

ЛЕСНОЙ ВЕСТНИК / FORESTRY BULLETIN

Научно-информационный журнал

№ 2 ' 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. Королева, Москва
Бемманн Альбрехт, профессор, Дрезденский технический университет, Институт профессуры для стран Восточной Европы, Германия

Бессчетнов Владимир Петрович, д-р биол. наук, профессор, Нижегородская государственная сельскохозяйственная академия, Нижний Новгород

Бугаёв Александр Степанович, академик РАН, д-р физ.-мат. наук, Санкт-Петербургский государственный университет аэрокосмического приборостроения, Санкт-Петербург

Бурмистрова Ольга Николаевна, д-р техн. наук, профессор, ФГБОУ ВО «Ухтинский государственный технический университет»

Деглиз Ксавье, д-р с.-х. наук, профессор, Академик IAWS, академик Французской академии сельского хозяйства, Нанси, Франция
Драпалюк Михаил Валентинович, д-р техн. наук, профессор, ректор ВГЛТУ им. Г.Ф. Морозова, Воронеж

Евдокимов Юрий Михайлович, канд. хим. наук, профессор, академик Нью-Йоркской академии наук, чл.-корр. РАЕН, член центрального правления Нанотехнологического общества России, Москва

Залесов Сергей Вениаминович, д-р с.-х. наук, профессор, УГЛТУ, Екатеринбург

Запруднов Вячеслав Ильич, д-р техн. наук, профессор, Мытищинский филиал МГТУ им. Н.Э. Баумана, Москва

Иванкин Андрей Николаевич, д-р хим. наук, профессор, академик МАНВШ, Мытищинский филиал МГТУ им. Н.Э. Баумана, Москва

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
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. Йозенсуу, 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 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

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

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

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

Ответственный секретарь Расева Елена Александровна

Редактор Л.В. Сивай

Перевод М.А. Карпухиной

Электронная версия Ю.А. Рязской

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 20.02.2023

Тираж 600 экз.

Заказ №

Объем 19,75 п. л.

Цена свободная

LESNOY VESTNIK / FORESTRY BULLETIN

Scientific Information journal

No. 2 ' 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.), Saint Petersburg State University of Aerospace Instrumentation, Sankt-Peterburg
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 politics specialization, George-August-Universitet, Goettingen

Lipatkin Vladimir Aleksandrovich, Professor, Ph. D. (Biol.), BMSTU (Mytishchi branch), Moscow
Lukina Natalya Vasilyevna, Corresponding Member of the RAS, Professor, Director of the Center for Sub-Settlement Research RAS, Deputy Chairperson of the Forest Research Council
Makuev Valentin Anatol'evich, Dr. Sci. (Tech.), Associate Professor, BMSTU (Mytishchi branch), Moscow
Malashin Alexey Anatolyevich, Professor, Dr. Sci. (Physics and Mathematics), BMSTU (Mytishchi branch), Moscow
Martynuk Aleksandr Aleksandrovich, Academician of the RAS, Dr. Sci. (Agric.), VNIILM, Moscow
Melekhov Vladimir Ivanovich, Professor, Dr. Sci. (Tech.), Academician of the Russian Academy of Natural Sciences, NARFU, Arkhangelsk
Moiseyev Aleksandr Nikolaevich, Senior Researcher, European Forest Institute, Joensuu, Finland
Nakvasina Elena Nikolaevna, Professor, Dr. Sci. (Agric.), Northern (Arctic) Federal University named after M.V. Lomonosov, Higher School of Natural Sciences and Technology, Arkhangelsk
Niemz Peter, Prof. Dr.-Ing. habil. Dr. h.c., Prof. for Wood Physics, ETH Zurich (Swiss Federal Institute of Technology in Zurich; Eidgenossische Technische Hochschule Zurich)
Oblivin Aleksandr Nikolaevich, Professor, Dr. Sci. (Tech.), Academician of the Russian Academy of Natural Sciences and MANVSh, Honored worker of science and equipment of the Russian Federation, BMSTU, Moscow
Pasztory, Zoltan, Dr., Ph.D., Director of Innovation Center, University of Sopron, Sopron, Hungary
Pavlenko Aleksandr Nikolaevich, Corresponding Member of the RAS, Professor, Dr. Sci. (Phys.-Math.), Kutateladze Institute of Thermophysics of the Siberian Branch of the Russian Academy of Sciences, Novosibirsk
Poleshchuk Ol'ga Mitrofanovna, Professor, Dr. Sci. (Tech.), BMSTU (Mytishchi branch), Moscow
Poluektov Nikolai Pavlovich, Professor, Dr. Sci. (Tech.), BMSTU (Mytishchi branch), Moscow
Rodin Sergey Anatol'evich, Professor, the Dr. Sci. (Agric.), ARRISMF, Moscow
Rykunin Stanislav Nikolaevich, Professor, Dr. Sci. (Tech.), BMSTU (Mytishchi branch), Moscow
Shchepashchenko Dmitry Gennadievich, Associate Professor, Dr. Sci. (Biol.), Senior Researcher, International Institute for Applied Systems Analysis (IIASA), Austria
Shimkovich Dmitriy Grigor'evich, Professