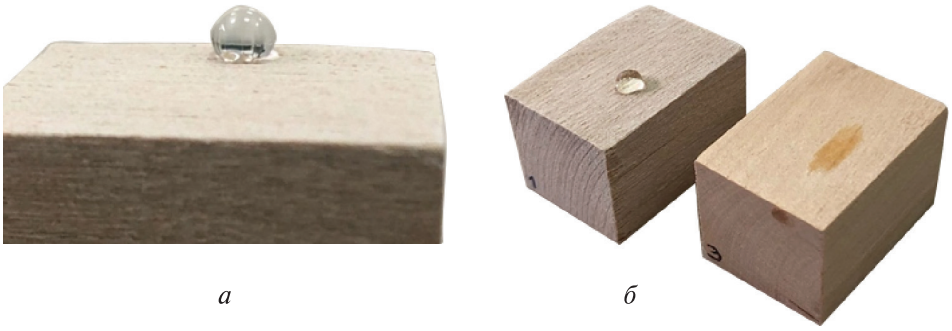


Рис. 2. Смачивание водой образцов композита на основе древесины березы: *а* — композит сразу после нанесения капли воды на поверхность; *б* — композит (слева) и образец природной древесины (справа) через 5 мин после нанесения капли воды

Результаты и обсуждение

Образовавшийся гель, в который помещали образцы древесины березы, представляет достаточно рыхлый аморфный $Zn(OH)_2$ с переменным содержанием воды. Этот гель по проводящим сосудам поступает в древесину и заполняет полости древесного материала. Наличие молекул воды способствует проникновению $Zn(OH)_2$ в образцы березы, поскольку древесина характеризуется высокой гидрофильностью. Активация ультразвуком способствует разрыхлению микроструктуры древесных клеток под действием ударной волны, возникающей при схлопывании кавитационных каверн [22–24]. Ультразвуковое излучение вызывает колебательные деформации стенок клеток и высокомолекулярных соединений в них, что может приводить к деструкции макромолекул, изменению молекулярной конформации, раздвижению фибриллярных рядов и разрыву водородных и межмолекулярных связей смежных волокон. Поэтому ультразвуковая активация облегчает проникновение геля $Zn(OH)_2$ в образцы древесины березы. При нагревании до 100 °C и выше $Zn(OH)_2$ теряет воду с разложением до ZnO [25, 26]. Авторами работы [27] подчеркивается, что нахождение $Zn(OH)_2$ в наноразмерном состоянии приводит к снижению температуры разложения $Zn(OH)_2$ (что в принципе является характерным свойством наноразмерного состояния вещества) и переходу его в оксид уже при температуре 70–100 °C.

Таким образом, диаметр и морфология наночастиц ZnO будут в значительной мере определяться размером и формой полостей натуральной древесины березы повислой. Наиболее вероятно, что образовавшиеся наночастицы ZnO удерживаются в образцах березы за счет взаимодействия высокореакционного поверхностного кислорода ZnO с функциональными группами компонентов древесины (например, OH-группами целлюлозы) с образованием водородных связей [28].

Для оценки размера и морфологии наночастиц ZnO, синтезируемых золь-гель методом под влиянием ультразвукового излучения, нанопорошок исследовали методом просвечивающий электронной микроскопии (рис. 1). Очевидно, что ультразвук способствует формированию ультрадисперсных частиц с формой, близкой к сферической. Размер преобладающей фракции частиц находится в интервале от 6 до 14 нм.

Анализ значений краевого угла смачивания воды на поверхности необработанной древесины

Показатели разбухания, влаго- и водопоглощения древесины березы повислой, %

Образец	Влагопоглощение		Водопоглощение		Разбухание в тангенциальном направлении	Разбухание в радиальном направлении
	1 сут	30 сут	1 сут	30 сут		
Натуральная древесина	12,1	27,5	53,0	98,3	1,35	1,59
Допированная ZnO древесина	3,3	18,2	29,0	69,1	4,70	10,00

березы и полученного композита (рис. 2) показывает, что присутствие наночастиц ZnO в сосудах древесины значительно повышает гидрофобные свойства ее поверхности. Краевой угол смачивания увеличивается с 30 до 105º. Через 5 мин после нанесения капли в природную древесину вода полностью впитывается, тогда как на поверхности допированной древесины капля сохраняется практически в неизменном виде (см. рис. 2, *б*).

Импрегнирование в полости природной древесины наноразмерного ZnO значительно снижает влаго- и водопоглощение образцов. Так, после 1 сут испытаний влагопоглощение (таблица) допированной ZnO древесины березы составляло 3,3 %, тогда как для натуральной древесины — 12,1 %. После 30 сут испытаний для композита этот показатель увеличивается до 18,2 %, а для древесины березы — до 27,5 %. Допирование природного полимера наноразмерным оксидом цинка снижает влагопоглощение древесины после 1 сут испытаний практически в 4 раза. С течением времени этот эффект уменьшается, оставаясь тем не менее ярко выраженным (см. таблицу). Водопоглощение допированной наночастицами ZnO древесины после 1 сут испытаний меньше на 32 % по сравнению с натуральной древесиной березы. После 30 сут испытаний эффективность действия ZnO практически не снижается и водопоглощение композита остается на 30 % ниже, чем у необработанной древесины.

Допирование образцов березы наночастицами оксида цинка позволяет уменьшить разбухание как в радиальном, так и в тангенциальном направлениях (см. таблицу). Максимальное разбухание композита ниже в 3,5 раза в тангенциальном и в 6 раз — в радиальном направлениях по сравнению с необработанной древесиной березы.

Выводы

Импрегнирование аморфного $Zn(OH)_2$ на стадии образования геля в древесину березы обеспечивает протекание реакции его разложения с образованием наночастиц ZnO. Ультразвуковая активация улучшает проникновение геля в древесные полости за счет увеличения площади поперечного сечения мелких сосудов, а также способствует формированию наночастиц ZnO с формой, близкой к сферической, размер фракции частиц — от 6 до 14 нм. Допирование образцов березы повислой способствует гидрофобизации ее поверхности — отмечается рост величины краевого угла смачивания, понижение влаго- и водопоглощения, что открывает новые возможности использования допированной наночастицами древесины.

Список литературы

[1] Cai T., Shen X., Huang E., Yan Y., Shen X., Wang F., Wang Z., Sun Q. Ag nanoparticles supported on MgAl-LDH decorated wood veneer with enhanced flame retardancy, water repellency and antimicrobial activity // Colloids and Surfaces A: Physicochemical and Engineering Aspects, 2020, v. 598, p. 124878. DOI:10.1016/j.colsurfa.2020.124878

[2] Xu L., Xiong Y., Dang B., Ye Z., Jin C., Sun Q., Yu X. In-situ anchoring of Fe3O4/ZIF-67 dodecahedrons in highly compressible wood aerogel with excel-lent microwave absorption properties // Materials & Design, 2019, v. 182, p. 108006. DOI:10.1016/j.matdes.2019.108006

[3] Qiu Z., Xiao Z., Gao L., Li J., Wang H., Wang Y., Xie Y. Transparent wood bearing a shielding effect to infrared heat and ultraviolet via incorporation of modified antimony-doped tin oxide nanoparticles // Composites Science and Technology, 2019, v. 172, pp. 43–48. DOI:10.1016/j.compscitech.2019.01.005

[4] Liu R., Liu X., Zhang Y., Liu J., Gong Ch., Dong Y., Li J., Shi J., Wu M. Paraffin Pickering Emulsion Stabilized with Nano-SiO2 Designed for Wood Impregnation // Forests, 2020, v. 11, p. 726. DOI:10.3390/f11070726

[5] Taghiyari H.R. Fire-retarding properties of nano-silver in solid woods // Wood Science and Technology, 2012, v. 46, pp. 939–952. DOI:10.1007/s00226-011-0455-6

[6] Rassam G., Ghofrani M., Taghiyari H.R. Mechanical performance and dimensional stability of nano-silver impregnated densified spruce wood // European J. of Wood and Wood Products, 2012, v. 70, pp. 595–600. DOI:10.1007/s00107-011-0590-7

[7] Akhtari M., Taghiyari H.R., Kokandeh M.G. Effect of some metal nanoparticles on the spectroscopy analysis of Paulownia wood exposed to white-rot fungus // European J. of Wood and Wood Products, 2013, v. 71, pp. 283–285. DOI:10.1007/s00107-013-0676-5

[8] Mantanis G.I., Terzi E., Kartal S.N., Papadopoulos A.N. Evaluation of mold, decay and termite resistance of pine wood treated with zinc and copper based nanocompounds // International Biodeterioration & Biodegradation, 2014, no. 90, pp.140–144. DOI:10.1016/j.ibiod.2014.02.010

[9] Reinprecht L.; Vidholdova Z. Biological resistance and application properties of particleboards containing nano-zinc oxide // Advances in Materials Science and Engineering, 2018, v. 2018, pp. 2680121. DOI:10.1155/2018/2680121

[10] Sendi R.K., Mahmud S. Quantum size effect on ZnO nanoparticle-based discs synthesized by mechanical milling // Applied Surface Science, 2012, v. 258, pp. 8026–8031.

[11] Wang Y., Li J., Hong R. Large scale synthesis of ZnO nanoparticles via homogeneous precipitation // J. of Central South University, 2012, v. 19, pp. 863−868.
[12] Udayakumar S., Renuga V., Kavitha K. Synthesis and characterization of Ni – doped ZnO by chemical precipitation method // International J. of Recent Scientific Research, 2012, v. 3, pp. 118–122.
[13] Altıntas O., Durucan Y.C. Synthesis of zinc oxide nanoparticles elaborated by microemulsion method // J. of Alloys and Compounds, 2010, v. 506, pp. 944–949.
[14] Geetha D., Thilagavathi T. Hydrothermal synthesis of nanoZnO structures from CTAB // Digest J. of Nanomaterials and Biostructures, 2010, v. 5, no. 1, pp. 297–301.
[15] Baruah S., Dutta J. Hydrothermal growth of ZnO nanostructures // Science and Technology of Advanced Materials, 2009, v. 10, p. 013001. DOI:10.1088/1468-6996/10/1/013001
[16] Bechelany M., Amin A., Brioude A., Cornu D., Miele P. ZnO nano-tubes by template-assisted sol–gel route // J. of Nanoparticle Research, 2012, v. 14, p. 980. DOI:10.1007/s11051-012-0980-8
[17] Tomina E.V., Pavlenko A.A., Dmitrenkov A.I, Neminushchaya S.A. Synthesis and properties of nanosized ZnO / wood composite // Kondensirovannye sredy i mezhfaznye granitsy = Condensed Matter and Interphases, 2021, v. 23, no. 4, pp. 578–584. DOI:10.17308/kcmf.2021.23/3677
[18] DhageaS.R., Pasrichab R. Synthesis of fineparticles of ZnO at 100 °C // J. Materials Letters, 2005, v. 59, pp. 779–781.
[19] Ciobanua G., Carjaa G. Structural, electrical and optical properties of thin ZnO films prepared by chemical precipitation // Superlattices and Microstructures, 2006, v. 39, pp. 328–333.
[20] Dmitrenkov A.I, Nikulin S.S., Nikulina N.S., Borovskaya A.M., Nedzelsky E.A. Study of the process of impregnating wood birches spent vegetable oil // Forest Journal, 2020, v. 10, no. 2, p. 161. DOI:10.34220 / issn .2222-7962/2020.2/16
[21] Nikulina N.S, Dmitrenkov A.I., Nikulin S.S. About the possibility of using 1 -vinylnaphthalene to modify natural wood // IOP Conference Series: Earth and Environmental Science, 2020, v. 595, pp. 012021. DOI:10.1088/1755-1315/595/1/012021
[22] Хмелев В.Н., Хмелев С.С., Голых Р.Н., Шалунов А.В. Ультразвуковая кавитационная обработка вязких и дисперсных жидких сред // Ползуновский Вестник, 2014. Т. 4. № 2. С. 110–115.
[23] Лангендорф Г., Айхлер Х. Облагораживание древесины. М.: Лесная пром-сть, 1982. 144 с.
[24] Антонова Г.Ф., Ольхов Ю.А., Коновалов Н.Т. Структурные изменения в древесине дуба под влиянием ультразвука // Химия растительного сырья, 2014. № 4. С. 77–84. DOI:10.14258/jcprm.201404312
[25] Qu X., Jia D. Synthesis of octahedral ZnO mesoscale superstructures via thermal decomposingoctahedral zinc hydroxide precursors // J. of Crystal Growth, 2014, v. 311, no. 4, pp. 1223–1228. DOI:10.1016/j.jcrysgro.2008.11.079
[26] Zhu Y., Zhou Y. Preparation of pure ZnO nanoparticles by a simple solid-state reaction method // Applied Physics A, 2008, v. 92, no. 2, pp. 275–278. DOI:10.1007/s00339-008-4533-z
[27] Николаева Н.С., Иванов В.В., Шубин А.А. Синтез высокодисперсных форм оксида цинка: химическое осаждение и термолиз // J. of Siberian Federal University. Chemistry, 2010, v. 2, pp. 153–173
[28] Matveev N.N., Nguyen H.T., Kamalova N.S., Evsikova N.Y., Chernykh A.S. The wood in the inhomogeneous temperature field: estimation of cellulose structure parameter fluctuations // St. Petersburg State Polytechnical University Journal. Physics and Mathematics, 2018, t. 11, no. 3, pp. 9–16.

Сведения об авторах

Ходосова Наталия Анатольевна✉ — канд. хим. наук, доцент ФГБОУ ВО «Воронежский государственный лесотехнический университет имени Г.Ф. Морозова», nhodosova@mail.ru

Томина Елена Викторовна — д-р хим. наук, зав. кафедрой химии ФГБОУ ВО «Воронежский государственный лесотехнический университет имени Г.Ф. Морозова», tomina-e-v@yandex.ru

Новикова Людмила Анатольевна — канд. хим. наук, доцент ФГБОУ ВО «Воронежский государственный лесотехнический университет имени Г.Ф. Морозова», yonk@mail.ru

Дмитренков Александр Иванович — канд. техн. наук, доцент ФГБОУ ВО «Воронежский государственный лесотехнический университет имени Г.Ф. Морозова», dmitrenkov2109@mail.ru

Поступила в редакцию 20.09.2022.
Одобрено после рецензирования 11.11.2022.
Принята к публикации 25.05.2023.

ENHANCEMENT OF PHYSICAL-MECHANICAL PROPERTIES OF NATURAL WOOD BY DOPING WITH NANOPARTICLES OF ZINC OXIDE

N.A. Khodosova✉, E.V. Tomina, L.A. Novikova, A.I. Dmitrenkov

Voronezh State University of Forestry and Technologies named after G.F. Morozov», 8, Timiryazeva st., 394087, Voronezh, Russia

nhodosova@mail.ru

The results of investigating the effect of ZnO nanoparticles in the structure of natural wood of silver birch on its physical-mechanical properties were presented. The possibility of synthesis of nanosized ZnO particles within the cavities of wood after ultrasound activated impregnation of an amorphous $Zn(OH)_2$ gel into wood and subsequent drying at 110 ºC was established. It was found out that doping with nanosized ZnO contributed hydrophobization of natural birch wood. It was observed that moisture absorbance of the wood doped with ZnO decreased in 4 times, water absorbance — by 30 % and swelling in radial and tangential directions — in 3,5 and 6 times correspondingly. An increase in the contact angle of wetting in 3,5 times was determined.

Keywords: wood of silver birch, sol-gel synthesis, nanoparticles, zinc oxide, contact angle, water absorption, impregnation

Suggested citation: Khodosova N.A., Tomina E.V., Novikova L.A., Dmitrenkov A.I. *Uluchshenie fiziko-mekhanicheskikh svoystv natural'noy drevesiny dopirovaniem nanochastitsami oksida tsinka* [Enhancement of physical-mechanical properties of natural wood by doping with nanoparticles of zinc oxide]. Lesnoy vestnik / Forestry Bulletin, 2023, vol. 27, no. 4, pp. 137–146. DOI: 10.18698/2542-1468-2023-4-137-146

Wood is a renewable natural material possessing a number of unique properties. However, the destructive effect of natural factors on wood (moisture, temperature, light) greatly reduces the service life of wood products. The wood of valuable hardwood species as oak, ash and others, possessing significant physical and mechanical properties, is capable of resisting, as much as possible, to the adverse effects of the environment and the resulting destructive processes. However, it accounts for only 2,4 % of the total wood stock in the Russian Federation and these tree species are not the fast growing ones, while the demand for this type of wood just has been increasing. The wood of fast-growing tree species, as a rule, has a low density and low strength. This wood contains a significant proportion of juvenile wood, which has poorer physical and mechanical properties as compared to mature wood.

The ecological problem of deforestation is urgent as ever. The uncontrolled destruction of forests leads to the disappearance of some species of flora and fauna, causes a decrease in species diversity, increases the content of the carbon dioxide in the atmosphere, and drives to soil erosion. Therefore, it is an actual task to develop technologies that improve the characteristics of wood materials and extend the service life of products based on natural wood. In this context, nanotechnology can provide promising alternatives for the elaboration of new and efficient methods for managing the performance of wood. In the nanometer range of measurements most of the physical and chemical properties of substances change, as compared to bulky objects, first of all, due to a sharp increase in the surface and the growth of reactivity. The number of papers [1–4] confirmed that introduction of nanomaterials into a natural polymer as a matrix, resulted in a significant increase of anti-swelling efficiency of wood, decreased its water absorption, raised the strength and antimicrobial properties of wood based nanocomposites, as well as imparting the magnetic and super hydrophobic properties to wood become possible. As shown in [5] the fire resistance of hardwood based composites increased after wood impregnation with silver nanoparticles. The treatment of wood materials made of spruce (*Picea abies*) with solutions containing silver nanoparticles improved some physical and mechanical properties, in particular, there was an increase in elasticity, bending strength (tensile modulus) and impact resistance observed [6]. The impregnation of Paulownia samples (*Paulownia tomentosa*) with aqueous solutions of silver, copper, and zinc nanoparticles improved fungicidal properties of the latter [7]. The use of zinc-based nanocompounds in wood processing extended the service life of wood products [8, 9].

It is of particular interest to synthesize nanoparticles within the pores and capillaries of wood, thus, allowing the particles size restraining by the size of internal cavities of wood. This opens up the possibility of obtaining wood-based composites with qualitatively improved functional characteristics, including the fire and bioresistance, wear resistance, strength, hardness and hydrophobicity.

The aim of the work was to ascertain the effect of nanosized ZnO particles synthesized within the cavities of silver birch wood on physical-mechanical properties of natural polymer.

Materials and methods

The size of wood pores allows easy penetration of small diameter nanoparticles into the wood structures, thereby changing the chemical composition of the surface and improving the physical and mechanical properties of wood. The capillary-porous structure of natural wood can act as an excellent matrix for the synthesis of nanoparticles in wood as in a nanoreactor. For the synthesis of ZnO nanoparticles and elucidation of their effect on the properties of natural polymer material, samples of wood of Silver birch (*Bétula péndula*) were selected.

Sol-gel synthesis of zinc oxide nanoparticles in the samples of Silver birch wood. There are many methods for the synthesis of nanosized zinc oxide, such as mechanosynthesis, coprecipitation method, microemulsion method, hydrothermal synthesis, sol-gel method [10–16].

Sol-gel synthesis of nano objects belongs to the methods of «soft chemistry». In this work, the proposed earlier in [17] procedure for the synthesis of nanosized ZnO was modified. For complete precipitation of Zn^{2+} cations in the form of $Zn(OH)_2$, according to the reaction equation, the solution of 25 % ammonia was used as a precipitant in the necessary amount.

$$Zn(NO_3)_2 + 2NH_4OH = Zn(OH)_2 + 2NH_4NO_3,$$

The synthesis procedure starts from the dropwise addition of 20 ml of a 0,5 M solution of $Zn(NO_3)_2$ into 300 ml of boiling water under stirring, keeping stirring for next 3–5 min. The resulting sol was cooled to room temperature, and then 4 ml of 0,5 M ammonia solution was added dropwise under stirring with a magnetic stirrer, which made it possible to stop the reaction at the stage of formation of zinc hydroxide, preventing its transition to a soluble complex. The resulting gel was stirred for 120 minutes at 70 °C.

It was found in a number of works [18, 19] that many hours of stirring of an amorphous gel of $Zn(OH)_2$ precipitated from a solution of zinc nitrate with ammonia hydrate leads to the formation of highly dispersed crystalline ZnO with an average particle size of about 100 nm and a specific surface area of 40 m^2/g without an additional step of heat treatment for thermolysis of hydroxide. In this work, the stirring was stopped before reaching the complete conversion of zinc hydroxide to oxide.

To characterize nanoparticles of zinc oxide, the gel-like residue was dried until the constant mass and annealed in the air at 240 °C for 2 hours. The size and morphology of particles was determined by means of transmission electron microscopy (transmission electron microscope CarlZeiss Libra-120). The histogram of particle size distribution was made using the program «ImageJ», version 1,53 k.

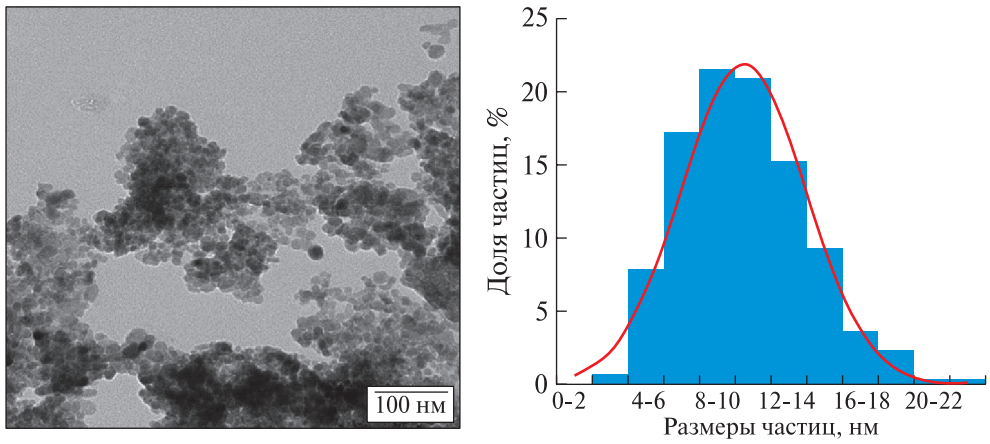
For the synthesis of zinc nanoparticles within the wood, the samples of birch wood, having dimensions 20×20 mm in radial and tangential directions and 10 mm in height along the fibers, were preliminary dried at 103 °C until the absolute dry state. The wood material was placed in zinc hydroxide gel for 30 minutes at the stage of gel formation after 120 minutes of mixing at 70 °C. The process of wood pore and capillaries filling with gel was activated by ultrasound (ultrasound bath VU-09-«Ya-FP»-0) for 25 min. After that, the samples were dried in the drying oven at 110 °C for 6 hours.

Determination of water absorption, moisture absorption and swelling of wood. To assess the hydrophobicity of the obtained composite material, moisture absorption, water absorption and swelling of wood in tangential and radial directions were determined according to procedures described in [20, 21].

Determination of contact angle of wetting of composite material by water. The contact angle of wetting of the composite with distilled water was measured by the sessile drop method using goniometer. The liquid was placed at the surface of the samples applying a 0.01 ml microsyringe. The image of the drop was fixed by a portable digital camera (Ruihoge, China) immediately after the drop application and after a 5 min later.

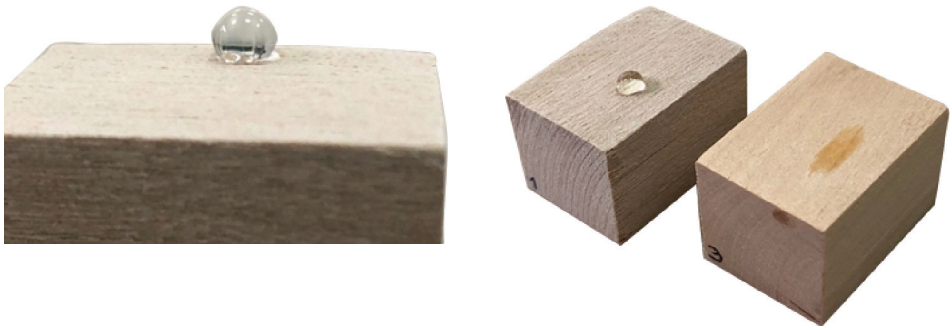
Results and discussion

The gel phase formed during synthesis, in which the samples of birch wood were immersed, represented a rather loose amorphous zinc hydroxide with varying water content. This gel entered the wood through the conductive vessels and filled the cavities of the wood material. The presence of water promoted penetration of $Zn(OH)_2$ into vicinity of birch sample, as wood has high hydrophobicity. Activation by ultrasound served to the loosening of the microstructure of wood cell under the action of a shock wave arisen from the collapse of the cavitation caverns [22–24]. The ultrasound irradiation causes oscillatory deformations of cell walls and highly molecular compounds in them that may results in a destruction of macromolecules, a change of molecular conformation, an expansion of fibrillar rows and in a disrupture of hydrogen and intermolecular bonds of adjacent fibers. Due to this, ultrasound activation facilitates penetration of zinc hydroxide gel into the sample of birch wood. By heating to 100 °C and above, $Zn(OH)_2$ loses water with decomposition to zinc oxide [25, 26]. The authors of [27] emphasized that the presence of zinc hydroxide in the nanosized state led to a decrease in the decomposition temperature of $Zn(OH)_2$ (which, in principle, is a characteristic property of the nanosized state of matter) and its transition to the oxide already at temperatures of 70–100°C.



a *b*

Fig. 1. TEM image (*a*) and histogram of size distribution (*b*) of ZnO nanoparticles



a *b*

Fig. 2. Wetting of the birch wood composite samples by water: *a* — composite sample immediately after the application of water drop; *b* — composite sample (left) and sample of natural wood (right) 5 min after the application of water drop

Indicators of swelling, moisture and water absorption of Silver birch wood samples, %

Sample	Moisture absorption		Water absorption		Swelling in tangential direction	Swelling in radial direction
	1 day	30 days	1 day	30 days		
Natural wood	12,1	27,5	53,0	98,3	1,35	1,59
Wood doped by ZnO	3,3	18,2	29,0	69,1	4,70	10,00

Thus, the diameter and morphology of ZnO nanoparticles are largely determined by the size and shape of the cavities of natural wood of Silver birch filled with hydrated $Zn(OH)_2$ gel. The most probable is that zinc oxide nanoparticles formed are retained in birch samples due to the interaction of highly reactive surface oxygen of ZnO with functional groups of wood components of a polar reactive O-ZnO surface with functional groups of wood components (for instance, OH-groups of cellulose) with the formation of hydrogen bonds [28].

To estimate the size and morphology of zinc oxide nanoparticles synthesized by the sol-gel method under the action of ultrasound irradiation, the nanopowder was studied by transmission electron microscope (Fig. 1). Apparently, the ultrasound contributes to formation of ultradispersed particles with a sphere like shape. The size of the predominant particle fraction was in the range from 6 to 14 nm.

The analysis of values wetting contact angle for water at the surfaces of untreated birch wood and the obtained composite (Fig. 2) illustrated a significant rise of the hydrophobic properties of wood surface due to the presence of zinc oxide nanoparticles within the wood vessels. The value of contact angle of wetting increased from 30 to 105°. After a 5 min interval next to the application of the drop to the natural wood sample, the water was completely absorbed, while on the surface of the doped wood the drop remained almost unchanged (Fig. 2, *b*).

The impregnation of nanosized zinc oxide into the cavities of natural wood caused a significant decrease of the moisture and water absorption of the samples. Thus, after 1 day of testing, moisture absorption of the sample of wood doped by ZnO was 3,3 %, whereas that for the natural wood — 12,1%. After 30 days of tests, the value of this indicator for the composite sample raised to 18,2 %, while for birch wood — to 27,5 %. The doping of natural polymer by nanosized zinc oxide reduced the moisture absorption of wood after 1 day of tests in 4 times. Although, this effect decreased over time, it remained, however, pronounced (Table). The water absorption of wood doped with ZnO nanoparticles after 1 day of testing was 32 % less than that of natural birch wood. After 30 days of testing, the efficiency of ZnO action practically did not decrease and the water absorption of the composite remained 30 % lower than that of untreated wood.

The doping of birch samples with zinc oxide nanoparticles made it possible to reduce the swelling of wood in both the radial and tangential directions (Table). The maximum swelling of the composite in the tangential and radial directions was correspondingly 3,5 and 6 times lower as compared to the untreated birch wood samples.

Conclusion

The impregnation of amorphous $Zn(OH)_2$ at the stage of gel formation into the birch wood ensures the reaction of its decomposition with the formation of ZnO nanoparticles. Ultrasound activation improves penetration of gel into wood cavities due to an increase in the cross-sectional area of small vessels, as well as contributes to formation of ZnO particles of sphere-like shape and size of the particle fraction of 6-14 nm. The doping of birch wood samples promotes hydrophobization of its surface that is confirmed by the increasing values of wetting contact angle, decreasing its moisture and water absorbance, and by this mean opens up new opportunities for the use of doped with nanoparticles wood.

References

[1] Cai T., Shen X., Huang E., Yan Y., Shen X., Wang F., Wang Z., Sun Q. Ag nanoparticles supported on MgAl-LDH decorated wood veneer with enhanced flame retardancy, water repellency and antimicrobial activity. Colloids and Surfaces A: Physicochemical and Engineering Aspects, 2020, v. 598, p. 124878. DOI:10.1016/j.colsurfa.2020.124878

[2] Xu L., Xiong Y., Dang B., Ye Z., Jin C., Sun Q., Yu X. In-situ anchoring of Fe3O4/ZIF-67 dodecahedrons in highly compressible wood aerogel with excel-lent microwave absorption properties. Materials & Design, 2019, v. 182, p. 108006. DOI:10.1016/j.matdes.2019.108006

[3] Qiu Z., Xiao Z., Gao L., Li J., Wang H., Wang Y., Xie Y. Transparent wood bearing a shielding effect to infrared heat and ultraviolet via incorporation of modified antimony-doped tin oxide nanoparticles. Composites Science and Technology, 2019, v. 172, pp. 43–48. DOI:10.1016/j.compscitech.2019.01.005

[4] Liu R., Liu X., Zhang Y., Liu J., Gong Ch., Dong Y., Li J., Shi J., Wu M. Paraffin Pickering Emulsion Stabilized with Nano-SiO2 Designed for Wood Impregnation. Forests, 2020, v. 11, p. 726. DOI:10.3390/f11070726

[5] Taghiyari H.R. Fire-retarding properties of nano-silver in solid woods. Wood Science and Technology, 2012, v. 46, pp. 939–952. DOI:10.1007/s00226-011-0455-6

[6] Rassam G., Ghofrani M., Taghiyari H.R. Mechanical performance and dimensional stability of nano-silver impregnated densified spruce wood. European J. of Wood and Wood Products, 2012, v. 70, pp. 595–600. DOI:10.1007/s00107-011-0590-7

[7] Akhtari M., Taghiyari H.R., Kokandeh M.G. Effect of some metal nanoparticles on the spectroscopy analysis of Paulownia wood exposed to white-rot fungus. European J. of Wood and Wood Products, 2013, v. 71, pp. 283–285. DOI:10.1007/s00107-013-0676-5

[8] Mantanis G.I., Terzi E., Kartal S.N., Papadopoulos A.N. Evaluation of mold, decay and termite resistance of pine wood treated with zinc and copper based nanocompounds. International Biodeterioration & Biodegradation, 2014, no. 90, pp.140–144. DOI:10.1016/j.ibiod.2014.02.010

[9] Reinprecht L.; Vidholdova Z. Biological resistance and application properties of particleboards containing nano-zinc oxide. Advances in Materials Science and Engineering, 2018, v. 2018, pp. 2680121. DOI:10.1155/2018/2680121

[10] Sendi R.K., Mahmud S. Quantum size effect on ZnO nanoparticle-based discs synthesized by mechanical milling. Applied Surface Science, 2012, v. 258, pp. 8026–8031.

[11] Wang Y., Li J., Hong R. Large scale synthesis of ZnO nanoparticles via homogeneous precipitation. J. of Central South University, 2012, v. 19, pp. 863−868.

[12] Udayakumar S., Renuga V., Kavitha K. Synthesis and characterization of Ni – doped ZnO by chemical precipitation method. International J. of Recent Scientific Research, 2012, v. 3, pp. 118–122.

[13] Altıntas O., Durucan Y.C. Synthesis of zinc oxide nanoparticles elaborated by microemulsion method. J. of Alloys and Compounds, 2010, v. 506, pp. 944–949.

[14] Geetha D., Thilagavathi T. Hydrothermal synthesis of nanoZnO structures from CTAB. Digest J. of Nanomaterials and Biostructures, 2010, v. 5, no. 1, pp. 297–301.

[15] Baruah S., Dutta J. Hydrothermal growth of ZnO nanostructures. Science and Technology of Advanced Materials, 2009, v. 10, p. 013001. DOI:10.1088/1468-6996/10/1/013001

[16] Bechelany M., Amin A., Brioude A., Cornu D., Miele P. ZnO nano-tubes by template-assisted sol–gel route. J. of Nanoparticle Research, 2012, v. 14, p. 980. DOI:10.1007/s11051-012-0980-8

[17] Tomina E.V., Pavlenko A.A., Dmitrenkov A.I, Neminushchaya S.A. Synthesis and properties of nanosized ZnO / wood composite. Kondensirovannye sredy i mezhfaznye granitsy = Condensed Matter and Interphases, 2021, v. 23, no. 4, pp. 578–584. DOI:10.17308/kcmf.2021.23/3677

[18] DhageaS.R., Pasrichab R. Synthesis of fineparticles of ZnO at 100°C. J. Materials Letters, 2005, v. 59, pp. 779–781.

[19] Ciobanua G., Carjaa G. Structural, electrical and optical properties of thin ZnO films prepared by chemical precipitation. Superlattices and Microstructures, 2006, v. 39, pp. 328–333.

[20] Dmitrenkov A.I, Nikulin S.S., Nikulina N.S., Borovskaya A.M., Nedzelsky E.A. Study of the process of impregnating wood birches spent vegetable oil. Forest Journal, 2020, v. 10, no. 2, p. 161. DOI:10.34220 / issn .2222-7962/2020.2/16

[21] Nikulina N.S, Dmitrenkov A.I., Nikulin S.S. About the possibility of using 1 -vinylnaphthalene to modify natural wood. IOP Conference Series: Earth and Environmental Science, 2020, v. 595, pp. 012021. DOI:10.1088/1755-1315/595/1/012021

[22] Khmelev V.N., Khmelev S.S., Golykh R.N., Shalunov A.V. *Ultrazvukovaia cavitatsionnaia obrabotka viazkikh I dispersnykh zhidkikh sred* [Ultrasonic cavitation treatment of viscous and dispersed liquid media]. Polzunovskii vestnik [Polzunovsky vestnik], 2014, v. 4, no. 2, pp. 110–115.

[23] Langendorf G., Aikhler Kh. *Oblagorazhivanie drevesiny* [Wood refining]. Moscow: Lesnaia promyshlennost', 1982, 144 p.

[24] Antonova G.F., Olkhov Yu.A., Konovalov N.T. *Structurnie izmeneniia v drevesine duba pod vliianiem ultrazvuka* [Structural changes in oak wood under the effect of ultrasound]. Khimiia rastitelnogo syr'ia [Chemistry of plant raw material], 2014, no. 4, pp. 77–84. DOI:10.14258/jcprm.201404312

[25] Qu X., Jia D. Synthesis of octahedral ZnO mesoscale superstructures via thermal decomposingoctahedral zinc hydroxide precursors. J. of Crystal Growth, 2014, v. 311, no. 4, pp. 1223–1228. DOI:10.1016/j.jcrysgro.2008.11.079

[26] Zhu Y., Zhou Y. Preparation of pure ZnO nanoparticles by a simple solid-state reaction method. Applied Physics A, 2008, v. 92, no. 2, pp. 275–278. DOI:10.1007/s00339-008-4533-z

[27] Nikolaeva N.S., Ivanov V.V., Shubin A.A. *Sintez vysokodispersnykh form oksida tsinka: khimicheskoe osazhdenie i termoliz* [Synthesis of highly dispersed forms of zinc oxide: chemical precipitation and thermolysis]. J. of Siberian Federal University. Chemistry, 2010, v. 2, pp. 153–173.

[28] Matveev N.N., Nguyen H.T., Kamalova N.S., Evsikova N.Y., Chernykh A.S. The wood in the inhomogeneous temperature field: estimation of cellulose structure parameter fluctuations // St. Petersburg State Polytechnical University Journal. Physics and Mathematics, 2018, t. 11, no. 3, pp. 9–16.

Authors' information

Khodosova Nataliya Anatol'evna✉ — Cand. Sci. (Chem.), Associate Professor of the Voronezh State University of Forestry and Technologies named after G.F. Morozov, nhodosova@mail.ru

Tomina Elena Viktorovna — Dr. Sci. (Chem.), Head of the Department of Chemistry of the Voronezh State University of Forestry and Technologies named after G.F. Morozov, tomina-e-v@yandex.ru

Novikova Lyudmila Anatol'evna — Cand. Sci. (Chem.), Associate Professor of the Voronezh State University of Forestry and Technologies named after G.F. Morozov, yonk@mail.ru

Dmitrenkov Aleksandr Ivanovich — Cand. Sci. (Tech.), Associate Professor of the Voronezh State University of Forestry and Technologies named after G.F. Morozov, dmitrenkov2109@mail.ru

Received 20.09.2023.
Approved after review 11.11.2022.
Accepted for publication 25.05.2023.

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

УДК 539.612:539.21
DOI: 10.18698/2542-1468-2023-4-147-158
Шифр ВАК 4.3.4

РАЗВИТИЕ ИССЛЕДОВАНИЙ ГЕНЕРИРОВАНИЯ ЭЛЕКТРОМАГНИТНЫХ ИЗЛУЧЕНИЙ ПРИ НАРУШЕНИИ АДГЕЗИОННОГО КОНТАКТА (ОБЗОР)

Ю.М. Евдокимов[1]✉, О.Л. Фиговский[2]

[1]ФГБОУ ВО «Академия Государственной противопожарной службы МЧС России» (АГПС МЧС России), Россия, 129366, г. Москва, ул. Бориса Галушкина, д. 4
[2]Израильская ассоциация изобретателей, Хайфа, Migdal HaEmek, Израиль

evdokur@mail.ru

Исследовано возникновение широкого спектра электромагнитного излучения при нарушении адгезионного контакта (видимое, радио, ИК, УФ, рентгеновского и акустического). Приведены результаты исследовательских работ, полученные сотрудниками научной школы академика Дерягина Б.В., включая собственные. Приведены новые результаты по оценке прочности адгезионного соединения для систем пленка-подложка, так как появилась возможность суждения о прочности адгезионных соединений по характеристикам электромагнитного излучения (период, амплитуда, частота и т. п.), а не только по данным «механических» подходов.
Ключевые слова: адгезия, нарушение адгезионного контакта, электромагнитное излучение

Ссылка для цитирования: Евдокимов Ю.М., Фиговский О.Л. Развитие исследований генерирования электромагнитных излучений при нарушении адгезионного контакта (обзор) // Лесной вестник / Forestry Bulletin, 2023. Т. 27. № 4. С. 147–158. DOI: 10.18698/2542-1468-2023-4-147-158

Длительное время оценка характеристик адгезии (прочность адгезионного соединения — ПАС) проводилась в основном с использованием «механических» подходов. В середине XX в. появились работы, показавшие, что расслаивание слюды на листочки, нарушение адгезионного контакта (АК) систем полимер — подложка сопровождается электризацией поверхностей отрыва, свечением в устье отрыва, эмиссией быстрых электронов [1, 2], Впоследствии спектр электромагнитного излучения при нарушении АК и сопутствующих процессов (трении) «занял» почти всю область электромагнитных волн от гамма-излучения до радиоволн (включая рентгеновское, ультрафиолетовое (УФ) излучение, видимый свет, инфракрасное (ИК) излучение, радиоволновый диапазон и даже акустическое излучение, не относящееся к электромагнитному). К началу 2020-х годов генерирование широкого спектра электромагнитных излучений при нарушении АК (и трении) было обнаружено исследователями различных стран [1–48] — начиная от пионерских работ сотрудников всемирно известной адгезионной школы академика Б.В. Дерягина [1, 2, 4, 5, 13, 20–22, 25, 29, 37, 41, 48].

Так было дано начало новой области исследований, названной областью электроадгезионных явлений [7, 8, 13, 37, 48], связанной с процессами как образования, так и нарушения адгезионного контакта. Исследования газоразрядных явлений в адгезии показали, что по интенсивности газоразрядных процессов при нарушении АК можно судить о ПАС.

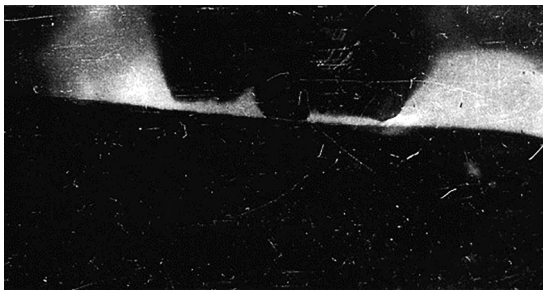
Цель работы

Цель работы — описание и анализ исследований различных авторов, включая собственные, по развитию исследований генерирования электромагнитных излучений при нарушении адгезионного контакта.

Первые исследования по рентгеновскому излучению при нарушении АК описаны Б.В. Дерягиным и соавт. еще в 1953 г. [1], однако они не имели широкого резонанса по причине новаторства, непривычного для того времени. Тем не менее пионерские работы Ю.М. Евдокимова с сотрудниками кафедры химии Московского лесотехнического института [4–6, 8, 20, 25, 37, 41, 45, 46, 48] об обнаружении радио- и акустического излучения (впоследствии и тормозного) наряду с адгезиолюминесценцией при разматывании скотчей (липких лент) и нарушении АК липких лент с подложками из стекла, металлов и полимеров, нашли быстрый отклик и были подтверждены учеными США [9] и некоторых других стран [3, 10, 17, 19, 21, 26, 29–31, 33–36] (рис. 1–4).

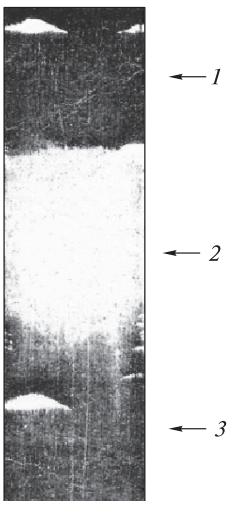
Генерирование электромагнитных колебаний в радиодиапазоне при нарушении АК изучалось на установке, которая позволяла определять работу ее отрыва, время начала и конца отрыва

© Автор(ы), 2023

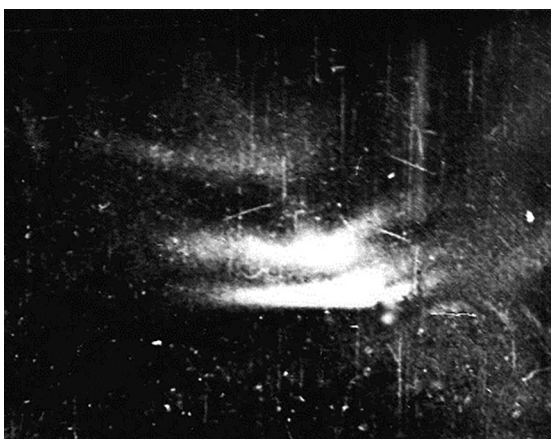


а

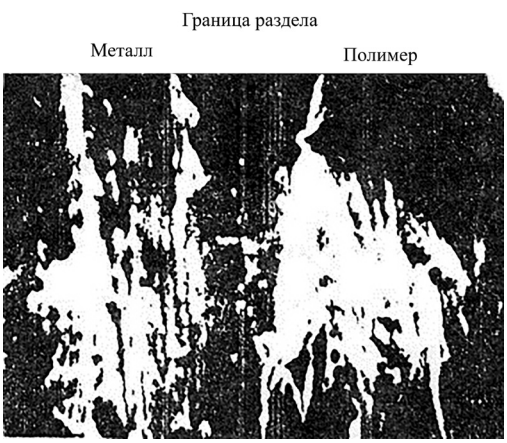
б



г



в



д

е

Рис. 1. Снимки свечения при отслаивании (сверху вниз): пленки АБЦ от металла с экранированием зоны отрыва черной бумагой (*а*); липкого пластыря от стекла (*б*): *1* — зона отслаивания; *2* — участок с неотслоенной липкой лентой; снимки свечения (адгезиолюминесценции) при нарушении АК ПВС-стекла (*в*) и системы полимер — твердое тело [2, 8, 37] (*г*); *д* — распределение электрического потенциала на контакте алюминий — полимер (масштаб: 1 см : 3 мкм) [3]; *е* — свечение при раскалывании кристалла [2]

Fig. 1. Pictures of glow during peeling (from top to bottom): ABC films from metal with screening of the tear-off zone with black paper (*а*); sticky patch from glass (*б*): *1* — peeling zone; *2* — area with non-delaminated adhesive tape; photographs of luminescence (adhesioluminescence) in violation of the PVA-glass AC (*в*) and the polymer-solid system [2, 8, 37] (*г*); *д* — the distribution of the electric potential at the aluminum-polymer contact (scale 1 cm in 3 μm) [3]; *е* — emission by destroy of crystal [2]

липкой ленты при расслаивании (отслаивании) от твердых подложек и определять частоту излучения, форму радиоимпульсов, а также оценивать их длительность. Эксперименты проводились в атмосферных условиях. Детектором электромагнитного излучения служила телескопическая антенна радиоприемного устройства длиной 1 м, расположенная в 1,5 м от устья отрыва. После детектирования и усиления сигналы, принятые антенной, усиливались, регистрировались на осциллографе, с экрана которого проводилось фотографирование. Параллельно они записывались на магнитную ленту для последующего воспроизведения на осциллографе. Исследования проводилось в коротковолновом диапазоне на частотах свыше 1 МГц (рис. 7, см. рис. 2–4) [25].

Показано, что радиоизлучение носит импульсный характер. В появлении радиоимпульса определенное значение имеет скорость отслаивания, которая определяет механизм нейтрализации двойного электрического слоя, возникшего в период пленкообразования. При постоянной скорости отслаивания интенсивность радиоизлучения имеет регулярный характер (см. рис. 3) и постоянство периода *T* (участок 3). Это свидетельствует, что при изменении амплитуды разрядных токов динамическое сопротивление не изменяется. Разряды происходят на микроучастках отслаивающейся пленки, где напряженность поля достигает критического значения.

По данным исследований [8, 37] (см. рис. 5) касательно системы скотч — твердое тело, была оценена длина элементарного участка отслаивания (около 300 мкм) — важнейшая характеристика адгезии, что находится в хорошем согласии с вычисленными по иным характеристикам [5].

Во всех случаях радиоизлучение (см. рис. 2) сопровождается излучением видимого света, регистрируемого ФЭУ на первом канале осциллографа, и звуковыми колебаниями, записываемыми через микрофон (см. рис. 2, 4). При средней скорости отслаивания (0,1…1,0 см/с) время появления световых и радиоимпульсов совпадает (см. рис. 2) [25], что указывает на проявление газоразрядных процессов при нарушении АК. Это подтверждается и снимком стримера, полученном при разматывании липкой ленты КЛТ с высокой скоростью вблизи от фотопленки (рис. 8) [8].

Синхронное возникновение рентгеновского (X-ray), оптического, радио-, инфракрасного (ИК), ультрафиолетового (УФ) и акустического излучений (АИ) [1, 2, 4–9, 13, 20–25, 29, 37] однозначно служит доказательством развития газоразрядных процессов в устье отрыва при нарушении АК, а также показывает его индикацию, согласуется с положениями электронной и электромагнитной теорий адгезии [1, 15].

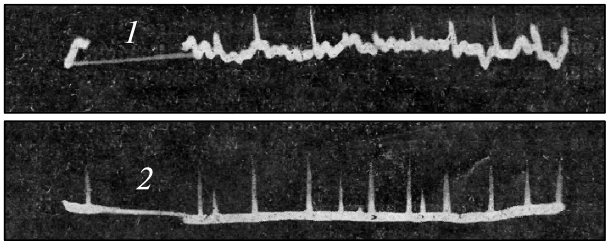


Рис. 2. Разматывание (расслаивание) липкой ленты на лавсановой основе: *1* — радиоизлучение, принятое антенной; *2* — свечение, зарегистрированное фотоэлектронным умножителем (ФЭУ)

Fig. 2. Unwinding (delamilation) of the adhesive tape based on lavsan: *1* — radio emission received by the antenna; *2* — light emission registered by a photomultiplier tube (PMT)

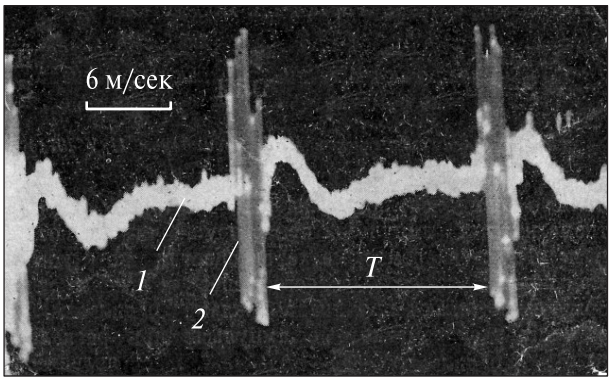


Рис. 3. Осциллограмма радиоизлучения при отслаивании липкой ленты КЛТ от силикатного стекла со скоростью 1 м/с (частота приема 10 МГц); развертка запускалась от генерируемого радиоимпульса

Fig. 3. Oscillogram of radio emission by peel adhesive tape of KLT from silicate glass at a speed of 1 m/s; receive frequency 10 MHz

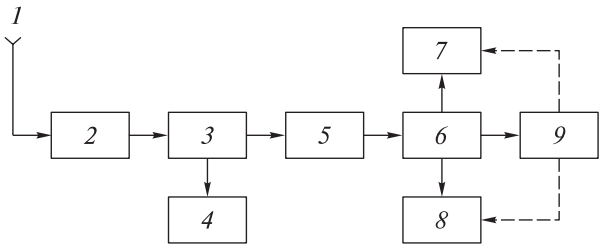
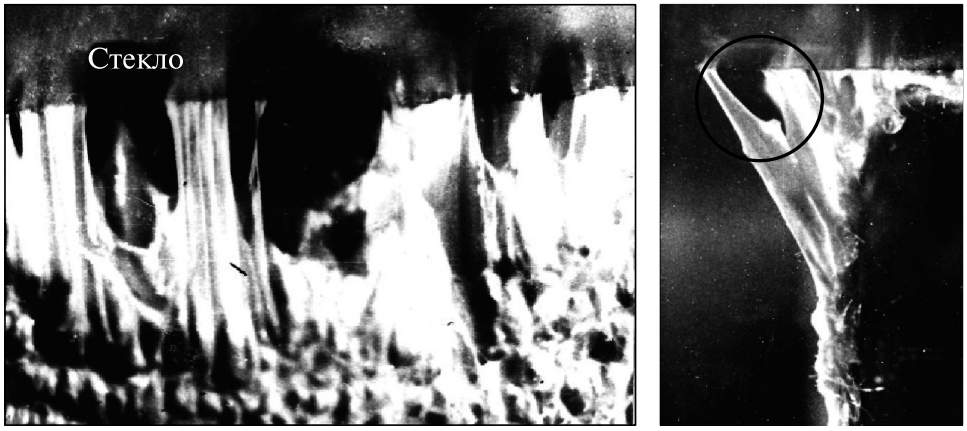


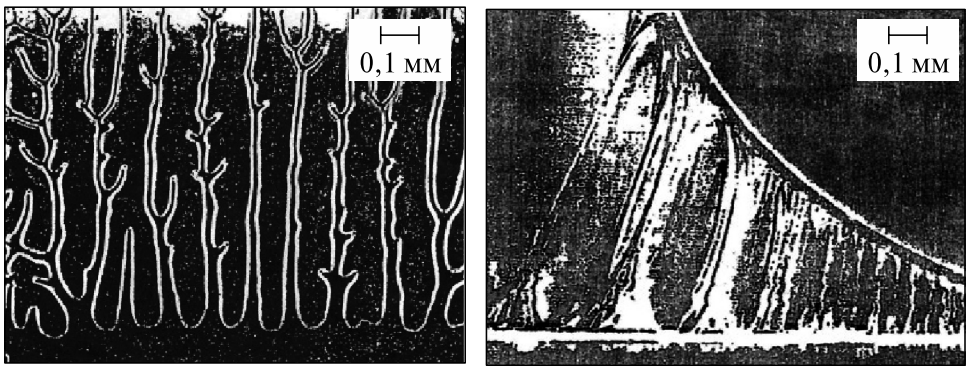
Рис. 4. Схема регистрации электромагнитного излучения при нарушении адгезионного контакта двух твердых тел: *1* — приемная антенна; *2* — входные цепи; *3* — смеситель; *4* — гетеродин; *5* — усилитель промежуточной частоты; *6* — детектор; *7*, *8* — осциллографы (импульсный или шлейфовый); *9* — магнитофон (Grundig TK-46)

Fig. 4. Scheme for registration of electromagnetic radiation by breach of the AC (adhesion contact) of two solid bodies: *1* — receiving antenna; *2* — input circuits; *3* — mixer; *4* — local oscillator (geterodin); *5* — intermediate frequency amplifier; *6* — detector; *7*, *8* — oscilloscopes (pulse or loop); *9* — tape recorder (Grundig TK-46)



а *б*

Рис. 5. Тяжи, образующиеся в устье отслаивания при отслаивании липкого медицинского пластыря на тканевой основе от стекла (*а*) и сбоку (*б*)
Fig. 5. Strands formed at the mouth of the peeling by peeling of medical scotch (tissue-based medical plaster) from glass (*a*) and from the side (*б*)



а *б*

Рис. 6. Морфология отслаивания липкой ленты сбоку (*а*) и в устье отслаивания (*б*) и [39]
Fig. 6. Peeling morphology of PSA-scotch side view (*a*) and bottom view (*б*) [39]

Во всех случаях нарушение АК сопровождается электризацией поверхностей отрыва (отслаивания), эмиссией электронов высокой энергии, электропробойными разрядами окружающей газовой среды и другими процессами, присущими природным газоразрядным явлениям, например молнии. При разряде молнии можно наблюдать вспышки света, радиопомехи, звуковое сопровождение и генерирование рентгеновского излучения интенсивностью до 250 кэВ [12].

Наши эксперименты показали [4, 5], что количество импульсов излучения и количество гофр на единицу длины отрываемой пленки одинаковое. Разрядный промежуток *h*, оцененный по «слепкам» гофр (см. рис. 5, 7) и с использованием закона Пашена [5] по порядку совпадают. К примеру, значение *h* в микрометрах для системы стекло — ПВХ (АВЦ), оцененные на основе профилограмм и с помощью кривой Пашена оказались соответственно в пределах 3…7 мкм и 2,1…2,3 мкм.

Интенсивность свечения, радиоизлучения и акустических колебаний, так же, как и ПАС, зависят от природы пленки и подложки адгезионной пары, скорости нарушения АК, рода и давления окружающей газовой среды. Предложен метод расчета электрических характеристик адгезии (поверхностной плотности электризации, разрядного потенциала, разрядного промежутка и напряженности поля в зазоре) [37], имеющий важное практическое значение в связи с проблемой статической электризации в технологических процессах. Оцененная нами [4] с помощью уравнения Пойнтинга мощность радиоизлучения оказалась порядка $3{,}3 \times 10^{-13} \ldots 13{,}2 \times 10^{-11}$ кВт, что свидетельствует о контроле радиоизлучения при нарушении АК как высокочувствительном методе оценки ПАС. При нарушении АК в вакууме наблюдаются колебания, соответствующей эмиссии механоэлектронов [1]. Характер этих колебаний весьма сходен и может

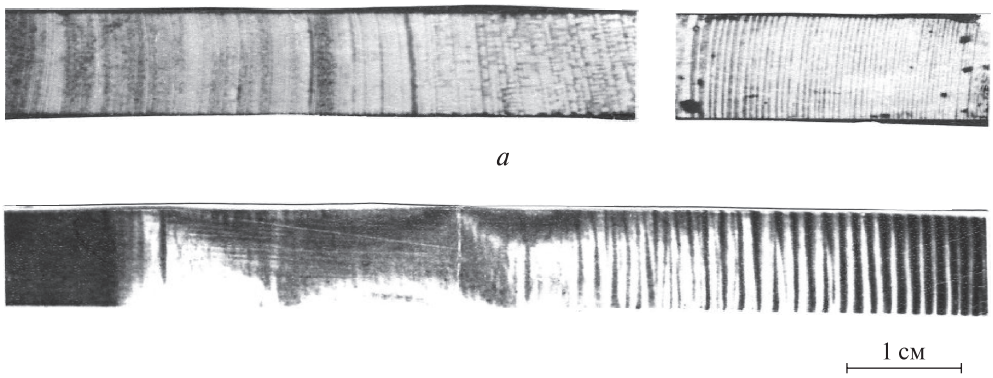
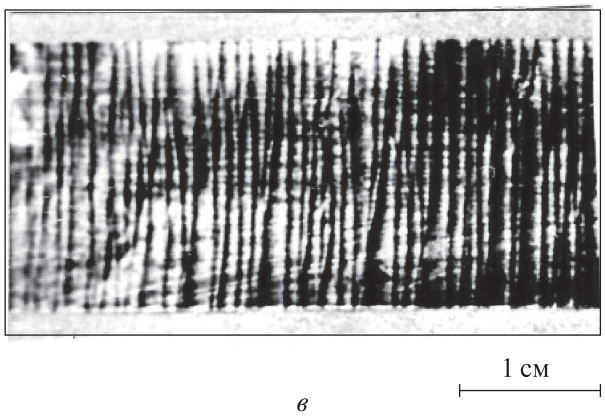


Рис. 7. Автографы гофр — складок на поверхности, оставленные липкими лентами марок МТТ и FT [11]: *а* — при отслаивании их от поверхности твердого тела с возрастающей слева направо скоростью; *б* — поверхность стальной фольги после отслаивания ее от липкой ленты КЛТ под углом 180°; *в* — гофры — складки на алюминиевой фольге толщиной 15 мкм после отслаивания от липкой ленты под углом 90° при постоянной скорости отслаивания [8, 11, 37]

Fig. 7. Autographs of corrugations — folds (wrinkle) or strap-folds on the surface (from top to bottom), left by adhesive tapes of MTT and FT brands [11] when peeling them from the surface of a solid body with increasing (from left to right) speed (*а*); the same picture with the surface of the steel foil (*б*) after peeling it off the KLT adhesive tape at an angle of 180 degrees; corrugations — folds on aluminum foil 15 μm thick after peeling from adhesive tape at an angle of 90 degrees at a constant peeling rate (*в*) [8, 11, 37]



быть сопоставимым с колебаниями механического напряжения при отслаивании (отрыве) пленок полимеров и осциллограммами радио- и видимого излучения, из чего следует, что процесс нарушения АК и все явления, его сопровождающие, носят колебательный характер (отслаивание пленок от подложек происходит рывками, что отмечено всеми авторами, занимающимися подобными исследованиями [1, 4, 13, 25, 37, 43, 44, 46]).

Через некоторое время американские исследователи [9] полностью подтвердили данные, полученные в ходе наших пионерских исследований, проведенных в СССР в 1967–1975 гг. [4, 5, 13, 25, 37] по обнаружению светового, радио- и акустического излучений при разматывании липких лент и нарушении АК иных систем полимер — субстрат. Обнаружено и рентгеновское излучение при разматывании липких лент (рис. 9, 10) [9, 13, 20, 29] с высокой энергией (десятки кэВ), что позволило американским коллегам найти коммерческое приложение обнаруженному эффекту — как источника рентгеновской фотографии в устройствах переносных рентгеновских аппаратов. Исследователи СССР [13] показали

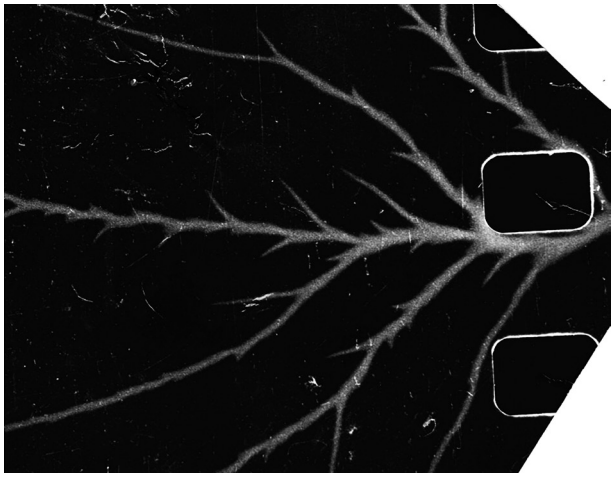


Рис. 8. Электрический разряд (стример), оставшийся на фотопленке при разматывании вблизи нее липкой ленты КЛТ на лавсановой основе

Fig. 8. Electric discharge (streamer) remaining on the foto-film by peeling near it of the adhesive tape KLT on lavsan based

принципиальную возможность использования источника рентгеновских лучей при разматывании липких лент для дефектоскопии тонких цилиндрических объектов.

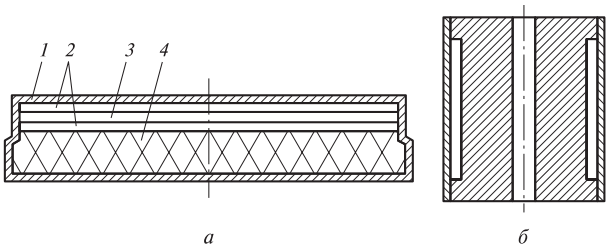


Рис. 9. Схема приспособления для обнаружения проникающего излучения при нарушении адгезионного контакта и в процессе трения качения: *а* — диск (цилиндрическая коробка): *1* — крышка; *2* — черная бумага; *3* — пленка; *4* — резина; *б* — ролик с заложенной внутри рентгеновской пленкой [13]

Fig. 9. Scheme of a device for detecting penetrating radiation by breach of the adhesive contact (AC) and in the process of rolling friction: *a* — disk (cylindrical box): *1* — cover; *2* — black paper; *3* — film; *4* — rubber; *б* — roller with X-ray film embedded inside [13]

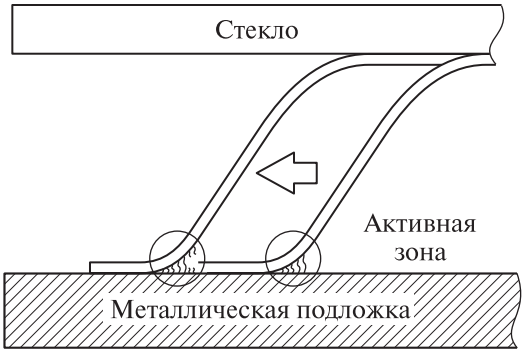


Рис. 11. Схема развития тяжей в активной зоне (active zone) до образования новой поверхности при нарушении АК в системе стекло (glass) — подложка из металла (metal substrate) [44]

Fig. 11. Scheme of the development of strands in the active zone until the formation of a new surface when the AC is broken in the glass — metal substrate system [44]

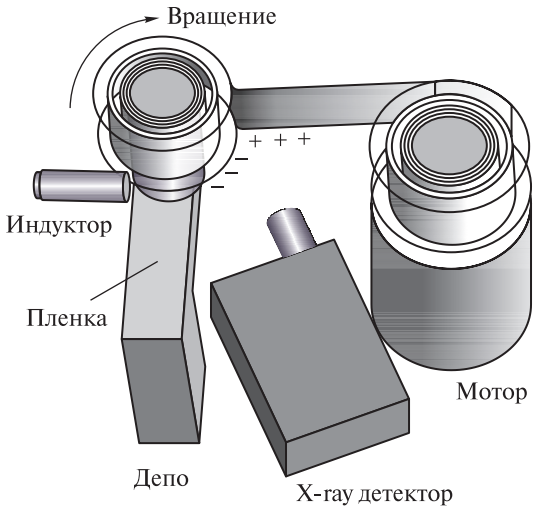


Рис. 10. Схема аппаратуры для изучения высоко-энергетической эмиссии при отслаивании — разматывании (rotation) с рулона липких лент в вакууме с помощью двигателя (motor) с оценкой свечения с использованием индуктора (inductor) и рентгеновского излучения с использованием X-лучевого детектора (X-ray detector) [9]

Fig. 10. Scheme of apparatus for studying high-energy emission from peeling tape. Rotation from a roll of adhesive tapes in a vacuum using a motor with an estimate of the glow using an inductor and X-ray radiation using an x-beam detector (X-ray detector) [9]

Нам удалось провести качественное наблюдение ИК-излучения при разматывании липких лент с большой скоростью (рывком) перед чувствительным элементом тепловизора и УФ-излучения [20].

К другим результатам, изложенным в работе [9], можно отнести наблюдение и исследование деформационных процессов при разматывании липких лент с различной скоростью отслаивания (рис. 11–13, см. рис. 5, 6,) [6, 37, 39, 43–46], которые подтвердили необходимость проверки данных.

Прочность адгезионного соединения зависит не только от специфических взаимодействий на границе раздела фаз адгезив — подложка (субстрат), но и от деформационных характеристик, как адгезива, так и субстрата [3, 6–9, 37, 43–46]. Иногда вклад деформационной составляющей в общую ПАС довольно высокий.

Нами доказана применимость закона Пашена к газоразрядным явлениям, наблюдающимся при нарушении АК в области повышенного давления (101, 325…901, 925 кПа) в окружающей газовой среде [5] (при пониженном давлении сказанное экспериментально подтверждено ранее работами Б.В. Дерягина и соавт. [1, 2]).

Относительно акустического излучения (рис. 14) [8, 46] зарубежные исследователи предлагают снижение шума, производимого разматывающимися лентами на производстве, за счет радикального уменьшения времени и перехода процесса отделения клейкой ленты от поверхности в более равномерный режим (не рывками). Мы предлагали судить по акустическому излучению о надежности работы лопаток авиадвигателей, так как акустическое излучение проявляет себя еще до разрушения материалов (в период образования микродефектов и микротрещин) [8, 20]. Есть и экзотический метод суждения о поражении древесины жуками-древоточцами по характерным звукам-щелчкам, издаваемыми жучками при перегрызании волокон и массива древесины (нарушение когезии древесных волокон и АК древесных структур).

Из последних данных [47] следует, что некоторые металлы и фольга «помнят» о бывшем деформационном или температурном воздействии. Например, складки на листе бумаги «помнят» о том, как был сложен лист (или скомкан). При исследованиях адгезионных явлений аналогом

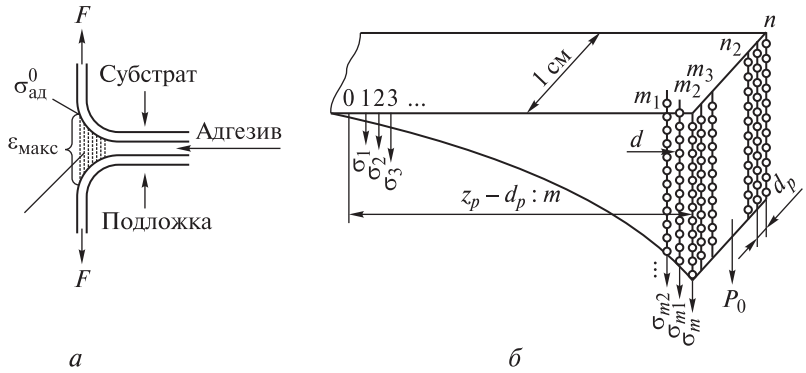


Рис. 12. Схема зоны деформации адгезива при нарушении АК расслаиванием по А.А. Чалых (*а*) [43] и по Н.И. Москвитину (*б*) [45]

Fig. 12. Scheme of the zone of deformation of the adhesive in case of violation of the AC by delamination according to A.A. Chalykh (*a*) [43] and according to N.I. Moskvitin (*б*) [45]

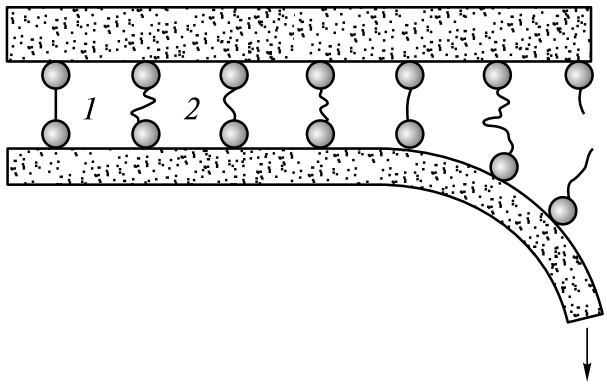


Рис. 13. Модель отслаивания с учетом разнодлинных адгезионных связей: *1* — короткие связи (рвутся в первую очередь); *2* — длинные связи (вначале деформируются, впоследствии разрушаются) [6]

Fig. 13. Peeling model taking into account adhesive bonds of different lengths: *1* — short bonds (break first); *2* — long bonds (at first they are deformed, then they are destroyed) [6]

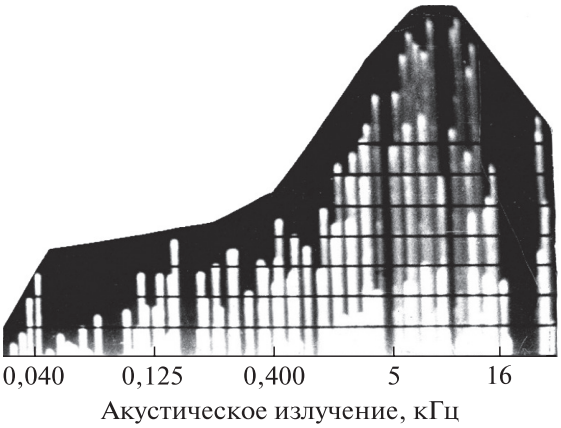
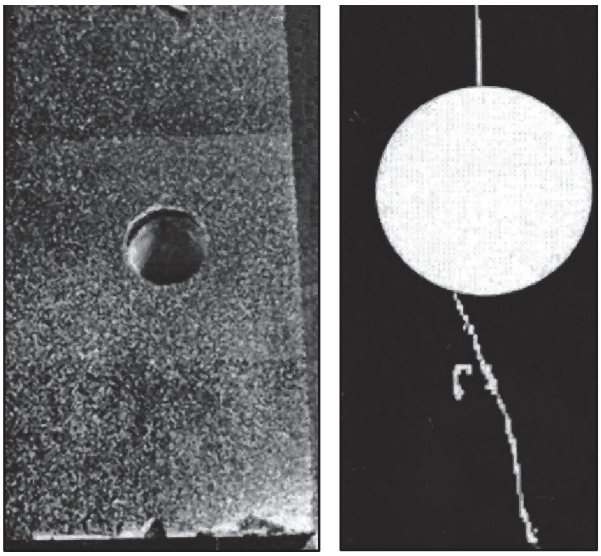


Рис. 14. Спектр акустического излучения при нарушении АК липкая лента — силикатное стекло при скорости отслаивания 0,09 м/сек (40 Гц…20 кГц; представлена часть спектра) [46]

Fig. 14. Acoustic radiation spectrum in case of (breach) violation of AC adhesive tape–silicate glass at a peeling speed of 0,09 m/s (40 Hz–20 kHz; the illustration shows part of the spectrum) [46]

могут служить гофрированные поверхности алюминиевой или стальной фольги (см. рис. 7), получающиеся после нарушения АК в системе фольга металла — полимер. Появляется возможность узнать предысторию твердого тела (которая нам не была известна), что открывает новые возможности для диагностики и программирования материалов.

В связи с изложенным выше, появились новые возможности оценки характеристик АК по электромагнитному излучению [4, 7–10, 13, 20], проведения акустико-эмиссионной диагностики методом неразрушающего контроля, использования результатов исследований как метода определения технического состояния объекта в целях оценки его безопасности и прогнозирования ресурса. Кроме этого, акустико-эмиссионный контроль [10] удобен при оценке роста дефектов при развитии трещины или зоны пластической деформации, испытании на усталость, ползучесть, при этом источником сигнала служит сам материал, а не внешний источник. Кроме этого, акустико-эмиссионный метод обнаруживает движение дефекта, т. е. развивающиеся наиболее опасные дефекты (например, появление трещин в лопатках авиадвигателей до разрушительных последствий). Благодаря концентрации напряжений в вершине дефектов наблюдается генерирование сигнала эмиссии при росте нагрузки и появляется возможность судить об усталостном коррозионном растрескивании, водородном охрупчивании и т. п.



а *б*

Рис. 15. Микротрещины в напряженном окрашенном цементном блоке едва заметны при обычном освещении (*а*), однако отчетливо видны на изображении в ближнем ИК-диапазоне (*б*) [47]

Fig. 15. Microcracks in a stressed colored cement block are hardly visible under normal illumination (*a*), but clearly visible in the image in the near IR range (*б*) [47]

Данные экспериментов могут использоваться в следующих случаях:

при исследовании прочностных свойств композитов, обработанных ультразвуком;

регистрации накопленных повреждений при деформации композитов и покрытий на основе регистрации сигналов акустико-эмиссионного метода;

оценке электризации трещин и электромагнитных предвестников разрушения горных пород, несущих элементов пролетных строений железнодорожных мостов;

суждении о разрушении образцов из углерод-углеродного композита по данным акустической эмиссии [17, 19, 23, 26, 27, 31, 36, 42, 46].

Сотрудниками Университета Райса (Rice University) и Кувейтского института научных исследований (KISR) было обнаружено [47], что невидимые визуально микротрещины (рис. 15, *а*), отчетливо становятся видимыми (рис. 15, *б*) в ближнем ИК-диапазоне. Оказалось, что кристаллы кремния в портландцементе излучают флуоресценцию в ближнем ИК-диапазоне при освещении видимым светом, что позволяет выявить ранние повреждения (микротрещины) в бетоне или цементе при нанесении тонкого слоя непрозрачной краски на бетон. При сканировании в ближнем ИК-диапазоне неповрежденный бетон кажется черным, а светящиеся лучики выявляют мельчайшие трещины (см. рис. 15, *б*).

Выводы

Проанализирован значительный материал (с середины XX в. по настоящее время) по генерированию электромагнитных излучений при нарушении адгезионного контакта твердых тел). Показано, что о прочности адгезионного соединения можно судить не только на основе «механического» подхода, но и по характеристикам электромагнитных излучений, сопровождающих нарушение адгезионного контакта, что представляется полезным при изучении адгезионных явлений.

Список литературы

[1] Дерягин Б.В., Кротова Н.А., Смилга В.П. Адгезия твердых тел. М.: Наука, 1973. 279 с.

[2] Selected works of B.V. Derjaguin. Vol. 1: Surface forces in Thin Films and Disperse Systems, Vol. 1. Editor-in-chief: S.G. Davison. Pergamon Press, New York-Oxford-Seoul-Tokyo, no. 1–4, May–August 1992, pp. 1–465.

[3] Bischof C., Possart W. Adhasion. Theoretische und experimentelle // Drundlagen, Academie Verlag, Berlin, 1983, 272 p.

[4] Тюрикова Л.А., Евдокимов Ю.М., Москвитин Н.И., Авербух Б.Г. Генерирование электромагнитных волн при нарушении адгезионной связи // Тезисы докладов и сообщений II Всесоюзного симпозиума по механоэмиссии и механохимии твердых тел. Фрунзе: б. и., 1969. С. 13–14.

[5] Тюрикова Л.А., Евдокимов Ю.М., Москвитин Н.И., Кротова Н.А. Исследование применимости закона Пашена к адгезии полимеров в условиях повышенного давления в окружающей газовой среде // Докл. АН СССР, 1969. Т. 184. № 3. С. 658–660.

[6] Kestelman V.N., Negmatov S.S., Evdokimov Yu.M. New methods of increasing Adhesive bond Strength // Int. I. of Adhesion and Adhesives, 1988, v. 8, no. 3, pp. 171–174.

[7] Khrustalev Yu.A. Electric Phenomena of the rupturing of adhesive contact and failure of solids: development stages from gas discharge to cold nuclear fusion // Colloids and Surfaces A: Physicochemical and Engineering Aspects, 1993, v. 79, pp. 51–63.

[8] Евдокимов Ю.М. Адгезия. От макро- и микроуровня к наносистемам. М.: МГУЛ, 2011. 208 с.

[9] Camara C.G., Escobar J.V., Hird J.R., Putterman S.J. Correlation between nanosecond X-ray flashes and stick-slip friction in peeling tape // Nature, 2008, no. 8, pp. 1089–1092. DOI: 10.1038/nature07378

[10] Pollok A. Acoustic emission testing. Metals Handbook. AST International, 1989, v. 17, pp. 278–294.

[11] Donald D.K. Contact Electrification of Insulators and its Relevance to Electrets // J. of the Electrochemical Society, 1968, v. 115, no. 3, pp. 270–272.

[12] Гуревич А.В., Зыкин К.П. Пробой на убегающих электронах и электрические разряды во время грозы // УФН, 2001. № 171. С. 1177–1199.

[13] Дерягин Б.В., Кротова Н.А., Князева Н.П. Возникновение проникающего излучения при нарушении адгезионного контакта // Докл. АН СССР, 1974. Т. 215. № 5. С. 1078–1080.

[14] Клементьев Н.М. Термодинамика трения. Воронеж: б. и., 1971. 306 с.

[15] Ениколопов Н.С., Негматов С.С., Евдокимов Ю.М. Электромагнитная природа адгезии // Тезисы докладов VII Всесоюзного симпозиума по механоэмиссии и механохимии твердых тел. Т. 1. 24–26 октября 1979 г. Ташкент: ТашПИ, 1981. С. 8–12.
[16] Kendal K. Thin –film peeling – the elastic term // J. Phys. D 8, 1975, pp. 1449–1453.
[17] Андрейкин А.Е., Лысак Н.В. Метод акустической эмиссии в исследовании процессов разрушения. Киев: Наукова думка, 1989. 137 с.
[18] Евдокимов Ю.М., Фиговский О.Л., Кестельман В.Н. Электроадгезия — итог (открытие, развитие, перспективы) // Сб. тезисов X Ежегодной Юбилейной конференции Нанотехнологического общества России, 26–28 марта 2019. М.: Государственная корпорация «Российская корпорация нанотехнологий», 2019. С. 34–36.
[19] Чернова В.В. Разработка методики акустико-эмиссионного контроля дефектов на ранней стадии развития в изделиях из композитных материалов: дис. ... канд. техн. наук. Новосибирск, Сибирский госуниверситет путей сообщения, 2016. 144 с.
[20] Евдокимов Ю.М. Рентгеновское излучение с ручным приводом // Независимая газета. Приложение: НГ-НАУКА, 11. 03. 2009. С. 13.
[21] Мамбетов Д.М. Электрические явления при адгезионном и когезионном разрушении твердых тел / под ред. Н.А. Кротовой. Фрунзе: Мектеп, 1973. 135 с.
[22] Губайдуллин З.Х. Исследование свечения и электрических процессов, сопровождающих разрушение кристаллогидратов и структурные преобразования продуктов дегидратации: автореф. дис. ... канд. физ.-мат. наук. Москва. Институт физической химии АН СССР, 1975. 21 с.
[23] Панин С.В., Бурков М.В., Бяков А.В., Любутин П.С. Комбинированный метод исследования деформации и разрушения образцов из углерод-углеродного композиционного материала по данным акустической эмиссии, корреляции цифровых изображений и тензометрии // Вестник науки Сибири, 2012. № 4 (5). С. 120–138.
[24] Мусуралиев Т.М. Исследование влияния различных факторов на газоразрядные явления при отрыве пленок полимеров от твердых подложек: автореф. дис. ... канд. физ.-мат. наук. Бишкек, Институт физики НАН Кыргызской республики, 1996. 21 с.
[25] Тюрикова Л.А, Авербух Б.Г., Москвитин Н.И., Кротова Н.А. Исследование параметров радиоизлучения при нарушении адгезии полимер — твердое тело // ДАН СССР, 1971. Т. 201. № 4. С. 833–835.
[26] Дробот Ю.Б., Лазарев А.М. Неразрушающий контроль усталостных трещин акустико-эмиссионным методом. М.: Стандарты, 1987. 218 с.
[27] Wei Y., Hutchinson J.W. Interface strength, work of adhesion and plasticity in peel test // Intern. J. of Fracture, 1998, v. 93, pp. 315–333.
[28] Bull S.J. Failure modes in scratch adhesion testing // Surfaces and Coat. Technol., 1991, v. 50, no. 1, pp. 25–32.
[29] Kluev V.A., Toporov Yu.P., Aliev A.D., Chalykh A.D., Lipson A.G. The effect of air pressure on the parameters of X-ray emission accompanying adhesive and cohesive breaking of solids // Sov. Phys. Tech. Phys., 1989, v. 34, pp. 361–364.
[30] Хайнике Г. Трибохимия. М.: Мир, 1987. 584 с.
[31] Sodomka L. Mechanoluminiscence. Praha: Vydala Academia, 1985, 225 p
[32] Kestelman V., Pinchuk L., Goldade V. Electrets in Ingineering. Fundamentals and applications, Kluwer Academic Publishers, Boston-Dordrecht-London: Springer Science+Business Media New York, 2000, 281 p.
[33] Воробьев А.А., Заводовская Е.К., Сальников В.Н. Изменение электропроводности и радиоизлучение горных пород и минералов при физико-химических процессах в них // Докл. АН СССР, 1975. Т. 220. № 1. С. 82–83.
[34] Коровкин М.В. Электромагнитные эффекты в радиодиапазоне, связанные с динамикой радиационных дефектов в диэлектриках: автореф. дис. … д-ра физ.-мат. наук. Томск, ТПИ, 1998. 308 с.
[35] Thiessen P.A., Meyer K., Heinicke G. Grundlagen der Tribochemie. Berlin: Akad. Verlag, 1967, 194 p.
[36] Лунегова Е.М. Анализ закономерностей накопления повреждений при деформировании углеродных композитов и керамических покрытий на основе регистрации сигналов акустической эмиссии: дис. ... канд. техн. наук. Пермь, Пермский Национальный исследовательский политехнический университет, 2021. 200 с.
[37] Евдокимов Ю.М. Исследование электроадгезионных явлений и возможности создания и нарушения адгезионного контакта при наложении внешнего электрического поля: дис. … канд. хим. наук, Москва, МТИЛП, 1968. 137 с.
[38] Evdokimov J.M., Kestelman V.N., Schindel-Bidinelli E. Electroadhesive Joints // Abstract book Jnt. Adhesion Symposium JAS 94, The adhesion society of Japan, Tokyo, November 06–10, 1994, pp. 261–262.
[39] Yamagishi T., Node S., Chishima Y., Fukuzawa V. Basic research on the mechanism of pressure sensitive Adhesive tape, no. 1–2, 1994, pp. 177–180.
[40] Almataev T.O., Almataev N.T. Studies of tribotechnical properties of composite polymeric materials of machine designation // Scientific Bulletin. Physical and mathematical Research, 2019, lssue 2, v. 1, Article 6, pp. 53–57.
[41] Jewdokimow Ju.M. Der Einflub auberer elektrischer und magnetischer Felder auf die Adhasion // Kurzfassungen 3/ Symposium fur Triboemission und Tribochemie, Kammer der Technik, Berlin, DDR, pp. 26–27.
[42] De R., Ananthakrishna G. Dynamics of the pell front and the nature of acoustic emission during peeling of an adhesive tape // Phys. Rev. Lett., 2006, v. 97 (16), pp. 165503–165506.
[43] Чалых А.А., Герасимов В.К. Влияние деформационных характеристик полимеров на их адгезионную способность // Известия вузов. Химия и химическая технология, 2003. Т. 46. Вып. 1. С. 43–46.
[44] Napolitano M.J., Chudnovsky A., Moet A. The constrained blister test for the energy of interfacial adhesion // J. Adh. Sci Technol., 1988, t. 2, no 4, p. 311–323.
[45] Москвитин Н.И. Склеивание полимеров. М.: Лесная пром-сть, 1968. 304 с.
[46] Евдокимов Ю.М., Грушева Т.Г. Липкие ленты в научных исследованиях // НБИКС-НТ, 2020. № 10 (4). С. 42–50.
[47] Keim N.C., Medina D. Mechanical annealing and memories in a disordered solid // Science advanced, 2022, v. 8, iss. 40. DOI:10.1126/sciadv.abo1614
[48] Евдокимов Ю.М., Сулименко В.А., Мещеряков А.В., Русских Д.В. История создания электроадгезионных соединений // Лесное Вестник / Forestry Bulletin, 2023. Т. 27. № 1. С. 107–113. DOI :10.18698/2542-1468-2023-1-107-113

Сведения об авторах

Евдокимов Юрий Михайлович✉ — канд. хим. наук, профессор кафедры процессов горения Академии Государственной противопожарной службы МЧС России, evdokur@mail.ru

Фиговский Олег Львович — д-р техн. наук, Президент Израильской ассоциации изобретателей, Хайфа, Израиль, figovsky@gmail.com

Поступила в редакцию 19.12.2022.
Одобрено после рецензирования 26.12.2022.
Принята к публикации 14.06.2023.

RESEARCH DEVELOPMENT BY GENERATION OF ELECTROMAGNETIC RADIATION UNDER ADHESION CONTACT BREACH (REVIEW)

Yu.M. Evdokimov[1]✉, O.L. Figovskiy[2]

[1]State Fire Academy of EMERCOIM of Russia, 4, Boris Galushkin st., 129366, Moscow, Russia
[2]Israeli Inventors Association, Haifa, Migdal HaEmek, Israel

evdokur@mail.ru

The emergence of a wide range of electromagnetic radiation at failure of adhesive contact (visible, radio, IR, UV, X-ray and acoustic) is investigated. The results of research works obtained by employees of The Academician B.V. Deryagin scientific school, including his own, are presented. New results on assessment of adhesive bond strength for film-substrate systems are presented, as it became possible to judge the strength of adhesive bonds by electromagnetic radiation characteristics (period, amplitude, frequency, etc.) and not only by «mechanical» approaches.

Keywords: adhesion, breach of adhesion contact, electromagnetic radiation

Suggested citation: Evdokimov Yu.M., Figovskiy O.F. *Razvitie issledovaniy generirovaniya elektromagnitnykh izlucheniy pri narushenii adgezionnogo kontakta (obzor)* [Research development by generation of electromagnetic radiation under adhesion contact breach (review)]. Lesnoy vestnik / Forestry Bulletin, 2023, vol. 27, no. 4, pp. 147–158. DOI: 10.18698/2542-1468-2023-4-147-158

References

[1] Deryagin B.V., Krotova N.A., Smilga V.P. *Adgeziya tverdykh tel* [Adhesion of solids]. Moscow: Nauka, 1973, 279 p.
[2] Selected works of B.V. Derjaguin. Vol. 1: Surface forces in Thin Films and Disperse Systems, Vol. 1. Editor-in-chief: S.G. Davison. Pergamon Press, New York-Oxford-Seoul-Tokyo, no. 1–4, May-August 1992, pp. 1–465.
[3] Bischof C., Possart W. Adhasion. Theoretische und experimentelle. Drundlagen, Academie Verlag, Berlin, 1983, 272 p.
[4] Tyurikova L.A., Evdokimov Yu.M., Moskvitin N.I., Averbukh B.G. *Generirovanie elektromagnitnykh voln pri narushenii adgezionnoy svyazi* [Generation of electromagnetic waves in violation of adhesive bond]. Tezisy dokladov i soobshcheniy II Vsesoyuznogo simpoziuma po mekhanoemissii i mekhanokhimii tverdykh tel [Abstracts of reports and communications of the II All-Union Symposium on mechano-emission and mechanochemistry of solids]. Frunze, 1969, pp. 13–14.
[5] Tyurikova L.A., Evdokimov Yu.M., Moskvitin N.I., Krotova N.A. *Issledovanie primenimosti zakona Pashena k adgezii polimerov v usloviyakh povyshennogo davleniya v okruzhayushchey gazovoy srede* [Investigation of the applicability of Paschen's law to the adhesion of polymers under conditions of high pressure in an ambient gaseous medium]. DAN SSSR, 1969, v. 184, no. 184, no. 3, pp. 658–660.
[6] Kestelman V.N., Negmatov S.S., Evdokimov Yu.M. New methods of increasing Adhesive bond Strength. Int. I. of Adhesion and Adhesives, 1988, v. 8, no. 3, pp. 171–174.
[7] Khrustalev Yu.A. Electric Phenomena of the rupturing of adhesive contact and failure of solids: development stages from gas discharge to cold nuclear fusion. Colloids and Surfaces A: Physicochemical and Engineering Aspects, 1993, v. 79, pp. 51–63.
[8] Evdokimov Yu.M. Adgeziya. *Ot makro- i mikrourovnya k nanosistemam* [Adhesion. From macro- and microlevel to nanosystems]. Moscow: MSFU, 2011, 208 p.
[9] Camara C.G., Escobar J.V., Hird J.R., Putterman S.J. Correlation between nanosecond X-ray flashes and stick-slip friction in peeling tape. Nature, 2008, no. 8, pp. 1089–1092. DOI: 10.1038/nature07378
[10] Pollok A. Acoustic emission testing. Metals Handbook. AST International, 1989, v. 17, pp. 278–294.
[11] Donald D.K. Contact Electrification of Insulators and its Relevance to Electrets. J. of the Electrochemical Society, 1968, v. 115, no. 3, pp. 270–272.
[12] Gurevich A.V., Zykin K.P. *Proboy na ubegayushchikh elektronakh i elektricheskie razryady vo vremya grozy* [Runaway breakdown and electrical discharges during a thunderstorm], UFN, 2001, no. 171, pp. 1177–1199.
[13] Deryagin B.V., Krotova N.A., Knyazeva N.P. *Vozniknovenie pronikayushchego izlucheniya pri narushenii adgezionnogo kontakta* [Occurrence of penetrating radiation when adhesive contact is broken]. DAN SSSR, 1974, v. 215, no. 5, pp. 1078–1080.

[14] Klement'ev N.M. *Termodinamika treniya* [Thermodynamics of friction]. Voronezh, 1971, 306 p.
[15] Enikolopov N.S., Negmatov S.S., Evdokimov Yu.M. *Elektromagnitnaya priroda adgezii* [Electromagnetic nature of adhesion]. Tezisy dokladov VII Vsesoyuznogo simpoziuma po mekhanoemissii i mekhanokhimii tverdykh tel [Abstracts of the VII All-Union Symposium on Mechano-Emission and Mechanochemistry of Solids], t. 1. October 24–26, 1979. Tashkent: TashPI, 1981, pp. 8–12.
[16] Kendal K. Thin – film peeling – the elastic term. J. Phys. D 8, 1975, pp. 1449–1453.
[17] Andreykin A.E., Lysak N.V. *Metod akusticheskoy emissii v issledovanii protsessov razrusheniya* [Acoustic emission method in the study of fracture processes]. Kyiv: Naukova Dumka, 1989, 137 p.
[18] Evdokimov Yu.M., Figovskiy O.L., Kestel'man V.N. *Elektroadgeziya — itog (otkrytie, razvitie, perspektivy)* [Electroadhesion — the result (discovery, development, prospects)]. Sb. tezisov Kh Ezhegodnoy Yubileynoy konferentsii Nanotekhnologicheskogo obshchestva Rossii [Sat. Abstracts of the 10th Annual Anniversary Conference of the Nanotechnological Society of Russia], March 26–28, 2019. Moscow: Russian Corporation of Nanotechnologies State Corporation, 2019, pp. 34–36.
[19] Chernova V.V. *Razrabotka metodiki akustiko-emissionnogo kontrolya defektov na ranney stadii razvitiya v izdeliyakh iz kompozitnykh materialov* [Development of a technique for acoustic emission control of defects at an early stage of development in products made of composite materials]. Dis. Cand. Sci. (Tech.). Novosibirsk, Siberian State University of Communications, 2016, 144 p.
[20] Evdokimov Yu.M. *Rentgenovskoe izluchenie s ruchnym privodom* [X-ray radiation with a manual drive]. Nezavisimaya gazeta. Prilozhenie: NG-NAUKA [Nezavisimaya gazeta. Appendix: NG-NAUKA], 11. 03. 2009, p. 13.
[21] Mambetov D.M. *Elektricheskie yavleniya pri adgezionnom i kogezionnom razrushenii tverdykh tel* [Electrical Phenomena in Adhesive and Cohesive Fracture of Solids]. Ed. N.A. Krotova. Frunze: Mektep, 1973, 135 p.
[22] Gubaydullin Z.Kh. *Issledovanie svecheniya i elektricheskikh protsessov, soprovozhdayushchikh razrushenie kristallogidratov i strukturnye preobrazovaniya produktov degidratatsii* [Study of luminescence and electrical processes accompanying the destruction of crystalline hydrates and structural transformations of dehydration products]. Dis. Cand. Sci. (Phys.-Math.). Moscow, Institute of Physical Chemistry, Academy of Sciences of the USSR, 1975, 21 p.
[23] Panin S.V., Burkov M.V., Byakov A.V., Lyubutin P.S. *Kombinirovannyy metod issledovaniya deformatsii i razrusheniya obraztsov iz uglerod-uglerodnogo kompozitsionnogo materiala po dannym akusticheskoy emissii, korrelyatsii tsifrovykh izobrazheniy i tenzometrii* [Combined method for studying the deformation and destruction of samples from a carbon-carbon composite material according to acoustic emission data, correlation of digital images and strain gauge]. Vestnik nauki Sibiri [Bulletin of Science of Siberia], 2012, no. 4 (5), pp. 120–138.
[24] Musuraliev T.M. *Issledovanie vliyaniya razlichnykh faktorov na gazorazryadnye yavleniya pri otryve plenok polimerov ot tverdykh podlozhek* [Investigation of the influence of various factors on gas-discharge phenomena during the detachment of polymer films from solid substrates]. Dis. Cand. Sci. (Phys.-Math.). Bishkek, Institute of Physics of the National Academy of Sciences of the Kyrgyz Republic, 1996, 21 p.
[25] Tyurikova L.A, Averbukh B.G., Moskvitin N.I., Krotova N.A. *Issledovanie parametrov radioizlucheniya pri narushenii adgezii polimer — tverdoe telo* [Tech. Investigation of the parameters of radio emission in the event of violation of adhesion polymer — solid]. DAN SSSR, 1971, v. 201, no. 4, pp. 833–835.
[26] Drobot Yu.B., Lazarev A.M. *Nerazrushayushchiy kontrol' ustalostnykh treshchin akustiko-emissionnym metodom* [Non-destructive testing of fatigue cracks by acoustic emission method]. Moscow: Standards, 1987, 218 p.
[27] Wei Y., Hutchinson J.W. Interface strength, work of adhesion and plasticity in peel test. Intern. J. of Fracture, 1998, v. 93, pp. 315–333.
[28] Bull S.J. Failure modes in scratch adhesion testing. Surfaces and Coat. Technol., 1991, v. 50, no. 1, pp. 25–32.
[29] Kluev V.A., Toporov Yu.P., Aliev A.D., Chalykh A.D., Lipson A.G. The effect of air pressure on the parameters of X-ray emission accompanying adhesive and cohesive breaking of solids. Sov. Phys. Tech. Phys., 1989, v. 34, pp. 361–364.
[30] Khaynike G. *Tribokhimiya* [Tribochemistry]. Moscow: Mir, 1987, 584 p.
[31] Sodomka L. Mechanoluminiscence. Praha: Vydala Academia, 1985, 225 p
[32] Kestelman V., Pinchuk L., Goldade V. Electrets in Ingineering. Fundamentals and applications, Kluwer Academic Publishers, Boston-Dordrecht-London: Springer Science+Business Media New York, 2000, 281 p.
[33] Vorob'ev A.A., Zavodovskaya E.K., Sal'nikov V.N. *Izmenenie elektroprovodnosti i radioizluchenie gornykh porod i mineralov pri fiziko-khimicheskikh protsessakh v nikh* [Changes in electrical conductivity and radio emission of rocks and minerals during physical and chemical processes in them]. DAN SSSR, 1975, v. 220, no. 1, pp. 82–83.
[34] Korovkin M.V. *Elektromagnitnye effekty v radiodiapazone, svyazannye s dinamikoy radiatsionnykh defektov v dielektrikakh* [Electromagnetic effects in the radio range associated with the dynamics of radiation defects in dielectrics]. Dis. Dr. Sci. (Phys.-Math.). Tomsk, TPI, 1998, 308 p.
[35] Thiessen P.A., Meyer K., Heinicke G. Grundlagen der Tribochemie. Berlin: Akad. Verlag, 1967, 194 p.
[36] Lunegova E.M. *Analiz zakonomernostey nakopleniya povrezhdeniy pri deformirovanii uglerodnykh kompozitov i keramicheskikh pokrytiy na osnove registratsii signalov akusticheskoy emissii* [Analysis of the patterns of damage accumulation during the deformation of carbon composites and ceramic coatings based on the registration of acoustic emission signals]. Dis. Cand. Sci. (Tech.). Perm, Perm National Research Polytechnic University, 2021, 200 p.
[37] Evdokimov Yu.M. *Issledovanie elektroadgezionnykh yavleniy i vozmozhnosti sozdaniya i narusheniya adgezionnogo kontakta pri nalozhenii vneshnego elektricheskogo polya* [Investigation of electroadhesive phenomena and the possibility of creating and breaking adhesive contact when an external electric field is applied]. Dis. Cand. Sci. (Chem.). Moscow, MTILP, 1968, 137 p.
[38] Evdokimov J.M., Kestelman V.N., Schindel-Bidinelli E. Electroadhesive Joints. Abstract book Jnt. Adhesion Symposium JAS 94, The adhesion society of Japan, Tokyo, November 06–10, 1994, pp. 261–262.
[39] Yamagishi T., Node S., Chishima Y., Fukuzawa V. Basic research on the mechanism of pressure sensitive Adhesive tape, no. 1–2, 1994, pp. 177–180.

[40] Almataev T.O., Almataev N.T. Studies of tribotechnical properties of composite polymeric materials of machine designation. Scientific Bulletin. Physical and mathematical Research, 2019, iss. 2, v. 1, Article 6, pp. 53–57.
[41] Jewdokimow Ju.M. Der Einflub auberer elektrischer und magnetischer Felder auf die Adhasion. Kurzfassungen 3 / Symposium fur Triboemission und Tribochemie, Kammer der Technik, Berlin, DDR, pp. 26–27.
[42] De R., Ananthakrishna G. Dynamics of the pell front and the nature of acoustic emission during peeling of an adhesive tape. Phys. Rev. Lett., 2006, v. 97 (16), pp. 165503–165506.
[43] Chalykh A.A., Gerasimov V.K. *Vliyanie deformatsionnykh kharakteristik polimerov na ikh adgezionnuyu sposobnost'* [Influence of deformation characteristics of polymers on their adhesion ability]. Izvestiya vuzov. Khimiya i khimicheskaya tekhnologiya [Izvestiya vuzov. Chemistry and Chemical Technology], 2003, v. 46, no. 1, pp. 43–46.
[44] Napolitano M.J., Chudnovsky A., Moet A. The constrained blister test for the energy of interfacial adhesion. J. Adh. Sci Technol., 1988, t. 2, no 4, pp. 311-323.
[45] Moskvitin N.I. *Skleivanie polimerov* [Bonding of polymers]. Moscow: Lesnaya promyshlennost', 1968, 304 p.
[46] Evdokimov Yu.M., Grusheva T.G. *Lipkie lenty v nauchnykh issledovaniyakh* [Adhesive tapes in scientific research]. NBICS-NT, 2020, no. 10 (4), pp. 42–50.
[47] Keim N.C., Medina D. Mechanical annealing and memories in a disordered solid. Science advanced, 2022, v. 8, iss. 40. DOI:10.1126/sciadv.abo1614
[48] Evdokimov Yu.M., Sulimenko V.A., Meshcheryakov A.V., Russkikh D.V. *Istoriya sozdaniya elektroadgezionnykh soedineniy* [The history of the creation of electroadhesive joints]. Lesnoy vestnik / Forestry Bulletin, 2023, vol. 27, no. 1, pp. 107–113. DOI: 10.18698/2542-1468-2023-1-107-113 3

Authors' information

Evdokimov Yuriy Mikhaylovich✉ — Cand. Sci. (Chem.), Professor of the Department of Process of fire, State Fire Academy of EMERCOM, Moscow, evdokur@mail.ru

Figovskiy Oleg L'vovich — Dr. Sci. (Tech.), Israel Association of Inventor, Haifa, figovsky@gmail.com

Received 19.12.2022.
Approved after review 26.12.2022.
Accepted for publication 14.06.2023.

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

УДК 004.9
DOI: 10.18698/2542-1468-2023-4-159-171
Шифр ВАК 4.3.4

ОПРЕДЕЛЕНИЕ ВИДИМОСТИ В ПЛАНЕ ЛЕСОВОЗНОЙ АВТОМОБИЛЬНОЙ ДОРОГИ МЕТОДОМ НАЗЕМНОЙ СТЕРЕОФОТОГРАММЕТРИИ

П.В. Тихомиров[1], А.А. Скрыпников[2], Ю.Ю. Володина[2]✉, Ю.А. Боровлев[2], О.Л. Картавцев[2], Д.Д. Мирзоев[2]

[1]ФГБОУ ВО «Брянский государственный инженерно-технологический университет», 241037, Россия, г. Брянск, пр-кт Станке Димитрова, д. 3
[2]ФГБОУ ВО «Воронежский государственный университет инженерных технологий» (ВГУИТ), 394036, Россия, г. Воронеж, пр-кт Революции, д. 19

juliya_volodina@mail.ru

Изложен метод определения видимости на закруглениях лесовозных автомобильных дорог по материалам наземной фотовидеофиксации. Суть данного метода заключается в сравнении пространственных фотограмметрических координат точек зоны видимости. Зона препятствия и зона видимости рассматриваются в одной и той же фотограмметрической системе координат, а центр проектирования этой системы совпадает с левым концом базиса фотовидеофиксации. Приведены исследования по определению величины расстояния видимости на горизонтальных кривых лесовозных автомобильных дорог при наличии препятствия применительно к нормальному случаю съемки. Также рассмотрены мероприятия по улучшению условий движения на закруглениях лесовозных автомобильных дорог в случае полного или частичного отсутствия видимости. В ходе проведенных исследований получены зависимости для определения величины расстояния видимости методом наземной стереофотограмметрии, применительно к горизонтальным кривым в плане дороги; выполнена оценка точности определения расстояния видимости по материалам наземной стереофотограмметрии. В случае отсутствия видимости на горизонтальных кривых автомобильных дорог предложены зависимости для определения площади и объема срезки, а также установлены зависимости для оценки точности выполненных измерений.

Ключевые слова: лесовозная автомобильная дорога, реконструкция, видимость, закругления, наземная стереофотограмметрическая съемка

Ссылка для цитирования: Тихомиров П.В., Скрыпников А.А., Володина Ю.Ю., Боровлев Ю.А., Картавцев О.Л., Мирзоев Д.Д. Определение видимости в плане лесовозной автомобильной дороги методом наземной стереофотограмметрии // Лесной вестник / Forestry Bulletin, 2023. Т. 27. № 4. С. 159–171. DOI: 10.18698/2542-1468-2023-4-159-171

Обследование лесовозных автомобильных дорог показывает необходимость определения таких технико-эксплуатационных показателей дорог, как видимость, деформация покрытия и др. Проверка наличия видимости в плане дороги является обязательной при разработке проекта реконструкции кривых лесовозных автомобильных дорог [1–3]. Вопрос наличия или отсутствия видимости на закруглениях лесовозных автомобильных дорог актуализируется, если на реконструируемую дорогу нет проектной документации. В таких случаях для определения видимости необходимо выполнять дополнительные измерения в полевых условиях [4–6].

Видимость на горизонтальных кривых в плане лесовозной автомобильной дороги обеспечивается в том случае, если водитель автомобиля при высоте глаз около 1,2 м над проезжей частью видит поверхность дороги, встречный автомобиль или какое-либо препятствие, имеющееся на покрытии на расстоянии, позволяющем своевременное остановить автомобиль. По кривой минимальное расстояние видимости S_0 должно быть таким, чтобы водитель, находясь в точке A, мог увидеть по лучу зрения AB дорогу или препятствие в точке B, причем расстояние от A до B по дороге должно составлять установленное для данной технической категории дороги расстояние видимости (рис. 1).

Луч зрения AB является хордой, сдвигающей дугу AB, длина которой равна расстоянию видимости. Луч зрения AB одновременно является границей площади, внутри которой (ближе к дороге) поверхность земли должна быть освобождена от препятствий, мешающих видимости [7–11].

Вопросу определения видимости на горизонтальных кривых в плане дороги посвящено достаточно много работ отечественных ученых, однако существующие методы определения видимости предполагают выполнение большого объема полевых работ и в некоторых случаях применения приближенных методов измерения [12].

© Автор(ы), 2023

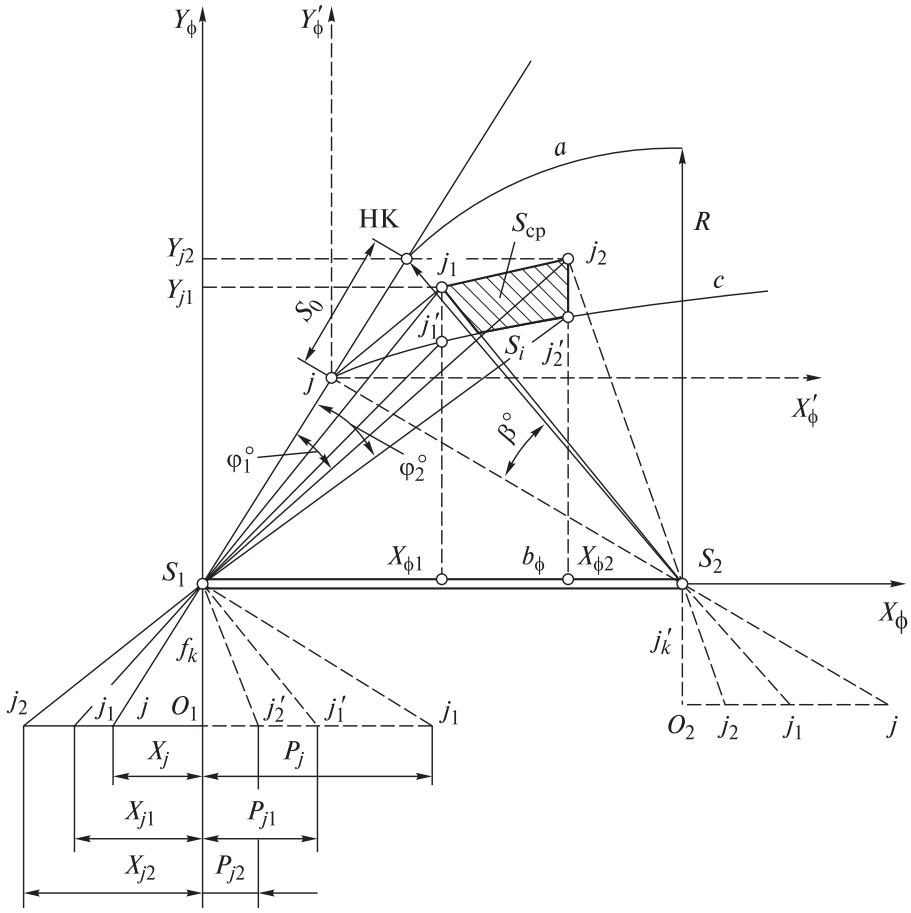


Рис. 1. Определение величины срезки ($S_{ср}$ и $U_{ср}$) методом наземной стереофотограмметрии
Fig. 1. Determination of cut-off values ($S_{ср}$ and $U_{ср}$) by ground-based stereo photogrammetry

Цель работы

Цель работы — определение видимости на закруглении дороги с помощью разработки методов, обеспечивающих достаточную для составления проекта реконструкции точность.

Методика исследования

Принятые обозначения:

$В_ф$ — базис фотовидеофиксации, м;
Д — разность между длиной двух тангенсов и кривой, м;
$Д_0$ — предшествующая длина клотоиды до начала текущего интервала, м;
КПК — точка тормозной кривой;
НК — точка начала кривой;
О — центр окружности;
A — опорная точка препятствия;
a — ускорение, замедление, м/с^2;
$A_{j+1}, A_j, A_{j-1}, A_{j-2}$ — точки препятствия;
$C(x)$ — интеграл Френеля;
D, Q — коэффициенты, определяющие длину искомого разбивочного интервала и часть этого интервала от начала до текущей точки, в которой определена стрела прогиба, мм;
i — высота луча зрения водителя, м;
$i_{тр}$ — уклон дороги, м;
F — боковой скачок центробежной силы в точке сопряжения переходных и круговых кривых;
f — стрела прогиба кривой, мм;
$f_К$ — фокусное расстояние камеры, мм;
j_1, j_2 — точки препятствия, измеренные на снимке, мм;
K — длина кривой от начала до конца, м;
$K_{mв}$ — коэффициент соотношения положения водителя и конца кривой на снимке, м;
L — длина переходной кривой, м;
L_i — разбивочные интервалы, м;
l_1 — длина первого интервала (от начала клотоиды), м;
$L_{i,\,i+1}$ — ширина проезжей части дороги между точками i, $i + 1$, м;
M — начало луча зрения водителя, мм;
M_1M_2 — участок луча зрения водителя, мм;
m — погрешность разбивочных работ, м;
m_a — средняя квадратическая погрешность измерений хорды a, м;
$m_с$ — систематическая погрешность, м;
$m_{Li,\,i+1}$ — средняя квадратическая погрешность определения длины Li, $i + 1$ измеряемой линии, м;
m_p — средняя квадратическая погрешность измерения продольного параллакса, м;

m_R — средняя квадратическая погрешность определения радиуса кривой, м;
m_x — средняя квадратическая погрешность измерения координат x_1 на снимке, м;
$m_{x\text{ф}}$ — средняя квадратическая погрешность определения $x_\text{ф}$, м;
$m_{y\text{ф}}$ — средняя квадратическая погрешность определения $y_\text{ф}$, м;
m_z — погрешность геодезических работ, м;
m_α — средняя квадратическая погрешность измерений хорды α, м;
N — конец луча зрения водителя, мм;
n — количество элементарных срезок, шт.;
P — вес автомобиля, т;
P_j — продольный параллакс начальной j-й точки суммирования, мм;
P_{j_1} — продольный параллакс начальной j-й точки суммирования, мм;
P_{j_2} — продольный параллакс начальной j-й точки суммирования, мм;
$p_\text{М}$, $p_\text{В}$ — продольные параллаксы точек M и B, мм;
$P_\text{Н}$ — показатель надежности осей;
Q — коэффициент пропорциональности центробежного ускорения к продолжительности движения;
R — радиус кривой вставки закругления лесовозной автомобильной дороги, м;
r — радиус кривизны, м;
R_i^H — радиус вертикальной выпуклой кривой, м;
R^r — радиус горизонтальной кривой, м;
R_i^r — радиус горизонтальных кривых лесовозных автомобильных дорог по материалам наземной стереофотограмметрии, м;
S — расстояние от начала кривой до текущей точки, м;
S_0 — расстояние видимости, м;
$S_\text{ср}$ — площадь срезки, м^2;
t — время движения по кривой длины L с конечным радиусом R, с;
V — скорость движения, м/с;
V_0 — скорость в начале кривой, м/с;
$V_\text{ср}$ — средняя скорость, м/с;
V_R — скорость по кривой радиуса r в точке i, м/с;
x_j, x_{j1}, x_{j2}, x_{1m} — координаты точек, измеренных по кромке дорожного покрытия, мм;
X_φ, $X_{\varphi 1}$, $X_{\varphi 2}$, X'_φ — оси фотограмметрической системы координат, мм;
x_{1i} — абсцисса начальной i-й точки измерений на фотоснимке, мм;
x_{1i+1} — абсцисса i + 1-й точки измерений на фотоснимке, мм;
x_{1m}, x_{1B} — координаты точек положения водителя (m) и кривой (B), измеренные на фотоснимке, мм;
$\Delta X_{i,\,i+1}$ — приращение координат по оси $X_\text{ф}$, мм;
Δx, Δy — проекции оптимальных интервалов l_i на соответствующие оси координат, мм;
x_1, y_1 — координаты текущей точки клотоиды, в которой определяется отклонение хорды от кривой в заданном интервале, мм;
$x_\text{к}$, $y_\text{к}$ — координаты конца кривой, мм;
x_0, y_0 — координаты начала интервала клотоиды, мм;
x_2, y_2 — координаты конца интервала клотоиды, мм;
$x_\text{ф}$, $y_\text{ф}$ — координаты базиса фотовидеофиксации, мм;
$\Delta Y_{i,\,i+1}$ — приращение координат по оси $Y_\text{ф}$, мм;
$Y_\text{ф}$ — ось фотограмметрической системы координат, мм;
Y_φ, Y'_φ — оси фотограмметрической системы координат, мм;
α — угол поворота трассы, град.;
α_1 — полярный угол точки M, град.;
α_2 — полярный угол точки N, град.;
α" — угол между хордой заданного интервала клотоиды и осью абсцисс, град.;
$\alpha^0_{i,\,i+1}$ — дирекционный угол измеряемой длины линии, град.;
β — угол параболы в дорожных закруглениях, град.;
β_i — угол клотоиды в заданной точке 0, 1 или 2, град.;
β_j, β_{j-1} — углы отклонения сторон фототеодолитного хода точек препятствия A_{j+1}, A_j, A_{j-1}, A_{j-2}, град.;
$\beta_\text{к}$ — угол клотоиды в конце кривой, град.;
φ — угол наклона луча зрения водителя к оси $X_\text{ф}$, град.;
υ — коэффициент, снижающий влияние центробежной силы за счет уклона виража $i_\text{в}$;
$\upsilon^0_\text{тр}$ — угол наклона дороги, град.

Рассмотрим определение видимости на горизонтальных кривых в плане лесовозной автомобильной дороги, а в случае отсутствия видимости на закруглении и необходимой площади срезки и ее объема — по материалам наземной фотовидеофиксации [12, 13]. Суть предлагаемого метода заключается в сравнении пространственных фотограмметрических координат точек зоны препятствия и координат соответствующих точек зоны видимости (кривой видимости или точек траектории движения автомобиля). Зона препятствия и зона видимости рассматриваются в одной и той же фотограмметрической системе координат, а центр проектирования этой системы совпадает с левым концом базиса фотовидеофиксации [14].

Выполним исследования по определению величины расстояния видимости на горизонтальных кривых лесовозных автомобильных дорог при наличии препятствия (рис. 2) применительно к нормальному случаю съемки. Препятствиями для видимости водителей могут быть различные

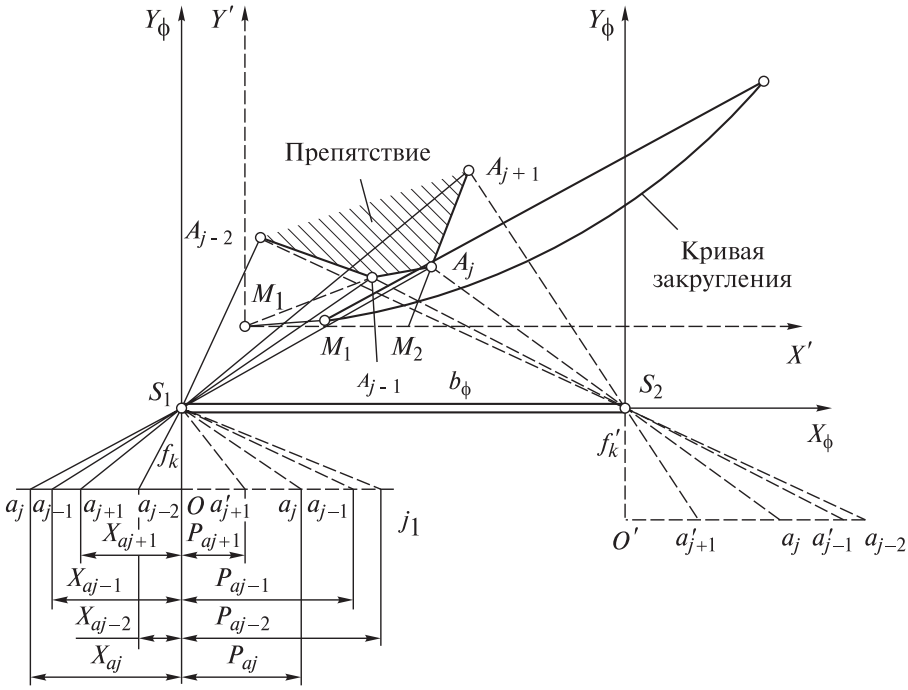


Рис. 2. Определение расстояния видимости S_0 методом наземной стереофотограмметрии
Fig. 2. S_0 visibility distance determination by ground-based stereo photogrammetry

рельефные и ситуационные объекты, инженерные сооружения, участки леса и кустарники, откосы выемок и др. [15, 16].

Пусть со стороны внутренней кромки покрытия горизонтальной кривой имеется препятствие, которое ограничивает видимость в зоне кривой, чем вызывает повышенную опасность для движения транспортных средств [17–19]. Для определения величины расстояния видимости S_0 изобразим препятствие в виде некоторого фототеодолитного хода A_{j+1}, A_j, A_{j-1}, A_{j-2}. При движении автомобиля точка M будет перемещаться по кривой от точки M_1 до точки M_2, тогда конец луча зрения водителя — точка N — будет удаляться по кривой, а луч зрения водителя будет поворачиваться вокруг некоторой точки препятствия A_j. Эта точка A_j будет опорной для участка луча зрения водителя M_1M_2 (см. рис. 2).

Обозначим углы отклонения сторон фототеодолитного хода точек препятствия A_{j+1}, A_j, A_{j-1}, A_{j-2} к оси $X_ф$ фотограмметрической системы координат через β_{j-1} и β_j, а угол отклонения луча зрения водителя M_1M_2 от этой же оси — через φ, тогда вершина A_j будет опорной при

$$\beta_{j-1} \le \varphi \le \beta_j. \quad (1)$$

В неравенстве (1) перейдем от углов β_{j-1} и β_j к их тангенсам (см. рис. 2), тогда получим

$$\mathrm{tg}\beta_{j-1} \le \mathrm{tg}\varphi \le \mathrm{tg}\beta_j. \quad (2)$$

Для тангенсов углов можно вывести зависимость, которая будет иметь вид

$$\mathrm{tg}\varphi = k = \frac{f_k\left(P_m - P_j\right)}{P_m x_{1j} - P_j x_{1m}}, \quad (3)$$

где x_{1j}, x_{1m} — координаты опорной точки A препятствия и ее проекции на кривую, измеренные на фотоснимке;

P_j,P_m — продольные параллаксы опорной точки A препятствия и ее проекция на кривую.

Анализ формулы (3) показывает, что точность определения угла отклонения луча зрения водителя φ от оси $X_ф$ фотограмметрической системы координат зависит в основном от точности измерения координат $x_{1j}x_{1m}$ и продольных параллаксов P_jP_m этих точек на фотоснимках. На основании проведенных исследований точность измерения координат x по фотоснимку составляет 0,01 мм, а продольных параллаксов — 0,005 мм при аналитической обработке материалов наземной стереофотограмметрической съемки. Поэтому максимальное влияние на точность определения угла φ по формуле (3) будут оказывать измеренные координаты $x_{1j}x_{1m}$ по фотоснимкам.

Численное значение угла φ на основании выражения (3) можно получить по формуле

$$\varphi = \mathrm{arctg}\left[\frac{f_k\left(P_m - P_j\right)}{P_m x_{1j} - P_j x_{1m}}\right]. \quad (4)$$

Рассмотрим возможные случаи расположения концов луча зрения водителя на кривой (точки M и N) при определении величины расстояния

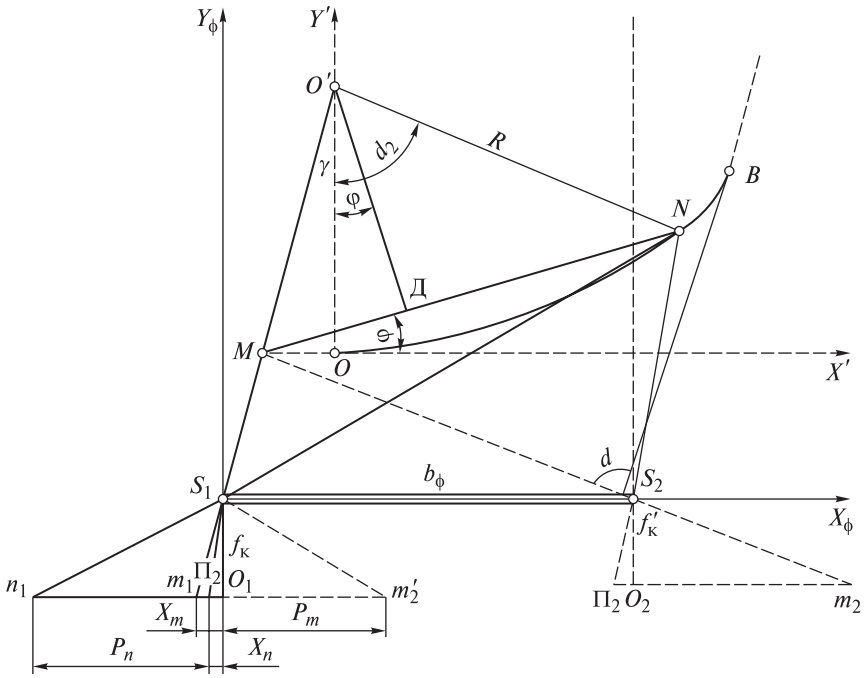


Рис. 3. Определение расстояния видимости при $K < K_{mв}$
Fig. 3. Visibility distance determination at $K < K_{mв}$

видимости S_0 для нормального случая наземной стереофотограмметрической съемки [20–23]:

а) один конец луча зрения водителя — точка M — лежит на прямой у входа в закругление, а другой — точка N — лежит на кривой этого закругления;

б) один конец луча зрения водителя — точка M — лежит на прямой у входа в закругление, а другой — точка N — лежит на прямой, но у выхода из закругления;

в) один конец луча зрения водителя — точка M — лежит на кривой закругления, а другой — точка N — тоже на кривой этого закругления;

г) один конец зрения водителя — точка M — лежит на кривой закругления, а другой — точка N — лежит на прямой у выхода из этого закругления.

В случае а) величина расстояния видимости S_0 (рис. 3) при $K < K_{mв}$ составляет

$$K_{mв} = \frac{f_k\left(p_m - p_в\right)}{p_m x_{1в} - p_в x_{1m}}, \quad (5)$$

где x_{1m}, $x_{1в}$ — координаты точек положения водителя (M) и конца кривой (B) на кривой, измеренные на фотоснимке;

$p_m, p_в$ — продольные параллаксы точек M и B.

Тогда расстояние видимости будет равно

$$S_0 = M_0 + UON = \frac{в_ф x_{1m}}{p_m} + R_i^r \cdot \alpha_2, \quad (6)$$

где S_0 — расстояние видимости;

R_i^r — горизонтальный радиус закругления;

α_2 — полярный угол точки.

Величину угла α_2 можно определить по формуле (см. рис. 3)

$$\alpha_2 = \varphi + \arccos\left[\frac{\cos(\gamma + \varphi)}{\cos\gamma}\right], \quad (7)$$

где γ — полярный угол точки M.

Полярный угол точки M из треугольника AOM (см. рис. 3) составляет

$$\gamma = \operatorname{arctg}\left(\frac{в_ф x_{1m}}{R_i^r p_m}\right). \quad (8)$$

После подстановок в формулу (6) выражений из формул (7) и (8) в окончательном виде величина расстояния видимости S_0 при $K < K_{mв}$ будет равна

$$S_0 = \frac{в_ф x_{1m}}{p_m} + R_i^r\left[\varphi + \arccos\frac{\cos(\gamma + \varphi)}{\cos\gamma}\right]. \quad (9)$$

В случае б) расстояние видимости S_0 можно получить по следующей формуле (рис. 4)

$$S_0 = MO + \cup OB + BN. \quad (10)$$

На основании рис. 4 можно получить зависимости для всех отрезков расстояния видимости S_0, которые будут соответственно равны

$$MO = \frac{в_ф x_{1m}}{p_m}; \quad (11)$$

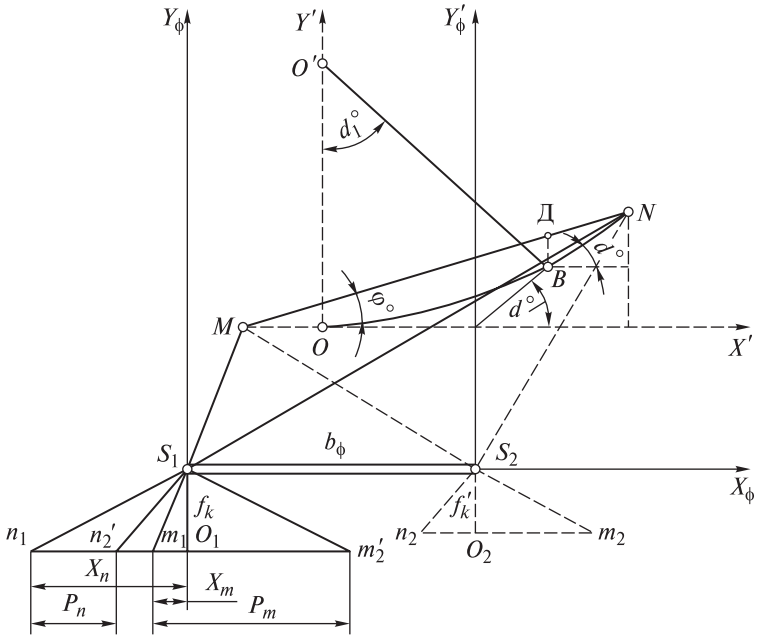


Рис. 4. Определение расстояния видимости при $K < K_{mв}$
Fig. 4. Visibility distance determination at $K < K_{mв}$

$$\cup OB = R_i^r \alpha, \tag{12}$$

где α — угол поворота кривой.

Тогда отрезок расстояния видимости *BN* будет равен

$$BN = \frac{в_ф \left[K\left(p_n^2 x_{1в} - x_{1n} \right) - p_в f_n \right.}{p_в p_n \cos\alpha \left(tg\alpha - K \right)}. \tag{13}$$

Подставляя в формулу (10) вместо *MO*, $\cup OB$, *BN* выражения из (11), (12), (13) получим зависимость для определения величины расстояния видимости S_0 при $K > K_{mв}$, которая будет иметь вид

$$S_0 = \frac{в_ф x_{1m}}{p_m} + R_i^r \cdot \varphi + \frac{в_ф \left[K\left(p_n^2 x_{1в} - x_{1n} \right) - p_в f_n \right.}{p_в p_n \cos\alpha \left(tg\alpha - K \right)}. \tag{14}$$

В случае в) величина расстояния видимости S_0 при $K < K_{mв}$ составит (см. рис. 1)

$$S_0 = \cup MN = R_i^r \left(\alpha_2 - \alpha_1 \right), \tag{15}$$

где α_2 — полярный угол точки *N*;

α_1 — полярный угол точки *M*;

Угол наклона луча зрения водителя к оси $X_ф$ фотограмметрической системы координат φ (рис. 5) можно получить таким образом

$$\varphi = \frac{\alpha_1 + \alpha_2}{2}. \tag{16}$$

Тогда из формулы (9) полярный угол α_2 будет равен

$$\alpha_2 = 2\varphi - \alpha_1. \tag{17}$$

Величину полярного угла α_1 можно определить из треугольника *AOM* (4)

$$\sin\alpha_1 = \left(\frac{в_ф x_{1m}}{p_m} \right). \tag{18}$$

Численное значение полярного угла α_1 на основании выражения (18) получим из формулы

$$\alpha_1 = \arcsin\left(\frac{в_ф x_{1m}}{p_m} \right). \tag{19}$$

Величина расстояния видимости S_0 для случая при $K < K_{mв}$ в окончательном виде равна

$$S_0 = 2R_i^r \left(\varphi - \alpha_1 \right). \tag{20}$$

Угол наклона луча зрения водителя φ к оси $X_ф$ фотограмметрической системы координат можно получить по формуле (4).

В случае г) $K > K_{mв}$ величина расстояния видимости будет (см. рис. 5) составлять

$$S_0 = \cup MB + BN = R_i^r \left(\alpha - \alpha_1 \right) + BN. \tag{21}$$

Отрезки расстояния видимости в формуле (14) $\cup MB$ и *BN* соответственно можно получить из формул:

$$\cup MB = R_i^r \left(\alpha - \alpha_1 \right) \tag{22}$$

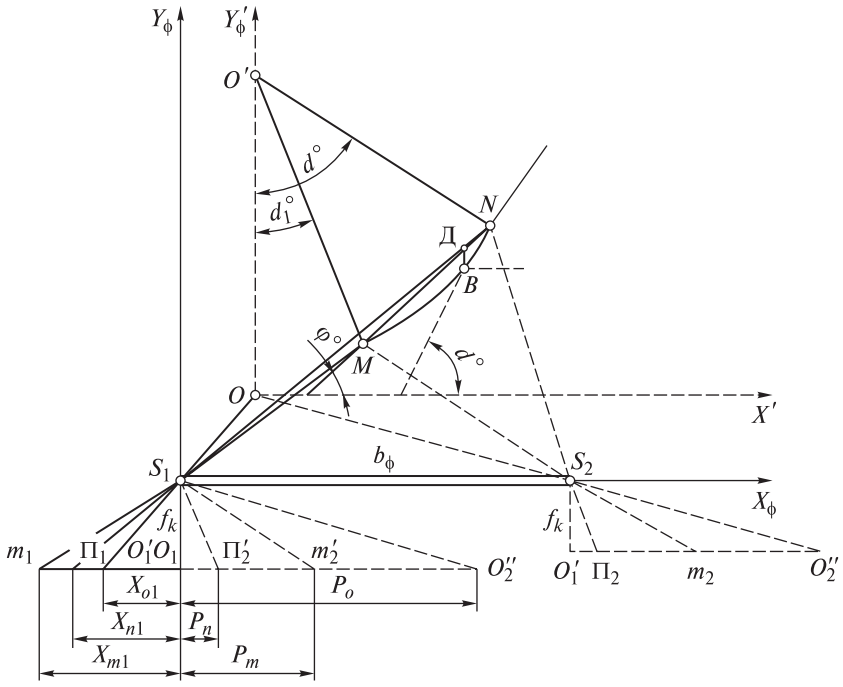


Рис. 5. Определение расстояния видимости при $K > K_{mв}$
Fig. 5. Determining the visibility distance at $K > K_{mв}$

и

$$BN = \frac{в_ф\left[K - f_k\left(p_m - p_в\right)\right]}{p_m p_в \cos\alpha\left(tg\alpha - K\right)}. \quad (23)$$

При выведении формулы (23) для определения отрезка BN (см. рис. 5) было принято во внимание, что $K_{mв}$ в свою очередь вычисляется из выражения (5), а K — из уравнения (3). Подставляя в формулу (21) вместо $\cup MB$ и BN выражения (22) и (23), получим зависимость для определения величины расстояния видимости S_0 при $K > K_{mв}$, которая будет иметь вид

$$S_0 = R_i^r\left(\alpha - \alpha_1\right) + \frac{в_ф\left[K - f_k\left(p_m - p_в\right)\right]}{p_m p_в \cos\alpha\left(tg\alpha - K\right)}. \quad (24)$$

В формуле (24) полярный угол α_1 определяется из уравнения (19), а α — угол поворота кривой.

Оценку точности определения величины расстояния видимости методом наземной стереофотограмметрии применительно к рассмотренным случаям можно выполнить по формуле

$$m_{S_0} = \frac{Y_{\max}}{f_k}\sqrt{\frac{Y_{\max}^2 x_1^2}{f_k^2 b_ф^2} m_p^2 + m_x^2 + \frac{x_1^2 m_b^2}{b_ф^2}}. \quad (25)$$

В случае полного или частичного отсутствия видимости на закруглении возникает необходимость в разработке мероприятий по улучшению условий движения, в число которых входит устранение помех, т. е. производство срезки.

Определение размеров срезки, ее площади $S_{ср}$ и объема $V_{ср}$ является необходимым для решения инженерных задач, а также при выборе и сравнении вариантов по улучшению условий движения на закруглениях лесовозных автомобильных дорог. Вопросу определения размеров среза (площади, объема) при отсутствии видимости на кривой посвящены работы [24, 25]. Существующие способы определения величины срезки являются приближенными и не обеспечивают достаточной точности ее измерения, причем все основные виды работ по установлению величины срезки выполняются в полевых условиях. В силу этих недостатков существующих способов определения величины срезки на закруглении в период его реконструкции возникла необходимость в разработке новых методов измерения срезки при отсутствии видимости на кривой.

Рассмотрим определение площади и объема срезки аналитическим способом при отсутствии видимости на закруглении с использованием материалов наземной стереофотограмметрической съемки, основанном на математическом описании кривой видимости и препятствия, являющегося помехой для обеспечения нормальной видимости водителям на этом закруглении. Сущность предлагаемого способа заключается в сравнении фотограмметрических координат $Y_{ф_1}$, $Y_ф$ кривой видимости S_0 и фототеодолитного хода j, j_1, j_2, проложенного по контуру препятствия.

Площадь срезки $S_{ср}$ находится как разность двух площадей (см. рис. 1), а именно площади трапеции $X_{ф1}\, j\, j_2\, X_{ф2}$, ограниченной фототеодолитным ходом, координатами $Y_{j_{1,2}}$ соответствующих точек этого хода и осью $X_ф$ (см. рис. 1) фотограмметрической системы координат минус площадь криволинейной трапеции, представляющей собой контур $X_{ф1}\, j_1'\, j_2'\, X_{ф2}$ (см. рис. 1), ограниченный участком кривой видимости, ординатами $Y_{j'_{1,2}}$ соответствующих точек кривой видимости и осью $X_ф$. Площадь срезки в таком случае будет

$$S_{ср}^{n} = S_{тр} - S_{кр}, \tag{26}$$

где $S_{ср}^{n}$ — площадь срезки;

$S_{тр}$ — площадь трапеции $X_{ф1} j j_2 X_{ф2}$ (см. рис. 1);

$S_{кр}$ — площадь криволинейной трапеции $X_{ф1}$ $j_1' j_2' X_{ф2}$ (см. рис. 1).

Площадь трапеции $X_{ф1}\, j\, j_2\, X_{ф2}$ (см. рис. 1)для нормального случая съемки будет равна

$$S_{тр} = \frac{Y_{ф_1} + Y_{ф_2}}{2}\left(X_{ф_1} - X_{ф_2}\right). \tag{27}$$

Подставляя координаты точек препятствия, измеренные на фотоснимке и их продольные параллаксы в формулу (27) вместо $X_{ф_1}, Y_{ф_1}, X_{ф_2}, Y_{ф_2}$, получим

$$S_{тр} = \frac{b_ф^2 f_k \left(p_{j2} + p_{j1}\right)\left(x_{1j2} p_{j1} - x_{1j1} p_{j2}\right)}{2 p_{j1}^2 p_{j2}^2}, \tag{28}$$

где x_{1j1}, x_{1j2} — координаты точек j_1 и j_2 препятствия, измеренные на фотоснимке;

p_{j1}, p_{j2} — продольные параллаксы точек j_1 и j_2.

Площадь криволинейной трапеции $X_{ф1} j_1' j_2' X_{ф2}$ (см. рис. 1) можно определить по формуле

$$S_{кр} = \int_{\varphi_1}^{\varphi_2} Y(\varphi) X'(\varphi)\, d(\varphi), \tag{29}$$

где $Y(\varphi)$ — уравнение кривой видимости;

φ_1, φ_2 — углы, соответствующие дугам j, j_1 и j_1', j_2';

S — площадь криволинейной трапеции;

$X'(\varphi)$ — производная по параметру φ.

Уравнение кривой видимости $Y(\varphi)$ можно представить в виде

$$Y(\varphi) = \frac{C3D2 - D3C2}{C1D2 - D1C2}, \tag{30}$$

где

$$C3 = R_i^r\left[\sin\varphi + \left(\beta - \varphi\right)\cos\varphi\right] \tag{31}$$

$$D2 = \cos\left(\alpha - \frac{\varphi}{2}\right); \tag{32}$$

$$D3 = R_i^r\left(\varphi - \beta\right)\cos\left(\frac{\varphi}{2}\right); \tag{33}$$

$$C2 = -\left[2\sin\left(\frac{\varphi}{2}\right)\sin\left(2 - \frac{\varphi}{2}\right) + (\beta - \varphi)\sin\alpha\right]; \tag{34}$$

$$D1 = \sin\left(\alpha - \frac{\varphi}{2}\right); \tag{35}$$

$$C1 = 2\sin\left(\frac{\varphi}{2}\right)\cos\left(\alpha - \frac{\varphi}{2}\right) + (\beta - \varphi)\cdot\cos\alpha. \tag{36}$$

В формулах (31) — (36) введены обозначения:

α — угол поворота кривой;

φ — угол, опирающийся на дугу j_1', j_2', равную S;

β — угол, опирающийся на дугу jHK, равный S_0.

Угол φ — переменный, так как опирается на дугу S, которая может изменяться и быть меньше величины расстояния видимости, т. е. $S < S_0$, а угол φ может изменяться в пределах $0° \le \varphi \le \beta$.

Значение угла β, соответствующего дуге S_0, можно получить по формуле

$$\beta = \mathrm{arctg}\left(\frac{S_0}{R_i^r}\right). \tag{37}$$

Величину угла φ можно определить из выражения

$$\varphi = \mathrm{arctg}\left(\frac{S}{R_i^r}\right). \tag{38}$$

Подставляя в формуле (38) вместо S его значение, имеем

$$\varphi = \mathrm{arctg}\left[\frac{в_ф\sqrt{\left(x_{1j2} p_{j1} - x_{1j1} p_{j2}\right)^2 + f_k^2\left(p_{j1} - p_{j2}\right)}}{R_i^r p_{j1} p_{j2}}\right]. \tag{39}$$

Величину $X'(\varphi)$ можно найти по следующей формуле

$$X'(\varphi) = \frac{\left[C1'D3 + C1D3' - D1'C3 - D1C3'\right]DE}{DE^2} - \frac{(C1D3 - D1C3)DE'}{DE^2}, \tag{40}$$

где $C1' = \cos(\varphi - \alpha) - \cos\alpha$; (41)

$$D3' = R_i^r\left[\cos\left(\frac{\varphi}{2}\right) - \frac{1}{2}\left(\beta - \varphi\right)\sin\left(\frac{\varphi}{2}\right)\right]; \tag{42}$$

$$D1' = -\frac{1}{2}\cos\left(2 - \frac{\varphi}{2}\right); \quad (43)$$

$$C3' = -R_i^r\left(\beta - \varphi\right)\sin\varphi; \quad (44)$$

$$DE' = C1'D2 + C1D2' - D1'C2 - D1C2'; \quad (45)$$

$$D2' = -\frac{1}{2}\sin\left(\alpha - \frac{\varphi}{2}\right), C2' = 2\sin\alpha. \quad (46)$$

На основании приведенных зависимостей (28) — (40) можно представить формулу (26) в общем виде для вычисления полной площади срезки $S_{ср}$, которая будет иметь вид

$$S_{ср} = \sum_{i=1}^{n} S_{ср}^{n}, \quad (47)$$

где n — количество элементарного участка срезки можно найти по формуле

$$V_{ср}^{n} = S_{ср}^{n}\left(z_{ф}^{n} - i\right), \quad (48)$$

где $V_{ср}^{n}$ — объем срезки; $z_{ф}^{n}$ — среднее значение фотограмметрической координаты $z_{ф}$ для участка срезки;

i — высота луча зрения водителя (1,2 м).

Среднее значение величины $z_{ф}$ для участка срезки равно

$$z_{ф}^{n} = \frac{z_1 + z_2 + \ldots + z_n}{n} = \frac{\sum_{i=1}^{n} z_m}{n}, \quad (49)$$

где z_m — координаты точек n, измеренные на фотоснимке; n — номер точки измеряемой величины z_n.

Формула (49) после подстановки в нее значения фотограмметрической координаты для участка срезки примет вид

$$z_{ф}^{n} = \frac{\sum_{i=1}^{n} \frac{в_{ф} z_1}{p}}{n}. \quad (50)$$

Величина элементарного объема срезки $V_{ср}^{n}$ в окончательном виде после подстановки $S_{ср}^{n}$ вместо $z_{ф}^{n}$ из выражения (26) в формулу (31) составляет

$$V_{ср}^{n} = \frac{S_{ср}^{n}\left(\sum_{i=1}^{n} \frac{в_{ф} z_1}{p} - 1,2\right)}{n}. \quad (51)$$

Полный объем всей срезки можно получить из зависимости

$$V_{ср} = \sum_{i=1}^{n} V_{ср}^{n}, \quad (52)$$

где n — количество элементарных срезок.

Оценку точности по определению величин площади и объема срезки методом наземной стереофотограмметрии можно выполнить по следующим формулам:

$$m_{S_{ср}} = 2m_y\sqrt{\frac{y_j^2 x_{1j}^2}{f_k^2} + \Delta x_j^2} \quad (53)$$

и

$$m_{v_{ср}} = m_y\sqrt{S_{ср}^2 m_z^2 z_{ф}^{n^2} m_{ср}^2}. \quad (54)$$

Таким образом, материалы наземной стереофотограмметрической съемки позволяют получить объективную и качественную информацию о лесовозной автомобильной дороге и перенести трудоемкие измерительные операции в камеральный процесс.

Выводы

В результате проведенных исследований по определению видимости на горизонтальных кривых в плане лесовозной автомобильной дороги получены зависимости для определения величины расстояния видимости методом наземной стереофотограмметрии, применительно к горизонтальным кривым в плане дороги; выполнена оценка точности определения расстояния видимости по материалам наземной стереофотограмметрии. В случае отсутствия видимости на горизонтальных кривых автомобильных дорог предложены зависимости для определения площади и объема срезки, а также установлены зависимости для оценки точности выполненных измерений.

Список литературы

[1] 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 им. Императора Петра I, 2019. С. 330–335.

[2] Белокуров В.П., Дорохин С.В. Транспортная психология. Воронеж: Изд-во Воронежского государственного лесотехнического университета им. Г.Ф. Морозова, 2016. 329 с.

[3] Жалко М.Е., Бургонутдинов А.М., Бурмистрова О.Н., Ченушкина С.В., Данилов В.В. Разработка методов повышения транспортно-эксплуатационных показателей лесовозных автомобильных дорог, работающих в сложных природно-климатических условиях // Деревообрабатывающая промышленность, 2022. № 1. С. 10–17.

[4] Миронюк В.П., Фиалкин В.В. Анализ основных направлений развития САПР автомобильных дорог для реализации концепции жизненного цикла автомобильных дорог // САПР и ГИС автомобильных дорог, 2014. № 1 (2). С. 31–35.

[5] Кравченко В.Е., Самцов В.В., Тихомиров П.В., Никитин В.В., Болтнев Д.Е., Мацнев М.В. Анализ влияния погодно-климатических факторов на системы комплекса водитель — автомобиль — дорога — среда // Молодежный вектор развития аграрной науки. Воронеж: Изд-во Воронежского государственного аграрного университета им. Императора Петра I, 2019. С. 125–132

[6] Кривко Е.В. Технико-экономическая оценка проектируемых геометрических элементов автомобильной дороги // Вестник Инженерной школы Дальневосточного федерального университета, 2020. № 2 (43). С. 155–166.

[7] 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 им. Императора Петра I, 2020. С. 281–285.

[8] Козлов В.Г., Скрыпников А.В., Абасов М.А., Никитин В.В., Самцов В.В. Влияние погодно-климатических факторов на системы комплекса «водитель — автомобиль — дорога — среда» // Транспорт. Транспортные сооружения. Экология, 2019. № 1. С. 30–36.

[9] Бойков В.Н., Петренко Д.А., Люст С.Р., Скворцов А.В. Система автоматизированного проектирования автомобильных дорог INDORCAD/ROAD // Вестник Томского государственного университета, 2003. № 280. С. 350–353.

[10] Ращупкин С.В., Исаченков В.С. Технико-экономический анализ транспортно-эксплуатационных показателей лесовозных автомобильных дорог // Тр. Белорус. государственного технологического университета. Серия 2. Лесная и деревообрабатывающая промышленность. 2003. № 11. С. 150–153.

[11] Рахимова И.А., Филиппов М.Д. Совершенствование требований к геометрическим элементам автомобильных дорог на участках с автоматическими пунктами весогабаритного контроля // Дороги и мосты. 2021. № 2 (46). С. 31–52.

[12] Мануковский А.Ю., Кожанова Е.А., Востриков Д.А. Воздействие лесовозных автомобильных дорог на экологию // Актуальные направления научных исследований XXI века: теория и практика, 2018. Т. 6. № 7 (43). С. 305–309.

[13] Гоптарев С.М., Морковин В.А., Попов Н.С. Инновационные методы строительства временных лесовозных автомобильных дорог // Актуальные направления научных исследований XXI века: теория и практика, 2020. Т. 8. № 3 (50). С. 28–35.

[14] Karelina M.Yu., Pospelov P.I., Trofimenko Yu.V., Terentyev A.V., Tatashev A.G., Yashina M.V. Mathematical models for traffic flows on highways with intersections and junctions // T-Comm, 2021, t. 15, no. 11, pp. 61–68.

[15] Тихомиров П.В., Швецова В.В., Саранов И.А., Сапелкин Р.С., Брюховецкий А.Н., Щербаков Е.Д. Определение геометрических элементов лесовозных автомобильных дорог по средствам современных IT-технологий // Теория и практика инновационных технологий в АПК. Материалы Нац. науч.-практ. конф., Воронеж, 10 марта – 23 апреля 2020 г. Воронеж: Изд-во Воронежского государственного аграрного университета им. Императора Петра I, 2022. С. 134–157.

[16] Исаченко А.Г. Ландшафтоведение и физико-географическое районирование. М.: Высш. шк., 1991. 366 с.

[17] Prokopets V.S., Skrypnikov A.V., Volodina Yu.Yu., Boykov P.A., Bondarev A.B., Borovlev Yu.A. Influence of the strength of the road structure on the resistance to movement // Теория и практика инновационных технологий в АПК. Материалы Нац. науч.-практ. конф., Воронеж, 19–21 апреля 2022 г. Воронеж: Изд-во Воронежского государственного аграрного университета им. Императора Петра I, 2022. С. 168–186

[18] Кузнецов Ю.В., Исмайл У.Г. Современные средства оперативного контроля состояния автомобильных дорог — необходимый элемент интеллектуальных транспортных систем // Наука и техника в дорожной отрасли, 2021. № 2 (96). С. 16–18.

[19] Морозов П.И. Проектирование и планирование обустройства лесовозных автомобильных дорог // Лесотехнический журнал, 2011. № 2. С. 36-41

[20] Бездельникова О.А., Шепелева Л.В. Расчет объемов дорожной одежды при ремонте автомобильных дорог в INDORCAD/ROAD // Вестник МГСУ, 2022. Т. 17. № 5. С. 655–662.

[21] Мануковский А.Ю., Ржевская Е.А., Востриков Д.А. Особенности дренажных конструкций при проектировании лесовозных автомобильных дорог // Актуальные направления научных исследований XXI века: теория и практика, 2018. Т. 6. № 7 (43). С. 237–240.

[22] Рыбников П.С. Обеспечение видимости на примыканиях лесовозных автомобильных дорог // Лесотехнический журнал, 2012. № 3 (7). С. 70–80.

[23] Бабков В.Ф. Ландшафтное проектирование автомобильных дорог. М.: Транспорт, 1980. 189 с.

[24] Tao C., Qi J., Wang H., Li H., Li Y. Spatial information inference net: road extraction using road-specific contextual information // ISPRS J. of Photogrammetry and Remote Sensing, 2019. T. 158. C. 155–166.

[25] Гарус И.А., Огар П.М., Рунова Е.М. Теоретическое обоснование оценки транспортно- эксплуатационных качеств лесовозной автомобильной дороги по показателю маршрутной скорости движения // Системы. Методы. Технологии, 2020. № 3 (47). С. 88–94.

Сведения об авторах

Тихомиров Петр Викторович — канд. техн. наук, доцент, зав. кафедрой транспортно-технологических машин и сервиса, ФГБОУ ВО «Брянский государственный инженерно-технологический университет» (БГИТУ), vtichomirov@mail.ru

Скрыпников Алексей Алексеевич — студент, ФГБОУ ВО «Воронежский государственный университет инженерных технологий» (ВГУИТ), aleksei-skrypnikov@inbox.ru

Володина Юлия Юрьевна✉ — преподаватель, ФГБОУ ВО «Воронежский государственный университет инженерных технологий» (ВГУИТ), juliya_volodina@mail.ru

Боровлев Юрий Алексеевич — канд. техн. наук, докторант, ФГБОУ ВО «Воронежский государственный университет инженерных технологий» (ВГУИТ), borovlev-yua@yandex.ru

Картавцев Олег Леонидович — экстерн кафедры информационной безопасности, ФГБОУ ВО «Воронежский государственный университет инженерных технологий» (ВГУИТ), oll_kart@mail.ru

Мирзоев Джавид Джаван-оглы — экстерн кафедры информационной безопасности, ФГБОУ ВО «Воронежский государственный университет инженерных технологий» (ВГУИТ), mirzoev-d@yandex.ru

Поступила в редакцию 14.12.2022.
Одобрено после рецензирования 12.03.2023.
Принята к публикации 14.06.2023.

DETERMINATION OF FOREST LOGGING ROAD VISIBILITY BY GROUND-BASED STEREOPHOTOGRAMMETRY

P.V. Tikhomirov[1], A.A. Skrypnikov[2], Yu.Yu. Volodina[2]✉, Yu.A. Borovlev[2], O.L. Kartavtsev[2], D.D. Mirzoev[2]

[1]Bryansk State Engineering Technological University, 3, Stanke Dimitrov Avenue, 241037, Bryansk, Russia
[2]Voronezh State University of Engineering Technologies, 19, Revolution av., 394036, Voronezh, Russia

juliya_volodina@mail.ru

The article describes a method for determining the visibility on the roundings of logging roads based on the materials of ground-based photo and video recording. The essence of this method is to compare the spatial photogrammetric coordinates of the points of the visibility zone. The obstacle zone and the visibility zone are considered in the same photogrammetric coordinate system, and the design center of this system coincides with the left end of the photovideo recording basis. Studies are given to determine the magnitude of the visibility distance on the horizontal curves of logging roads in the presence of an obstacle in relation to the normal case of shooting. Measures to improve traffic conditions on the roundings of logging roads in the event of a complete or partial lack of visibility are also considered. In the course of the research, dependences were obtained to determine the value of the visibility distance by the method of ground-based stereophotogrammetry, in relation to horizontal curves in the road plan; the assessment of the accuracy of determining the distance of visibility based on the materials of ground-based stereophotogrammetry was carried out. In the case of lack of visibility on the horizontal curves of roads, dependencies are proposed to determine the area and volume of the cut, and dependencies are established to assess the accuracy of the measurements performed.
Keywords: logging road, reconstruction, visibility, curves, ground stereophotogrammetric survey

Suggested citation: Tikhomirov P.V., Skrypnikov A.A., Volodina Yu.Yu., Borovlev Yu.A., Kartavtsev O.L., Mirzoev D.D. *Opredeleniye vidimosti v plane lesovoznoy avtomobil'noy dorogi metodom nazemnoy stereofotogrammetrii* [Determination of forest logging road visibility by ground-based stereophotogrammetry]. Lesnoy vestnik / Forestry Bulletin, 2023, vol. 27, no. 4, pp. 159–171. DOI: 10.18698/2542-1468-2023-4-159-171

References

[1] 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 uchenykh 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.

[2] Belokurov V.P., Dorokhin S.V. *Transportnaya psikhologiya* [Transport psychology]. Voronezh: VGLTU, 2016, 329 p.

[3] Zhalko M.E., Burgonutdinov A.M., Burmistrova O.N., Chenushkina S.V., Danilov V.V. *Razrabotka metodov povysheniya transportno-ekspluatatsionnykh pokazateley lesovoznykh avtomobil'nykh dorog, rabotayushchikh v slozhnykh prirodno-klimaticheskikh usloviyakh* [Development of methods for improving the transport and operational performance of logging roads operating in difficult natural and climatic conditions]. Derevoobrabatyvayushchaya promyshlennost' [Woodworking Industry], 2022, no. 1, pp. 10–17.

[4] Mironyuk V.P., Fialkin V.V. *Analiz osnovnykh napravleniy razvitiya SAPR avtomobil'nykh dorog dlya realizatsii kontseptsii zhiznennogo tsikla avtomobil'nykh dorog* [Analysis of the main directions of development of CAD for roads for the implementation of the concept of the life cycle of roads]. CAD and GIS of roads, 2014, no. 1 (2), pp. 31–35.
[5] 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.
[6] Krivko E.V. *Tekhniko-ekonomicheskaya otsenka proektiruemykh geometricheskikh elementov avtomobil'noy dorogi* [Technical and economic assessment of the designed geometric elements of the highway]. Vestnik Inzhenernoy shkoly Dal'nevostochnogo federal'nogo universiteta [Bulletin of the Engineering School of the Far Eastern Federal University], 2020, no. 2 (43), pp. 155–166.
[7] 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.
[8] Kozlov V.G., Skrypnikov A.V., Abasov M.A., Nikitin V.V., Samtsov V.V. *Vliyanie pogodno-klimaticheskikh faktorov na sistemy kompleksa «voditel' — avtomobil' — doroga — sreda»* [Influence of weather and climatic factors on the systems of the complex «driver — car — road — environment»]. Transport. Transportnye sooruzheniya. Ekologiya [Transport. Transport facilities. Ecology], 2019, no. 1, pp. 30–36.
[9] Boykov V.N., Petrenko D.A., Lyust S.R., Skvortsov A.V. *Sistema avtomatizirovannogo proektirovaniya avtomobil'nykh dorog INDORCAD/ROAD* [Computer-aided design of highways INDORCAD/ROAD]. Vestnik Tomskogo gosudarstvennogo universiteta [Bulletin of the Tomsk State University], 2003, no. 280, pp. 350–353.
[10] Rashchupkin S.V., Isachenkov V.S. *Tekhniko-ekonomicheskiy analiz transportno-ekspluatatsionnykh pokazateley lesovoznykh avtomobil'nykh dorog* [Technical and economic analysis of transport and operational indicators of logging roads]. Trudy Belorusskogo gosudarstvennogo tekhnologicheskogo universiteta. Seriya 2. Lesnaya i derevoobrabatyvayushchaya promyshlennost' [Proceedings of the Belarusian State Technological University. Series 2. Forestry and woodworking industry], 2003, no. 11, pp. 150–153.
[11] Rakhimova I.A., Filippov M.D. *Sovershenstvovanie trebovaniy k geometricheskim elementam avtomobil'nykh dorog na uchastkakh s avtomaticheskimi punktami vesogabaritnogo kontrolya* [Improving the requirements for the geometric elements of highways in areas with automatic points of weight and size control]. Dorogi i mosty [Roads and bridges], 2021, no. 2 (46), pp. 31–52.
[12] Manukovskiy A.Yu., Kozhanova E.A., Vostrikov D.A. *Vozdeystvie lesovoznykh avtomobil'nykh dorog na ekologiyu* [The impact of logging roads on the environment]. Aktual'nye napravleniya nauchnykh issledovaniy XXI veka: teoriya i praktika [Actual directions of scientific research of the XXI century: theory and practice], 2018, v. 6, no. 7 (43), pp. 305–309.
[13] Goptarev S.M., Morkovin V.A., Popov N.S. *Innovatsionnye metody stroitel'stva vremennykh lesovoznykh avtomobil'nykh dorog* [Innovative methods for the construction of temporary logging roads]. Aktual'nye napravleniya nauchnykh issledovaniy XXI veka: teoriya i praktika [Actual directions of scientific research of the XXI century: theory and practice], 2020, v. 8, no. 3 (50), pp. 28–35.
[14] Karelina M.Yu., Pospelov P.I., Trofimenko Yu.V., Terentyev A.V., Tatashev A.G., Yashina M.V. Mathematical models for traffic flows on highways with intersections and junctions. T-Comm, 2021, t. 15, no. 11, pp. 61–68.
[15] Tikhomirov P.V., Shvetsova V.V., Saranov I.A., Sapelkin R.S., Bryukhovetskiy A.N., Shcherbakov E.D. *Opredelenie geometricheskikh elementov lesovoznykh avtomobil'nykh dorog po sredstvam sovremennykh IT-tekhnologiy* [Determination of the geometric elements of logging roads using modern IT-technologies]. Teoriya i praktika innovatsionnykh tekhnologiy v APK. Materialy natsional'noy nauchno-prakticheskoy konferentsii [Theory and practice of innovative technologies in the agro-industrial complex. Proceedings of the National Scientific and Practical Conference], Voronezh, March 10–April 23, 2020 Voronezh: Voronezh State Agrarian University. Emperor Peter I, 2022, pp. 134–157.
[16] Isachenko A.G. *Landshaftovedenie i fiziko-geograficheskoe rayonirovanie* [Landscape science and physical-geographical zoning]. Moscow: Higher School, 1991, 366 p.
[17] Prokopets V.S., Skrypnikov A.V., Volodina Yu.Yu., Boykov P.A., Bondarev A.B., Borovlev Yu.A. Influence of the strength of the road structure on the resistance to movement. Teoriya i praktika innovatsionnykh tekhnologiy v APK. Materialy natsional'noy nauchno-prakticheskoy konferentsii [Theory and practice of innovative technologies in the agro-industrial complex. Proceedings of the National Scientific and Practical Conference], Voronezh, April 19–21, 2022. Voronezh: Voronezh State Agrarian University Emperor Peter I, 2022, pp. 168–186.
[18] Kuznetsov Yu.V., Ismayl U.G. *Sovremennye sredstva operativnogo kontrolya sostoyaniya avtomobil'nykh dorog — neobkhodimyy element intellektual'nykh transportnykh sistem* [Modern means of operational control of the state of roads — a necessary element of intelligent transport systems]. Nauka i tekhnika v dorozhnoy otrasli [Science and technology in the road industry], 2021, no. 2 (96), pp. 16–18.
[19] Morozov P.I. *Proektirovanie i planirovanie obustroystva lesovoznykh avtomobil'nykh dorog* [Design and planning of the arrangement of logging roads]. Lesotekhnicheskiy zhurnal [Lesotechnical journal], 2011, no. 2, pp. 36–41.
[20] Bezdel'nikova O.A., Shepeleva L.V. *Raschet ob'emov dorozhnoy odezhdy pri remonte avtomobil'nykh dorog v INDORCAD/ROAD* [Calculation of the volume of pavement during the repair of roads in INDORCAD / ROAD]. Vestnik MGSU, 2022, v. 17, no. 5, pp. 655–662.
[21] Manukovskiy A.Yu., Rzhevskaya E.A., Vostrikov D.A. *Osobennosti drenazhnykh konstruktsiy pri proektirovanii lesovoznykh avtomobil'nykh dorog* [Features of drainage structures in the design of logging roads]. Aktual'nye napravleniya nauchnykh issledovaniy XXI veka: teoriya i praktika [Actual directions of scientific research of the XXI century: theory and practice], 2018, v. 6, no. 7 (43), pp. 237–240.
[22] Rybnikov P.S. *Obespechenie vidimosti na primykaniyakh lesovoznykh avtomobil'nykh dorog* [Ensuring visibility at the junctions of logging roads]. Lesotekhnicheskiy zhurnal [Forestry Engineering Journal], 2012, no. 3 (7), pp. 70–80.

[23] Babkov V.F. *Landshaftnoe proektirovanie avtomobil'nykh dorog* [Landscape design of highways]. Moscow: Transport, 1980, 189 p.
[24] Tao C., Qi J., Wang H., Li H., Li Y. Spatial information inference net: road extraction using road-specific contextual information. ISPRS J. of Photogrammetry and Remote Sensing, 2019, v. 158, pp. 155–166.
[25] Garus I.A., Ogar P.M., Runova E.M. *Teoreticheskoe obosnovanie otsenki transportno- ekspluatatsionnykh kachestv lesovoznoy avtomobil'noy dorogi po pokazatelyu marshrutnoy skorosti dvizheniya* [Theoretical justification for assessing the transport and operational qualities of a logging road in terms of route speed]. Sistemy. Metody. Tekhnologii [Systems. Methods. Technologies], 2020, no. 3 (47), pp. 88–94.

Authors' information

Tikhomirov Petr Viktorovich — Cand. Sci. (Tech.), Associate Professor, Head of the Department of Transport and Technological Machines and Service of the Bryansk State Engineering Technological University, vtichomirov@mail.ru

Skrypnikov Aleksey Alekseevich — student, Voronezh State University of Engineering Technologies, aleksei-skrypnikov@inbox.ru

Volodina Yuliya Yur'evna✉ — Lecturer, Voronezh State University of Engineering Technologies, juliya_volodina@mail.ru

Borovlev Yuriy Alekseevich — Cand. Sci. (Tech.), doctoral student, Voronezh State University of Engineering Technologies, borovlev-yua@yandex.ru

Kartavtsev Oleg Leonidovich — external student of the Department of Information Security, State Budget Educational Institution of Higher Education «Voronezh State University of Engineering Technologies», oll_kart@mail.ru

Mirzoev Dzhavid Dzhavan-ogly — external student of the Department of Information Security, Voronezh State University of Engineering Technologies», mirzoev-d@yandex.ru

Received 14.12.2022.
Approved after review 12.03.2023.
Accepted for publication 14.06.2023.

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

УДК 630*233
DOI: 10.18698/2542-1468-2023-4-172-184
Шифр ВАК 4.3.4

ПРОГРАММНОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ В ЛЕСНОМ ХОЗЯЙСТВЕ И ПРИ ЛЕСОЗАГОТОВКАХ

А.Н. Заикин[1]✉, В.В. Сиваков[1], В.В. Никитин[2], А.А. Брионес[2]

[1]ФГБОУ ВО «Брянский государственный инженерно-технологический университет», 241037, Россия, г. Брянск, пр. Станке Димитрова, д. 3
[2]ФГБОУ ВО «Московский государственный технический университет имени Н.Э. Баумана (Национальный университет)» (Мытищинский филиал), Россия, 141005, Московская обл., г. Мытищи, ул. 1-я Институтская, д. 1

zaikin.anatolij@yandex.ru

Рассмотрено влияние информатизации на повышение эффективности функционирования предприятий лесного хозяйства. Установлено, что на предприятиях лесного комплекса применяются информационные технологии, основанные на современных стандартах управления предприятием. Определено, что направления деятельности предприятий лесного комплекса отличаются разнообразием, которое не позволяет создать простое и эффективное решение для всех видов деятельности, при этом наиболее компьютеризировано лесное хозяйство в плане учета ресурсов с широким внедрением геоинформационных технологий, где применяется достаточно много как авторских, так и коммерческих программных продуктов, большое внимание уделяется вопросам, связанным с наполнением электронных баз данных картографической и таксационной информацией о лесном фонде, отводе лесосек, лесопатологических обследованиям, хранению материалов лесоустройств, подготовке отчетов. Проведенные исследования данного класса программ показали, что они могут работать как в локальном, так и сетевом режимах, в том числе с использованием сети интернет. Установлено, что менее развито направление, связанное с моделированием лесохозяйственной деятельности по повышению эффективности роста древостоев, коммерческие программные продукты отсутствуют, но есть авторские разработки. Выявлено, что в области лесозаготовок имеется программное обеспечение, применяемое ведущими производителями лесозаготовительной техники (Jonh Deere, Komatsu, Ponsse) и ряд авторских некоммерческих решений. Определено, что в области информационного обеспечения лесозаготовок имеется достаточно большое число информационных сайтов, а также авторских баз данных, содержащих информацию по определенным направлениям. Проведенные нами исследования показали, что используемое в РФ программное обеспечение не обеспечивает комплексной информатизации деятельности предприятий лесного хозяйства и лесозаготовок, что снижает их эффективность.
Ключевые слова: программное обеспечение, лесной комплекс, лесохозяйственные работы, лесозаготовки, ГИС

Ссылка для цитирования: Заикин А.Н., Сиваков В.В., Никитин В.В., Брионес А.А. Программное обеспечение в лесном хозяйстве и при лесозаготовках // Лесной вестник / Forestry Bulletin, 2023. Т. 27. № 4. С. 172–184. DOI: 10.18698/2542-1468-2023-4-172-184

Развитие науки, производства, общества обусловило повсеместное применение информационных баз данных и создание необходимых условий для их разработки, внедрения и эксплуатации. Цифровизация является одним из основных трендов в развитии промышленности, в том числе и в лесном комплексе, где требуется осуществлять учет лесных ресурсов, проводимые мероприятия по уходу за лесом, лесозаготовки и деревообработку.

Цель работы

Цель работы — анализ существующих прикладных программ, предназначенных для планирования деятельности производственных систем и управления ими, а также оценка степени их применимости для предприятий лесного комплекса России.

© Автор(ы), 2023

Материалы и методы

Рассмотрим программное обеспечение лесозаготовительного процесса. Программы известных компаний (например, 1С) используют в основном учетные функции, не затрагивая прогнозирование технологических и производственных процессов. Прогнозирование производственных процессов является чрезвычайно важным для предварительной оценки эффективности проводимых мероприятий и прогноза получаемых результатов в числовом выражении.

В практике планирования производственных процессов, выполняемых под открытым небом, широко применяются геоинформационные системы (ГИС) (табл. 1). Эффективность их использования в лесном секторе экономики весьма высока. Одним из наиболее известных среди них является программный комплекс ARC/INFO, поддерживающий следующие функции [1]:

Таблица 1

ГИС в области ведения лесного хозяйства

GIS in forestry management

Наименование программного продукта	Тип программы	Режим работы	Уровень	Интеграция с другим ПО	Учетные функции	Коммерческая версия
ARC/INFO	Коммерческая	Сетевой	–	–	–	Имеется
Topol–l [4]	«–»	Сетевой, интернет	Область / предприятие	Средняя	Средние	«–»
ЛУ–ГИС ЛХ [6]	Авторская, коммерческая	–	«–»	«–»	«–»	«–»
Аксиома. ГИС [8]	Коммерческая	Сетевой, интернет	«–»	«–»	Высокие	«–»
NextGIS Лес [12]	Авторская, коммерческая	«–»	«–»	«–»	Средние	«–»
Лесовод [13]	Авторская	«–»	Предприятие	«–»	«–»	Нет данных
Forest Book [14]	Авторская, коммерческая	Сетевой	Область	«–»	Высокие	Имеется
AISPOL [15]	«–»	«–»	Область / предприятие	«–»	Средние	«–»
ГИС Formap 2.1-5.4 [16]	Бесплатная / коммерческая	Сетевой, мобильный	Предприятие	Низкая	Низкие	«–»

– разработку долговременной стратегии поставок древесины;

– прогноз ликвидных запасов древесины на срок до 5 лет;

– выбор технологии лесозаготовок;

– начертание перспективной сети дорог с минимальными капитальными вложениями на ее сооружение и эксплуатацию;

– проведение визуального ландшафтного анализа с размещением лесосек;

– установление границ естественных местообитаний представителей фауны;

– моделирование сценариев распространения лесных пожаров;

– осуществление тактического планирования пожаротушения в лесах.

На основе программного комплекса разработана система управления лесами и земельными записями ArcForest [2, 3], позволяющая выполнять следующие работы:

– определять границы лесонасаждений;

– объемы леса на корню и запасов на 1 га;

– распределять насаждения по породному составу;

– рассчитывать количество деревьев и плотность насаждений;

– получать достоверную информацию об изменениях, произошедших за некоторый период времени;

– передавать данные с помощью GPRS-связи.

ООО «ЛесИС» представило на российский рынок ГИС программно-аппаратный комплекс Topol-1, способный выполнять комплекс картографических работ по подготовке, анализу, редактированию и использованию цифровых карт лесных массивов [4].

Основное назначение ГИС для лесозаготовок состоит в предоставлении сведений о природных условиях, в которых разрабатывается лесосека.

Лесоустроительные предприятия ряда регионов России на основе зарубежных ГИС разрабатывают комплексные программы для создания цифровых лесоустроительных планшетов и лесных карт. Во многих регионах России идет создание и использование ГИС, в частности в Ленинградской, Московской, Липецкой, Челябинской, Новгородской, Архангельской и других областях. Например, ООО «Марлеспроект» в г. Йошкар-Оле предлагает базу данных AISPOL, которая позволяет создавать лесоустроительные базы данных, осуществлять картографирование, разрабатывать различные проектные документы по повыдельной базе данных и вести государственный лесной реестр [5].

Лесоустроительная геоинформационная среда ЛУ-ГИС-ЛХ разработана ГУП ДХ АК «Северо-западное ДСУ» на базе программных комплексов WINPLP, WINGIS и применяется для наполнения электронных баз данных картографических и таксационных данных о лесном фонде. Кроме того, эта среда позволяет анализировать и редактировать информацию, которая в дальнейшем используется для формирования пространственно-символьной базы данных (БД) [6].

ГИС «Аксиома» является российской разработкой [7], она дает возможность создавать и редактировать карты, ее интерфейс совместим с MapInfo Pro, а задачами являются сортировка, хранение и дальнейшее использование данных в популярных системах управления базами данных (СУБД) PostgreSQL, Microsoft SQL Server, Oracle, SQL Lite [8].

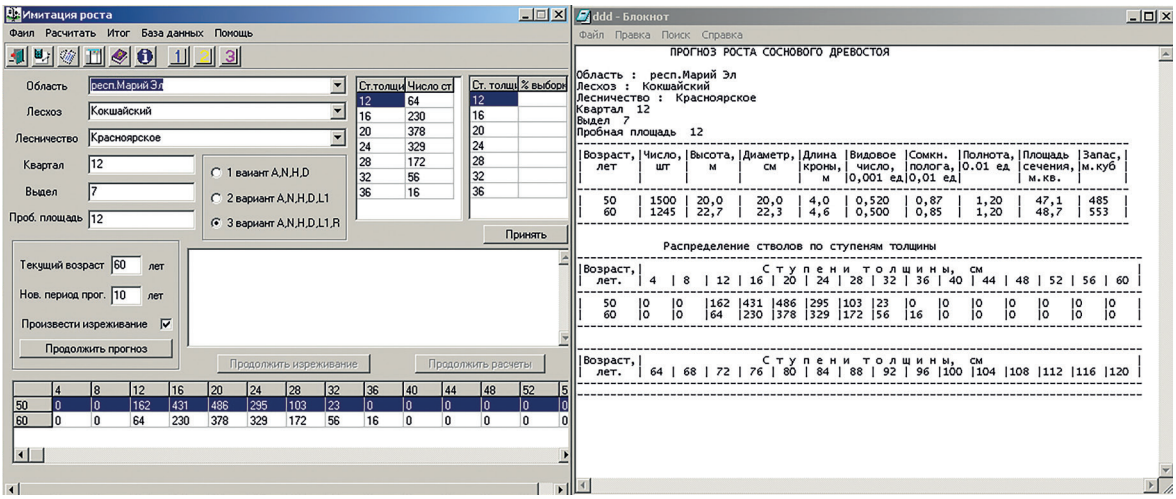


Рис. 1. Интерфейс программы Sosna с результатом расчета
Fig. 1. Sosna software interface with calculation result

Программный комплекс ForestDB является гибкой и мощной системой обработки лесоустроительной информации, осуществляющей импорт/экспорт лесотаксационной информации из других аналогичных систем, которая сокращает время работы над проектом [9].

С помощью программно-аппаратного комплекса ГИС Formap [10] можно создавать графическую и атрибутивную БД по лесничеству, осуществлять работы по таксации, отводу лесосек, лесопатологическим обследованиям, фиксации лесонарушений, хранению материалов лесоустройства и др.

NextGIS Лес — это пакет программ оперативного управления лесохозяйственными данными и формирования отчетности [11], позволяющий создавать предварительные контуры лесосек на основе космоснимков, лесоустроительных планшетов и иной графической информации, осуществлять экспорт созданных контуров лесосек в GPS-приемник и импортировать точки и треки из него, хранение информации о созданных лесосеках в базе данных лесосек, формировать приложения 3 и 4 к лесной декларации в соответствии с приказом Минприроды России от 16.01.2015 г. № 17 [12].

Программный комплекс «Лесовод» разработан как инструмент информационно-аналитической поддержки лесопользователей, обеспечивающий автоматизацию процессов планирования и учета работ на арендуемых участках леса, а также подготовку отчетных материалов об использовании лесов. Программный комплекс разработан с открытым кодом и предоставляет пользователям пространственную 3D информацию, выдавая ее с использованием ГИС и web- технологий [13].

Практически любые задачи, связанные с работой цифровых карт, позволяют решать зарубежные ГИС, в частности Spans Tydac, Geo/Sql Technologies, Wingis Progis, Mapinf Mapping Information Sistems Corporation, Arcade Sri, Atlas Map Strategic Mapping Inc, Arcview.

Таблица 2

Авторские программные продукты в области лесохозяйственной деятельности с моделированием древостоев при локальном режиме работы

Author's forestry software products with stand modelling in local operation mode

Программный продукт	Уровень	Интеграция с ГИС
Sosna [17]	Регион / лесничество	Нет
ПолиСКАН-FS [18]	Регион	Имеется
Оптимизация параметров режимов рубок ухода за лесом [19]	Лесничество	Нет данных

Как показало проведенное нами исследование, в области моделирования лесохозяйственной деятельности используется ряд программных продуктов. В основном это авторские разработки коллективов вузов, выполненные в рамках научно-исследовательских работ или диссертационных исследований (табл. 2).

Примером такой программы является программа Sosna (рис. 1), с помощью которой на основе введенных в базу данных параметров древостоев можно спрогнозировать их рост в течение некоторого периода времени [17].

Программа интеллектуальной поддержки принятия решений по оптимизации параметров режимов рубок ухода [18] дает возможность осуществлять имитационное моделирование хода роста сосновых насаждений разных классов

Таблица 3

Авторские программные продукты в области моделирования лесозаготовок (данные о коммерческом применении отсутствуют)

Author's logging simulation software (no data on commercial application available)

Программный продукт	Режим работы	Уровень
Программа для расчета производительности трелевочного трактора (v1.0) [21]	Локальная /Web	Предприятие
Программа прогнозирования статистического распределения объемов и масс трелюемых пачек деревьев [22]	Локальная	«–»
Расчет схемы волоков на лесосеке с учетом минимизации отрицательного воздействия трелевочной техники на грунты [23]	«–»	«–»
Информационно-аналитическая система «Составление схемы путей первичного транспорта леса на лесосеке с учетом минимизации расходов на топливо» [24]	«–»	«–»
Система поддержки принятия решений при заготовке и транспортировке древесины «Лес-Оптима 2014» [25]	Локальная/Web	«–»
Программа технико-экономического исследования эффективности освоения лесосырьевых участков автомобильным транспортом [26]	Локальная	Регион / Предприятие
Программа расчета режимов работы лесосечных машин [31]	«–»	Предприятие

бонитета в целях отображения динамики основных таксационных показателей насаждений для дальнейшего расчета режимов их оптимального ускоренного выращивания.

Программа формирования региональной пространственной модели лесного комплекса ПолиСКАН-FS использует цифровые пространственные модели леса в жизненном цикле, в том числе в виде традиционных топографических карт, планов угодий, сформированных на основе применения технологии лазерного сканирования, автоматически формирует трехмерную пространственно-атрибутивную модель древостоя на корню, верхних и нижних складов с древесиной. В результате формируется трехмерная пространственная модель лесного хозяйства и лесного комплекса региона, включая модель древесной растительности, пространственно-атрибутивные цифровые модели местности и сведения о населенных пунктах, линейных и узловых объектах транспортно-логистической сети региона. Поэтому программа используется для управления лесохозяйственной деятельностью в масштабе региона [19].

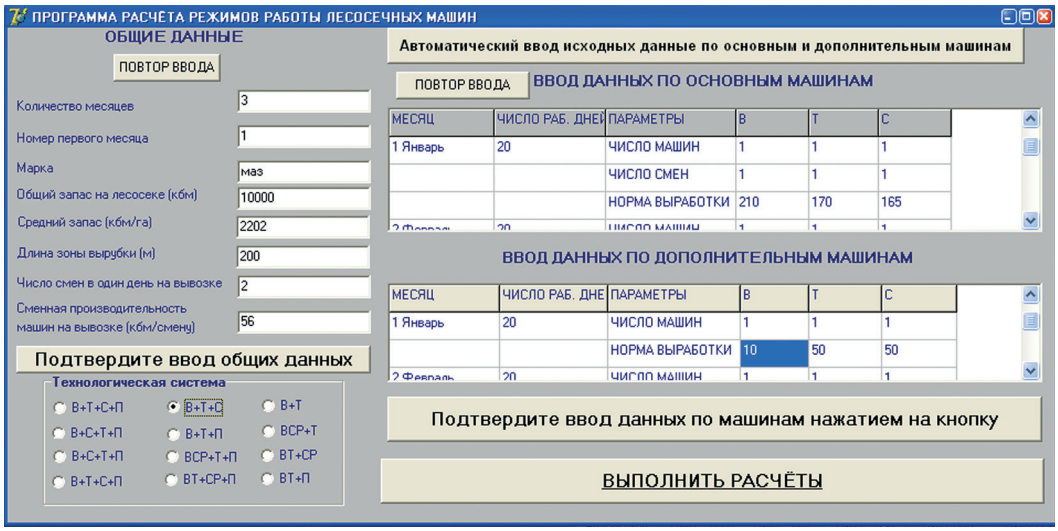
Коммерческих решений, применяющихся для моделирования лесохозяйственной деятельности и управления лесным хозяйством в масштабах региона или страны, нет.

Авторские продукты разработаны также и в области лесозаготовок (табл. 3). В частности, в ФГБОУ ВО «Санкт-Петербургский государственный лесотехнический университет им. С.М. Кирова» (СПбГЛТУ) используется «Программа для расчета производительности трелевочного трактора (v1.0)». С ее помощью осуществляется расчет производительности машин, осуществляющих первичную транспортировку древесины в пределах лесосеки с учетом почвенно-грунтовых условий, различного количества вспомогательных рабочих, среднего объема хлыста, способа трелевки / транспортировки и других природно-производственных условий [20, 21].

В ФГБОУ ВО «Петрозаводский государственный университет» (ПетрГУ) разработана «Программа прогнозирования статистического распределения объемов и масс трелюемых пачек деревьев» [22], позволяющая проведение машинного эксперимента с целью определения объемов и масс пачек деревьев для трелевочных машин, а также спроектирована система, выполняющая расчет схемы волоков с учетом минимизации отрицательного воздействующей на грунты трелевочной техники [23]. Кроме того, в ПетрГУ собрана информационно-аналитическая система «Составление схемы путей первичного транспорта леса на лесосеке с учетом минимизации расходов на топливо» [24], которая предусмотрена для обеспечения энергоэффективности деятельности крупных и средних лесозаготовительных предприятий вследствие уменьшения затрат на горюче-смазочные материалы (ГСМ).

В ФГБОУ ВО «Сибирский государственный университет науки и технологий имени академика М.Ф. Решетнёва» разработана система поддержки принятия решений при заготовке и транспортировке древесины «Лес-Оптима 2014» [25] для обеспечения системной поддержки принятия решений для прогноза и анализа заготовки и транспортировки древесины на уровне лесозаготовительной компании, что частично перекликается с программным комплексом компаний Ponse [26], John Deere [27], Kamatsu [28].

В сфере транспортной логистики функционирует «Программа технико-экономического исследования эффективности освоения лесосырьевых



ДАННЫЕ ПО ОСНОВНЫМ МАШИНАМ

МЕСЯЦ	ЧИСЛО РАБ. ДНЕЙ	ПАРАМЕТРЫ	В	Т	С
		МАРКА МАШИНЫ	ЛП-19	ЛТ-157	ЛП-30Б
1 Январь	20	ЧИСЛО МАШИН	1	1	1
		ЧИСЛО СМЕН	1	1	1
		НОРМА ВЫРАБОТКИ	210	170	165
2 Февраль	20	ЧИСЛО МАШИН	1	1	1
		ЧИСЛО СМЕН	1	1	1
		НОРМА ВЫРАБОТКИ	180	170	210
3 Март	20	ЧИСЛО МАШИН	1	1	1
		ЧИСЛО СМЕН	1	1	1
		НОРМА ВЫРАБОТКИ	165	180	170

ДАННЫЕ ПО ДОПОЛНИТЕЛЬНЫМ МАШИНАМ

МЕСЯЦ	ЧИСЛО РАБ. ДНЕЙ	ПАРАМЕТРЫ	В	Т	С
		МАРКА МАШИНЫ	Урал	ТТ-4	Тайга
1 Январь	20	ЧИСЛО МАШИН	1	1	1
		НОРМА ВЫРАБОТКИ	10	50	50
2 Февраль	20	ЧИСЛО МАШИН	1	1	1
		НОРМА ВЫРАБОТКИ	40	50	10
3 Март	20	ЧИСЛО МАШИН	1	1	1
		НОРМА ВЫРАБОТКИ	50	40	50

РЕЗУЛЬТАТЫ ВЫЧИСЛЕНИЙ

РАЗМЕРЫ ЗАПАСОВ МЕЖДУ ОПЕРАЦИЯМИ

МЕСЯЦ	ЧИСЛО РАБ. ДНЕЙ	ВИД ЗАПАСА	В-Т	Т-С
1 Январь	0	СТРАХОВОЙ	2202.00	0.00
		ГАРАНТИЙНЫЙ	2118.11	0.00
2 Февраль	20	ВИД ЗАПАСА		

Рис. 2. Скриншот интерфейса программы и результата расчета режимов работы лесосечных машин

Fig. 2. Screenshot of the software interface and the calculation result of the harvesting machines

участков автомобильным транспортом» [29], позволяющая проведение технико-экономического исследования эффективности освоения лесосырьевых участков и альтернативных вариантов развития лесной инфраструктуры с помощью автомобильного транспорта.

Программа, позволяющая вести учет режимов работы машин на лесосеке (рис. 2) дает возможность выполнить расчет объемов и темпов создания, пополнения и потребления межоперационных запасов [30]. Она позволяет автоматизировать расчет режимов работы используемых комплек-

Таблица 4

Авторские базы данных в области лесозаготовок в локальном режиме работы MS Excel

Author's logging databases in MS Excel local mode of operation

Наименование БД	Уровень	Производитель лесных машин
Результаты определения затрат на проведение рубок ухода за лесом для системы машин холдинга ОАО «АМКОДОР» (харвестер Амкодор 2541, форвардер Амкодор 2631) в зависимости от различных природно-производственных условий [33]	Предприятие	Амкодор
Результаты определения затрат на проведение рубок ухода за лесом для системы машин шведской компании Vimek AB (харвестер Vimek 404T6, форвардер Vimek 610.2) в зависимости от различных природно-производственных условий [34]	«–»	Vimek
Результаты определения затрат на проведение рубок ухода за лесом для системы машин компании John Deere (харвестер John Deere 1170G, форвардер John Deere 1110G) в зависимости от различных природно-производственных условий [35]	«–»	John Deere
Валочные головки для рубок ухода за лесом, заготовки энергетической древесины, рубок спелых и перестойных насаждений [36]	Предприятие / вуз	Разные
Харвестерные головки для рубок ухода за лесом, заготовки энергетической древесины, рубок спелых и перестойных насаждений [37]	«–»	Разные

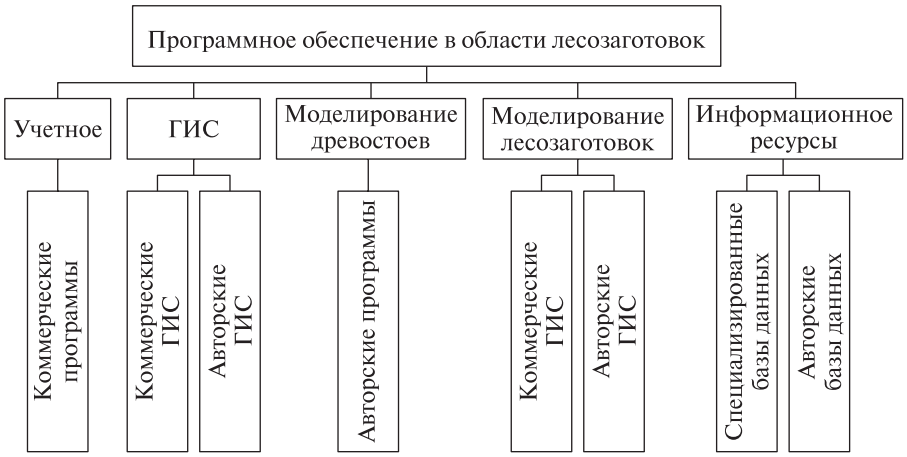


Рис. 3. Классификация программного обеспечения в лесном хозяйстве и лесозаготовках
Fig. 3. Classification of forestry and harvesting software

тов машин для конкретных производственных условий, что позволяет снизить продолжительность работ на лесосеке на 30 %, уменьшить удельные капитальные вложения на 15…20 руб./м^3, а эксплуатационные затраты и отрицательное воздействия на лесные экосистемы — на 12…20 %.

Основные сведения о программных продуктах в области моделирования лесозаготовок приведены в табл. 4.

Развитие интернет-ресурсов не могло не затронуть лесной комплекс. Именно в сети Интернет размещаются тематические лесные сайты и порталы. Кроме того, авторскими коллективами разработаны специализированные БД, зарегистрированные в Роспатенте (см. табл. 4). Например, Ю.Ю. Герасимов и В.С. Сюнев [32] создали БД по харвестерам, форвардерам, манипуляторам, с помощью которых можно найти информацию об основных характеристиках машин, причем эти данные служат входными параметрами при имитационном моделировании работы таких машин.

Результаты и обсуждение

В ходе обзора программных продуктов выявлено, что их разработка и использование сопровождаются написанием специальных программных продуктов или применением имеющегося программного обеспечения (рис. 3).

В целях обеспечения эффективного управления лесами и совершенствования лесной промышленности Правительство РФ разработало Стратегию развития лесного комплекса до 2030 года, в рамках которой с 2025 года все лесопользователи и участники рынка древесины будут обязаны использовать новый электронный ресурс — Федеральную государственную систему лесного комплекса [38], поэтому важным является широкое применение перечисленных программных продуктов в лесном хозяйстве

и при лесозаготовках. Однако, они не охватывают данный рассматриваемый процесс комплексно, зачастую между программными продуктами нет интеграции, что снижает их эффективность. Для решения данной проблемы необходимо организовать интеграцию всей информации в систему управления предприятием класса ERP.

Выводы

Информационные системы для лесозаготовок направлены на расчет входных/выходных параметров процесса или на расчет параметров производства в целом, при этом определение характеристик самого процесса лесозаготовок, его моделирование не осуществляется. В них проводится учет сырья после выполнения всего лесозаготовительного процесса или отдельной операции, но не учитываются технологии выполнения операций, характеристики машин, квалификация специалистов [39].

Рассмотренные продукты полезны для решения какой-либо одной из задач процесса заготовки леса, а не всего комплекса, что снижает их ценность, особенно в условиях цифровизации экономики.

Список литературы

[1] Starr H. Pioneer in the Study of Conflict Processes and International RelationsOpportunity // Willingness and Geographic Information Systems: Reconceptualizing Borders in International Relations, 2021. DOI: 10.1007/978-3-030-78907-7_7

[2] Fan G., Chen F., Li Y., Liu B., Fan X. Development and Testing of a New Ground Measurement Tool to Assist in Forest GIS Surveys // Forests, 2019, v. 10, p. 643. DOI: 10.3390/f10080643

[3] Evdokimova S., Dragina D. Information support forest management planning in the forest GIS // Modeling of systems and processes, 2015, v. 8, pp. 11–14. DOI: 10.12737/12013

[4] ООО «ЛесИС» — ГИС TOPOL-L для лесного хозяйства, лесоустройства и арендаторов лесного фонда. URL: http://www.lesis.ru/index.htm (дата обращения 15.12.2022).

[5] AISPOL. Автоматизированная информационная система для лесоустройства и ведения лесного реестра. URL: https://marlesproekt.ru/

[6] Геоинформационный портал ГИС-Ассоциации – ЛУГИС. URL: http://www.gisa.ru (дата обращения 15.12.2022).

[7] ГИС Аксиома. URL: https://axioma-gis.ru/product/axioma (дата обращения 15.12.2022).

[8] Свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ 2016614626 Российская Федерация. Автоматизированная географическая информационная система «Аксиома» («Аксиома. ГИС») / Л.Г. Борисова, А.А. Гришин, А.В. Корзун, А.В. Семенов; заявитель и правообладатель Общество с ограниченной ответственностью «ЭСТИ». № 2016610973; заявл. 09.02.2016; опубл. 20.05.2016. 1 с.

[9] ForestDB — гибкая и мощная система обработки лесоустроительной информации. URL: http://forestdb.ru/index.php/ru/ (дата обращения 15.12.2022).

[10] ООО Научно-Технический Центр «БОНИТЕТ». URL: https://www.bonitet-ntc.com/gis (дата обращения 15.12.2022).

[11] NextGIS Лес — специализированное решение для лесной отрасли. URL: https://nextgis.ru/blog/nextgis-les-release/ (дата обращения 15.12.2022).

[12] Свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ 2021611924 Российская Федерация. NextGIS Лес / А.А. Дорошков; заявитель и правообладатель Общество с ограниченной ответственностью «НекстГИС». № 2020666129; заявл. 08.12.2020; опубл. 08.02.2021. 1 с.

[13] Свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ 2019663143 Российская Федерация. Программный комплекс «Лесовод» / М.Д. Березкин, А.С. Рыбкин, В.Б. Серебряков, П.А. Тищенко, О.В. Кушнырь; заявитель и правообладатель Акционерное общество «Российская корпорация ракетно-космического приборостроения и информационных систем» (АО «Российские космические системы»). № 2019662098; заявл. 01.10.2019; опубл. 10.10.2019. 1 с.

[14] Свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ 2015619282 Российская Федерация. Региональная информационно-аналитическая система для лесного комплекса «Forest Book» / В.Н. Мишкинис, Г.В. Краснова, А.И. Мишкинис, А.И. Мишкинис, И.А. Мишкинис; заявитель и правообладатель Общество с ограниченной ответственностью «Леспроект». № 2015616081; заявл. 06.07.2015; опубл. 20.09.2015. 1 с.

[15] Свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ 2020612490 Российская Федерация. Автоматизированная обработка лесоустроительной информации AISPOL / Д.В.Черных, Л.В.Черных, В.Л.Черных; заявитель и правообладатель Общество с ограниченной ответственностью «Марлеспроект». № 2019667371; заявл. 19.12.2019; опубл. 25.02.2020. 1 с.

[16] Геоинформационные системы (ГИС) для лесного хозяйства. URL: https://www.bonitet-ntc.com/gis (дата обращения 15.12.2022).

[17] Черных В.Л., Сысуев В.В. Информационные технологии в лесном хозяйстве. Йошкар-Ола: Изд-во МарГТУ, 2000. 378 с.

[18] Свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ 2021663650 Российская Федерация. Программа «ПолиСКАН-FS» формирования пространственной модели лесного хозяйства и лесного комплекса региона (макрорегиона) / И.Ю. Жуков, С.Л. Козлов, А.В. Рогачев, А.С. Русланов; заявитель и правообладатель А.С. Русланов. № 2021662697; заявл. 10.08.2021; опубл. 19.08.2021. 1 с.

[19] Свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ 2014616188 Российская Федерация. Программа информационной технологии интеллектуальной поддержки принятия решений по оптимизации параметров режимов рубок ухода за лесом / В.С. Петровский, В.В. Малышев, Ю.В. Мурзинов; заявитель и правообладатель Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Воронежская государственная лесотехническая академия». № 2014613706; заявл. 22.04.2014; опубл. 20.07.2014. 1 с.

[20] Юдина Н.Ю. Разработка подсистемы автоматизации проектирования процессов технологической подготовки проведения лесосечных работ: дис. ... канд. техн. наук: 05.13.12. Воронеж, 2005. 109 с.

[21] Свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ 2019660449 Российская Федерация. Программа для расчета производительности трелевочного трактора (v1.0) / Е.Г. Хитров, А.В. Андронов; заявитель и правообладатель Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Санкт-Петербургский государственный лесотехнический университет имени С.М. Кирова». № 2019618557; заявл. 12.07.2019; опубл. 06.08.2019. 1 с.

[22] Свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ 2018618978 Российская Федерация. Программа прогнозирования статистического распределения объемов и масс трелюемых пачек деревьев / П.В. Будник, В.Н. Баклагин, И.А. Хюннинен; заявитель и правообладатель Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Петрозаводский государственный университет». № 2018615569; заявл. 30.05.2018; опубл. 24.07.2018. 1 с.

[23] Свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ 2013614304 Российская Федерация. Информационно-аналитическая система «Расчет схемы волоков на лесосеке с учетом минимизации отрицательного воздействия трелюющей техники на грунты» / А.М. Воронова, Л.В. Щеголева; заявитель и правообладатель Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего профессионального образования «Петрозаводский государственный университет». № 2013612034; заявл. 12.03.2013; опубл. 20.06.2013. 1 с.

[24] Свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ 2013614105 Российская Федерация. Информационно-аналитическая система «Составление схемы путей первичного транспорта леса на лесосеке с учетом минимизации расходов на топливо» / А.М. Воронова, Р.В. Воронов; заявитель и правообладатель Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего профессионального образования «Петрозаводский государственный университет». № 2013612037; заявл. 12.03.2013; опубл. 20.06.2013. 1 с.

[25] Свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ 2015612997 Российская Федерация. «Система поддержки принятия решений при заготовке и транспортировке древесины «Лес-Оптима 2014» / В.В. Дрягин, А.П. Мохирев, О.В. Шеверев; заявитель и правообладатель Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего профессионального образования «Сибирский государственный технологический университет». № 2015610090; заявл. 12.01.2015; опубл. 20.03.2015. 1 с.

[26] Информационные системы. URL: https://www.ponsse.com/ru/produkciya/informacionnye-sistemy-opti/produkt/-/p/wood_procurement#/ (дата обращения 10.03.2022).

[27] Решения для эффективной лесозаготовки. URL: https://www.deere.ru/ru/наша-компания/пресс-центр/пресс-релизы/2020/01-2020-решения-для-эффективной-лесозаготовки.html (дата обращения 10.01.2022).

[28] Системы управления Komatsu. URL: https://www.komatsuforest.ru/машины/система-управления (дата обращения: 10.01.2022).

[29] Свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ 2013612406 Российская Федерация. «Программа технико-экономического исследования эффективности освоения лесосырьевых участков автомобильным транспортом»/ В.В. Кашуба, В.С. Суханов, А.Б. Левин, И.С. Новоселов; заявитель и правообладатель В.В. Кашуба, В.С. Суханов, А.Б. Левин, И.С. Новоселов. № 2012661623; заявл. 27.12.2012; опубл. 26.02.2013. 1 с.

[30] Заикин А.Н., Изюмова Е.Г. Теоретические основы технологии лесозаготовительных производств. Брянск: Изд-во БГИТА, 2010. 170 с.

[31] Свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ 2012613073 Российская Федерация. Определение оптимальной последовательности перемещения дополнительных машин / А.Н. Заикин, А.Д. Каштенков, Е.Г. Рыжикова; заявитель и правообладатель Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Брянская государственная инженерно-технологическая академия». № 2012610800; заявл. 09.02.2012; опубл. 29.03.2012. 1 с.

[32] Герасимов Ю.Ю., Сибиряков К.Н. Расчет эксплуатационных затрат лесосечных машин. НИИЛ Финляндии. Йоэнсуу, 2009. 46 с.

[33] Свидетельство о государственной регистрации базы данных 2020621714 Российская Федерация. «Результаты определения затрат на проведение рубок ухода за лесом для системы машин холдинга «АМКОДОР» (харвестер Амкодор 2541, форвардер Амкодор 2631) в зависимости от различных природно-производственных условий» / И.В. Казаков, Н.Н. Булыгина; заявитель и правообладатель Федеральное бюджетное учреждение Всероссийский научно-исследовательский институт лесоводства и механизации лесного хозяйства (ФБУ ВНИИЛМ). № 2020621579; заявл. 08.09.2020; опубл. 18.09.2020. 1 с.

[34] Свидетельство о государственной регистрации базы данных 2020622703 Российская Федерация. «Результаты определения затрат на проведение рубок ухода за лесом для системы машин шведской компании Vimek AB (харвестер Vimek 404T6, форвардер Vimek 610.2) в зависимости от различных природно-производственных условий» / И.В. Казаков, Н.Н. Булыгина; заявитель и правообладатель Федеральное бюджетное учреждение Всероссийский научно-исследовательский институт лесоводства и механизации лесного хозяйства (ФБУ ВНИИЛМ). № 2020622084; заявл. 29.10.2020; опубл. 21.12.2020. 1 с.

[35] Свидетельство о государственной регистрации базы данных 2020622702 Российская Федерация. «Результаты определения затрат на проведение рубок ухода за лесом для системы машин компании John Deere (харвестер John Deere 1170G, форвардер John Deere 1110G) в зависимости от различных природно-производственных условий» / И.В. Казаков, Н.Н. Булыгина; заявитель и правообладатель Федеральное бюджетное учреждение Всероссийский научно-исследовательский институт лесоводства и механизации лесного хозяйства (ФБУ ВНИИЛМ). № 22020622083; заявл. 29.10.2020; опубл. 21.12.2020.1 с.

[36] Свидетельство о государственной регистрации базы данных 2020622201 Российская Федерация. «Валочные головки для рубок ухода за лесом, заготовки энергетической древесины, рубок спелых и перестойных насаждений» / И.В. Григорьев, М.Ф. Григорьев,

О.А. Куницкая, А.Б. Давтян, О.И. Григорьева, А.И. Григорьева; заявитель и правообладатель Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Якутская государственная сельскохозяйственная академия». № 2020622091; заявл. 30.10.2020; опубл. 09.11.2020. 1 с.

[37] Свидетельство о государственной регистрации базы данных 2020622610 Российская Федерация. «Харвестерные головки для рубок ухода за лесом, заготовки энергетической древесины, рубок спелых и перестойных насаждений» / И.В. Григорьев, М.Ф. Григорьев, О.А. Куницкая, А.Б. Давтян, О.И. Григорьева, А.И. Григорьева; заявитель и правообладатель Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Арктический государственный агротехнологический университет». № 2020622531; заявл. 07.12.2020; опубл. 11.12.2020. 1 с.

[38] ФГИС ЛК — Все о цифровизации лесной отрасли. URL: https://egaislesuchet.ru/fgis-lk/ (дата обращения 15.12.2022).

[39] Заикин А.Н., Сиваков В.В., Зеликов В.А., Стасюк В.В., Чуйков А.С., Зеликова Н.В. Программное обеспечение для управления лесохозяйственным и лесозаготовительным процессами: оценка применимости // Лесотехнический журнал, 2022. Т. 12. № 1 (45). С. 96–109.

Сведения об авторах

Заикин Анатолий Николаевич✉ — д-р. тех. наук, профессор кафедры «Транспортно-технологические машины и сервис» ФГБОУ ВО «Брянский государственный инженерно-технологический университет», zaikin.anatolij@yandex.ru

Сиваков Владимир Викторович — канд. техн. наук, доцент кафедры «Транспортно-технологические машины и сервис» ФГБОУ ВО «Брянский государственный инженерно-технологический университет», sv@bgitu.ru

Никитин Владимир Валентинович — д-р техн. наук, доцент кафедры «Технология и оборудование лесопромышленного производства» ФГБОУ ВО «Московский государственный технический университет им. Н.Э. Баумана» (Мытищинский филиал), nikitinvv@bmstu.ru

Брионес Анна Алексеевна — магистрант кафедры «Технология и оборудование лесопромышленного производства» ФГБОУ ВО «Московский государственный технический университет им. Н.Э. Баумана» (Мытищинский филиал), abriones@inbox.ru.

Поступила в редакцию 19.12.2022.
Одобрено после рецензирования 27.12.2022.
Принята к публикации 14.06.2023.

SOFTWARE IN FORESTRY AND LOGGING

A.N. Zaikin[1]✉, V.V. Sivakov[1], V.V. Nikitin[2], A.A. Briones[2]

[1]Bryansk State University of Engineering and Technology, 3, Stanke Dimitrova av., 241037, Bryansk, Russia
[2]BMSTU (Mytishchi branch), 1, 1st Institutskaya st., 141005, Mytishchi, Moscow reg., Russia

zaikin.anatolij@yandex.ru

The paper considers the impact of informatization on improving the efficiency of forestry enterprises. It is established that the enterprises of forestry complex use information technology based on modern standards of enterprise management. It has been determined that forestry enterprises are diverse, which does not allow to create a simple and effective solution for all types of activity. Forestry is the most computerized in terms of resource accounting with a wide implementation of geoinformation technology, which applies quite a lot of both proprietary and commercial software products, much attention is paid to filling electronic databases with cartographic and taxation information about forestry fund. The research of this class of programs showed that they can operate both in local and networked modes, including the use of the Internet. It was found that there is less developed area related to forest management modeling for enhancement of forest stand growth, commercial software products are absent, but there are author's developments. It has been revealed that in the area of logging there is software used by the leading manufacturers of logging equipment (Jonh Deere, Komatsu, Ponsse) and a number of author's non-commercial solutions. It has been determined that there are a sufficiently large number of information sites as well as author's databases containing information on particular areas in the field of logging information supply. Our research has shown that the software used in the Russian Federation does not provide complex informatization of forestry and logging enterprises, which reduces their efficiency.
Keywords: software, forest complex, forestry operations, forest harvesting operations, GIS

Suggested citation: Zaikin A.N., Sivakov V.V., Nikitin V.V., Briones A.A. *Programmnoe obespechenie v lesnom khozyaystve i pri lesozagotovkakh* [Software in forestry and logging]. Lesnoy vestnik / Forestry Bulletin, 2023, vol. 27, no. 4, pp. 172–184. DOI: 10.18698/2542-1468-2023-4-172-184

References

[1] Starr H. Pioneer in the Study of Conflict Processes and International RelationsOpportunity. Willingness and Geographic Information Systems: Reconceptualizing Borders in International Relations, 2021. DOI: 10.1007/978-3-030-78907-7_7
[2] Fan G., Chen F., Li Y., Liu B., Fan X. Development and Testing of a New Ground Measurement Tool to Assist in Forest GIS Surveys. Forests, 2019, v. 10, p. 643. DOI: 10.3390/f10080643
[3] Evdokimova S., Dragina D. Information support forest management planning in the forest GIS. Modeling of systems and processes, 2015, v. 8, pp. 11–14. DOI: 10.12737/12013
[4] *OOO «LesIS» — GIS TOPOL-L dlya lesnogo khozyaystva, lesoustroystva i arendatorov lesnogo fonda* [LLC «LesIS» — GIS TOPOL-L for forestry, forest management and tenants of the forest fund]. Available at: http://www.lesis.ru/index.htm (accessed 15.12.2022).
[5] *AISPOL. Avtomatizirovannaya informatsionnaya sistema dlya lesoustroystva i vedeniya lesnogo reestra* [AISPOL. Automated information system for forest inventory and forest registry maintenance]. Available at: https://marlesproekt.ru/ (accessed 15.12.2022).
[6] *Geoinformatsionnyy portal GIS-Assotsiatsii — LUGIS* [Geoinformation portal of the GIS-Association — LUGIS]. Available at: http://www.gisa.ru (accessed 15.12.2022).
[7] *GIS Aksioma* [GIS Axiom]. Available at: https://axioma-gis.ru/product/axioma (accessed 15.12.2022).
[8] *Svidetel'stvo o gosudarstvennoy registratsii programmy dlya EVM 2016614626 Rossiyskaya Federatsiya. Avtomatizirovannaya geograficheskaya informatsionnaya sistema «Aksioma» («Aksioma. GIS») / L.G. Borisova, A.A. Grishin, A.V. Korzun, A.V. Semenov; zayavitel' i pravoobladatel' Obshchestvo s ogranichennoy otvetstvennost'yu «ESTI»* [Certificate of state registration of the computer program 2016614626 Russian Federation. Automated geographic information system «Axioma» («Axioma. GIS») / L.G. Borisova, A.A. Grishin, A.V. Korzun, A.V. Semenov; applicant and copyright holder ESTI Limited Liability Company], no. 2016610973; dec. 09.02.2016; publ. 20.05.2016, 1 p.
[9] *ForestDB — gibkaya i moshchnaya sistema obrabotki lesoustroitel'noy informatsii* [ForestDB is a flexible and powerful system for processing forest management information]. Available at: http://forestdb.ru/index.php/ru/ (accessed 15.12.2022).
[10] *OOO Nauchno-Tekhnicheskiy Tsentr «BONITET»* [LLC Scientific and Technical Center «BONITET»]. Available at: https://www.bonitet-ntc.com/gis (accessed 15.12.2022).
[11] *NextGIS Les — spetsializirovannoe reshenie dlya lesnoy otrasli* [NextGIS Forest is a specialized solution for the forest industry]. Available at: https://nextgis.ru/blog/nextgis-les-release/ (accessed 15.12.2022).
[12] *Svidetel'stvo o gosudarstvennoy registratsii programmy dlya EVM 2021611924 Rossiyskaya Federatsiya. NextGIS Les* [Certificate of state registration of the computer program 2021611924 Russian Federation. NextGIS Les / A.A. Doroshkov; applicant and copyright holder Limited Liability Company «NextGIS»], no. 2020666129; dec. 08.12.2020; publ. 08.02.2021, 1 p.
[13] *Svidetel'stvo o gosudarstvennoy registratsii programmy dlya EVM 2019663143 Rossiyskaya Federatsiya. Programmnyy kompleks «Lesovod» / M.D. Berezkin, A.S. Rybkin, V.B. Serebryakov, P.A. Tishchenko, O.V. Kushnyr'; zayavitel' i pravoobladatel' Aktsionernoe obshchestvo «Rossiyskaya korporatsiya raketno-kosmicheskogo priborostroeniya i informatsionnykh sistem» (AO «Rossiyskie kosmicheskie sistemy»)* [Certificate of state registration of the computer program 2019663143 Russian Federation. Software complex «Forester» / M.D. Berezkin, A.S. Rybkin, V.B. Serebryakov, P.A. Tishchenko, O.V. Kushnyr; applicant and copyright holder Joint Stock Company «Russian Corporation of Rocket and Space Instrumentation and Information Systems» (JSC «Russian Space Systems»)], no. 2019662098; dec. 01.10.2019; publ. 10.10.2019, 1 p.

[14] *Svidetel'stvo o gosudarstvennoy registratsii programmy dlya EVM 2015619282 Rossiyskaya Federatsiya. Regional'naya informatsionno-analiticheskaya sistema dlya lesnogo kompleksa «Forest Book» / V.N. Mishkinis, G.V. Krasnova, A.I. Mishkinis, A.I. Mishkinis, I.A. Mishkinis; zayavitel' i pravoobladatel' Obshchestvo s ogranichennoy otvetstvennost'yu «Lesproekt»* [Certificate of state registration of the computer program 2015619282 Russian Federation. Regional information and analytical system for the forestry complex «Forest Book» / V.N. Mishkinis, G.V. Krasnova, A.I. Mishkinis, A.I. Mishkinis, I.A. Mishkinis; applicant and copyright holder Lesproekt Limited Liability Company], no. 2015616081; dec. 06.07.2015; publ. 20.09.2015, 1 p.

[15] *Svidetel'stvo o gosudarstvennoy registratsii programmy dlya EVM 2020612490 Rossiyskaya Federatsiya. Avtomatizirovannaya obrabotka lesoustroitel'noy informatsii AISPOL / D.V. Chernykh, L.V. Chernykh, V.L. Chernykh; zayavitel' i pravoobladatel' Obshchestvo s ogranichennoy otvetstvennost'yu «Marlesproekt»* [Certificate of state registration of the computer program 2020612490 Russian Federation. Automated processing of forest management information AISPOL / D.V. Chernykh, L.V. Chernykh, V.L. Chernykh; applicant and copyright holder Marlesproekt Limited Liability Company], no. 2019667371; dec. 19.12.2019; publ. 25.02.2020, 1 p.

[16] *Geoinformatsionnye sistemy (GIS) dlya lesnogo khozyaystva* [Geographic information systems (GIS) for forestry]. Available at: https://www.bonitet-ntc.com/gis (accessed 15.12.2022).

[17] Chernykh V.L., Sysuev V.V. *Informatsionnye tekhnologii v lesnom khozyaystve* [Information technologies in forestry]. Yoshkar-Ola: MarGTU, 2000, 378 p.

[18] *Svidetel'stvo o gosudarstvennoy registratsii programmy dlya EVM 2021663650 Rossiyskaya Federatsiya. Programma «PoliSKAN-FS» formirovaniya prostranstvennoy modeli lesnogo khozyaystva i lesnogo kompleksa regiona (makroregiona) / I.Yu. Zhukov, S.L. Kozlov, A.V. Rogachev, A.S. Ruslanov; zayavitel' i pravoobladatel' A.S. Ruslanov* [Certificate of state registration of the computer program 2021663650 Russian Federation. The program «PolySCAN-FS» for the formation of a spatial model of forestry and the forest complex of the region (macroregion) / I.Yu. Zhukov, S.L. Kozlov, A.V. Rogachev, A.S. Ruslanov; applicant and copyright holder A.S. Ruslanov], no. 2021662697; dec. 10.08.2021; publ. 19.08.2021, 1 p.

[19] *Svidetel'stvo o gosudarstvennoy registratsii programmy dlya EVM 2014616188 Rossiyskaya Federatsiya. Programma informatsionnoy tekhnologii intellektual'noy podderzhki prinyatiya resheniy po optimizatsii parametrov rezhimov rubok ukhoda za lesom / V.S. Petrovskiy, V.V. Malyshev, Yu.V. Murzinov; zayavitel' i pravoobladatel' Federal'noe gosudarstvennoe byudzhetnoe obrazovatel'noe uchrezhdenie vysshego obrazovaniya «Voronezhskaya gosudarstvennaya lesotekhnicheskaya akademiya»* [Certificate of state registration of the computer program 2014616188 Russian Federation. The program of information technology for intelligent decision support for optimizing the parameters of forest care felling regimes / V.S. Petrovsky, V.V. Malyshev, Yu.V. Murzinov; applicant and copyright holder Federal State Budgetary Educational Institution of Higher Education «Voronezh State Forest Engineering Academy»], no. 2014613706; dec. 22.04.2014; publ. 20.07.2014, 1 p.

[20] Yudina N.Yu. *Razrabotka podsistemy avtomatizatsii proektirovaniya protsessov tekhnologicheskoy podgotovki provedeniya lesosechnykh rabot* [Development of a subsystem for automation of designing processes for technological preparation of logging operations]. Dis. Cand. Sci. (Tech.) 05.13.12. Voronezh, 2005, 109 p.

[21] *Svidetel'stvo o gosudarstvennoy registratsii programmy dlya EVM 2019660449 Rossiyskaya Federatsiya. Programma dlya rascheta proizvoditel'nosti trelevochnogo traktora (v1.0) / E.G. Khitrov, A.V. Andronov; zayavitel' i pravoobladatel' Federal'noe gosudarstvennoe byudzhetnoe obrazovatel'noe uchrezhdenie vysshego obrazovaniya «Sankt-Peterburgskiy gosudarstvennyy lesotekhnicheskiy universitet imeni S.M. Kirova»* [Certificate of state registration of the computer program 2019660449 Russian Federation. The program for calculating the productivity of a skidder (v1.0) / E.G. Khitrov, A.V. Andronov; applicant and copyright holder Federal State Budgetary Educational Institution of Higher Education «St. Petersburg State Forest Engineering University named after S.M. Kirov], no. 2019618557; dec. 07/12/2019; publ. 06.08.2019, 1 p.

[22] *Svidetel'stvo o gosudarstvennoy registratsii programmy dlya EVM 2018618978 Rossiyskaya Federatsiya. Programma prognozirovaniya statisticheskogo raspredeleniya ob'emov i mass trelyuemykh pachek derev'ev / P.V. Budnik, V.N. Baklagin, I.A. Khyunninen; zayavitel' i pravoobladatel' Federal'noe gosudarstvennoe byudzhetnoe obrazovatel'noe uchrezhdenie vysshego obrazovaniya «Petrozavodskiy gosudarstvennyy universitet»* [Certificate of state registration of the computer program 2018618978 Russian Federation. Budnik P.V., Baklagin V.N., Khyunninen I.A. Program for forecasting the statistical distribution of volumes and masses of skidding tree bundles; applicant and copyright holder Federal State Budgetary Educational Institution of Higher Education «Petrozavodsk State University»], no. 2018615569; dec. 30.05.2018; publ. 24.07.2018, 1 p.

[23] *Svidetel'stvo o gosudarstvennoy registratsii programmy dlya EVM 2013614304 Rossiyskaya Federatsiya. Informatsionno-analiticheskaya sistema «Raschet skhemy volokov na lesoseke s uchetom minimizatsii otritsatel'nogo vozdeystviya trelyuyushchey tekhniki na grunty» / A.M. Voronova, L.V. Shchegoleva; zayavitel' i pravoobladatel' Federal'noe gosudarstvennoe byudzhetnoe obrazovatel'noe uchrezhdenie vysshego professional'nogo obrazovaniya «Petrozavodskiy gosudarstvennyy universitet»* [Certificate of state registration of the computer program 2013614304 Russian Federation. Information-analytical system «Calculation of the scheme of portages in the cutting area, taking into account the minimization of the negative impact of skidding equipment on soils» / A.M. Voronova, L.V. Shchegolev; applicant and copyright holder Federal State Budgetary Educational Institution of Higher Professional Education «Petrozavodsk State University»], no. 2013612034; dec. 12.03.2013; publ. 20.06.2013, 1 p.

[24] *Svidetel'stvo o gosudarstvennoy registratsii programmy dlya EVM 2013614105 Rossiyskaya Federatsiya. Informatsionno-analiticheskaya sistema «Sostavlenie skhemy putey pervichnogo transporta lesa na lesoseke s uchetom minimizatsii raskhodov na toplivo» / A.M. Voronova, R.V. Voronov; zayavitel' i pravoobladatel' Federal'noe gosudarstvennoe byudzhetnoe obrazovatel'noe uchrezhdenie vysshego professional'nogo obrazovaniya «Petrozavodskiy gosudarstvennyy universitet»* [Certificate of state registration of the computer program 2013614105 Russian Federation. Information-analytical system «Compilation of the scheme of ways of primary forest transport in the cutting area, taking into account the minimization of

fuel costs» / A.M. Voronova, R.V. Voronov; applicant and copyright holder Federal State Budgetary Educational Institution of Higher Professional Education «Petrozavodsk State University»], no. 2013612037; dec. 12.03.2013; publ. 20.06.2013, 1 p.

[25] *Svidetel'stvo o gosudarstvennoy registratsii programmy dlya EVM 2015612997 Rossiyskaya Federatsiya. «Sistema podderzhki prinyatiya resheniy pri zagotovke i transportirovke drevesiny «Les-Optima 2014»/ V.V. Dryagin, A.P. Mokhirev, O.V. Sheverev; zayavitel' i pravoobladatel' Federal'noe gosudarstvennoe byudzhetnoe obrazovatel'noe uchrezhdenie vysshego professional'nogo obrazovaniya «Sibirskiy gosudarstvennyy tekhnologicheskiy universitet»* [Certificate of state registration of the computer program 2015612997 Russian Federation. «Decision support system for timber harvesting and transportation «Les-Optima 2014»/ V.V. Dryagin, A.P. Mokhirev, O.V. Sheverev; applicant and copyright holder Federal State Budgetary Educational Institution of Higher Professional Education «Siberian State Technological University»], no. 2015610090; dec. 12.01.2015; publ. 20.03.2015, 1 p.

[26] *Informatsionnye sistemy* [Information systems]. Available at: https://www.ponsse.com/ru/produkciya/informacionnye-sistemy-opti/produkt/-/p/wood_procurement#/ (accessed 10.03.2022).

[27] *Resheniya dlya effektivnoy lesozagotovki* [Solutions for efficient logging]. Available at: https://www.deere.ru/ru/our-company/press-center/press-releases/2020/01-2020-solutions-for-efficient-harvesting.html (accessed 10.01.2022).

[28] *Sistemy upravleniya Komatsu* [Komatsu control systems]. Available at: https://www.komatsuforest.ru/machines/control-system (accessed 10.01.2022).

[29] *Svidetel'stvo o gosudarstvennoy registratsii programmy dlya EVM 2013612406 Rossiyskaya Federatsiya. «Programma tekhniko-ekonomicheskogo issledovaniya effektivnosti osvoeniya lesosyr'evykh uchastkov avtomobil'nym transportom»/ V.V. Kashuba, V.S. Sukhanov, A.B. Levin, I.S. Novoselov; zayavitel' i pravoobladatel' V.V. Kashuba, V.S. Sukhanov, A.B. Levin, I.S. Novoselov* [Certificate of state registration of the computer program 2013612406 Russian Federation. «Program of feasibility study of the effectiveness of the development of forest raw materials by road transport» / V.V. Kashuba, V.S. Sukhanov, A.B. Levin, I.S. Novoselov; applicant and copyright holder V.V. Kashuba, V.S. Sukhanov, A.B. Levin, I.S. Novoselov], no. 2012661623; dec. 12/27/2012; publ. 26.02.2013, 1 p.

[30] Zaikin A.N., Izyumova E.G. *Teoreticheskie osnovy tekhnologii lesozagotovitel'nykh proizvodstv* [Theoretical foundations of logging production technology]. Bryansk: BGITA, 2010, 170 p.

[31] *Svidetel'stvo o gosudarstvennoy registratsii programmy dlya EVM 2012613073 Rossiyskaya Federatsiya. Opredelenie optimal'noy posledovatel'nosti peremeshcheniya dopolnitel'nykh mashin / A.N. Zaikin, A.D. Kashtenkov, E.G. Ryzhikova; zayavitel' i pravoobladatel' Federal'noe gosudarstvennoe byudzhetnoe obrazovatel'noe uchrezhdenie vysshego obrazovaniya «Bryanskaya gosudarstvennaya inzhenerno-tekhnologicheskaya akademiya»* [Certificate of state registration of the computer program 2012613073 Russian Federation. Determination of the optimal sequence of movement of additional machines / A.N. Zaikin, A.D. Kashtenkov, E.G. Ryzhikova; applicant and copyright holder Federal State Budgetary Educational Institution of Higher Education «Bryansk State Engineering and Technology Academy»], no. 2012610800; dec. 09.02.2012; publ. 29.03.2012, 1 p.

[32] Gerasimov Yu.Yu., Sibiryakov K.N. *Raschet ekspluatatsionnykh zatrat lesosechnykh mashin* [Gerasimov Yu.Yu., Sibiryakov K.N. Calculation of operating costs of logging machines]. NIIL Finland Joensuu, 2009, 46 p.

[33] *Svidetel'stvo o gosudarstvennoy registratsii bazy dannykh 2020621714 Rossiyskaya Federatsiya. «Rezul'taty opredeleniya zatrat na provedenie rubok ukhoda za lesom dlya sistemy mashin kholdinga «AMKODOR» (kharvester Amkodor 2541, forvarder Amkodor 2631) v zavisimosti ot razlichnykh prirodno-proizvodstvennykh usloviy» / I.V. Kazakov, N.N. Bulygina; zayavitel' i pravoobladatel' Federal'noe byudzhetnoe uchrezhdenie Vserossiyskiy nauchno-issledovatel'skiy institut lesovodstva i mekhanizatsii lesnogo khozyaystva (FBU VNIILM)* [Certificate of state registration of the database 2020621714 Russian Federation. «The results of determining the costs of thinning for forest care for the system of machines of the AMKODOR holding (harvester Amkodor 2541, forwarder Amkodor 2631) depending on various natural and production conditions» / I.V. Kazakov, N.N. Bulygin; applicant and copyright holder Federal budgetary institution All-Russian Scientific Research Institute of Forestry and Forestry Mechanization (FBU VNIILM)], no. 2020621579; dec. 08.09.2020; publ. 18.09.2020, 1 p.

[34] *Svidetel'stvo o gosudarstvennoy registratsii bazy dannykh 2020622703 Rossiyskaya Federatsiya. «Rezul'taty opredeleniya zatrat na provedenie rubok ukhoda za lesom dlya sistemy mashin shvedskoy kompanii Vimek AV (kharvester Vimek 404T6, forvarder Vimek 610.2) v zavisimosti ot razlichnykh prirodno-proizvodstvennykh usloviy» / I.V. Kazakov, N.N. Bulygina; zayavitel' i pravoobladatel' Federal'noe byudzhetnoe uchrezhdenie Vserossiyskiy nauchno-issledovatel'skiy institut lesovodstva i mekhanizatsii lesnogo khozyaystva (FBU VNIILM)* [Certificate of state registration of the database 2020622703 Russian Federation. «The results of determining the costs of thinning for forest care for the system of machines of the Swedish company Vimek AB (harvester Vimek 404T6, forwarder Vimek 610.2) depending on various natural and production conditions» / I.V. Kazakov, N.N. Bulygin; applicant and copyright holder Federal budgetary institution All-Russian Scientific Research Institute of Forestry and Forestry Mechanization (FBU VNIILM)], no. 2020622084; dec. 29.10.2020; publ. 21.12.2020, 1 p.

[35] *Svidetel'stvo o gosudarstvennoy registratsii bazy dannykh 2020622702 Rossiyskaya Federatsiya. «Rezul'taty opredeleniya zatrat na provedenie rubok ukhoda za lesom dlya sistemy mashin kompanii John Deere (kharvester John Deere 1170G, forvarder John Deere 1110G) v zavisimosti ot razlichnykh prirodno-proizvodstvennykh usloviy» / I.V. Kazakov, N.N. Bulygina; zayavitel' i pravoobladatel' Federal'noe byudzhetnoe uchrezhdenie Vserossiyskiy nauchno-issledovatel'skiy institut lesovodstva i mekhanizatsii lesnogo khozyaystva (FBU VNIILM)* [Certificate of state registration of the database 2020622702 Russian Federation. «The results of determining the costs of thinning for forest care for the system of John Deere machines (harvester John Deere 1170G, forwarder John Deere 1110G) depending on various natural and production conditions» / I.V. Kazakov, N.N. Bulygin; applicant and copyright holder Federal budgetary institution All-Russian Scientific Research Institute of Forestry and Forestry Mechanization (FBU VNIILM)], no. 22020622083; dec. 29.10.2020; publ. 21.12.2020, 1 p.

[36] *Svidetel'stvo o gosudarstvennoy registratsii bazy dannykh 2020622201 Rossiyskaya Federatsiya. «Valochnye golovki dlya rubok ukhoda za lesom, zagotovki energeticheskoy drevesiny, rubok spelykh i perestoynykh nasazhdeniy» / I.V. Grigor'ev, M.F. Grigor'ev, O.A. Kunitskaya, A.B. Davtyan, O.I. Grigor'eva, A.I. Grigor'eva; zayavitel' i pravoobladatel' Federal'noe*

gosudarstvennoe byudzhetnoe obrazovatel'noe uchrezhdenie vysshego obrazovaniya «Yakutskaya gosudarstvennaya sel'skokhozyaystvennaya akademiya» [Certificate of state registration of the database 2020622201 Russian Federation. «Felling heads for thinning forest care, harvesting energy wood, felling of mature and overmature plantations» / I.V. Grigoriev, M.F. Grigoriev, O.A. Kunitskaya, A.B. Davtyan, O.I. Grigorieva, A.I. Grigoriev; applicant and copyright holder Federal State Budgetary Educational Institution of Higher Education «Yakutsk State Agricultural Academy»], no. 2020622091; dec. 30.10.2020; publ. 09.11.2020, 1 p.

[37] *Svidetel'stvo o gosudarstvennoy registratsii bazy dannykh 2020622610 Rossiyskaya Federatsiya. «Kharvesternye golovki dlya rubok ukhoda za lesom, zagotovki energeticheskoy drevesiny, rubok spelykh i perestoynykh nasazhdeniy» / I.V. Grigor'ev, M.F. Grigor'ev, O.A. Kunitskaya, A.B. Davtyan, O.I. Grigor'eva, A.I. Grigor'eva; zayavitel' i pravoobladatel' Federal'noe gosudarstvennoe byudzhetnoe obrazovatel'noe uchrezhdenie vysshego obrazovaniya «Arkticheskiy gosudarstvennyy agrotekhnologicheskiy universitet»* [Certificate of state registration of the database 2020622610 Russian Federation. «Harvester heads for thinning forests, harvesting energy wood, felling mature and overmature stands» / I.V. Grigoriev, M.F. Grigoriev, O.A. Kunitskaya, A.B. Davtyan, O.I. Grigorieva, A.I. Grigoriev; applicant and copyright holder Federal State Budgetary Educational Institution of Higher Education «Arctic State Agrotechnological University»], no. 2020622531; dec. 07.12.2020; publ. 11.12.2020, 1 p.

[38] *FGIS LK — Vse o tsifrovizatsii lesnoy otrasli* [FSIS LK — All about the digitalization of the forest industry]. Available at: https: //egaislesuchet.ru/fgis-lk/ (accessed 15.12.2022).

[39] Zaikin A.N., Sivakov V.V., Zelikov V.A., Stasyuk V.V., Chuykov A.S., Zelikova N.V. *Programmnoe obespechenie dlya upravleniya lesokhozyaystvennym i lesozagotovitel'nym protsessami: otsenka primenimosti* [Software for the management of forestry and logging processes: assessment of applicability]. Lesotekhnicheskiy zhurnal [Forestry journal], 2022, v. 12, no. 1 (45), pp. 96–109.

Authors' information

Zaikin Anatoliy Nikolaevich✉ — Dr. Sci. (Tech.), Professor, Department of Transport and Technological Machinery and Service, Bryansk State University of Engineering and Technology, zaikin.anatolij@yandex.ru,

Sivakov Vladimir Viktorovich — Cand. Sci. (Tech.), Senior Lecturer, Department of Transport and Technological Machinery and Service, Bryansk State University of Engineering and Technology, sv@bgitu.ru.

Nikitin Vladimir Valentinovich — Dr. Sci. (Tech.), Senior Lecturer, Department of Technology and Equipment of Forest Industry, Bauman Moscow State Technical University, Myitischi Branch, nikitinvv@bmstu.ru.

Briones Anna Alekseevna — student, Department of Technology and Equipment of Forest Industry, Bauman Moscow State Technical University, Myitischi Branch, abriones@inbox.ru.

Received 19.12.2022.
Approved after review 27.12.2022.
Accepted for publication 14.06.2023.

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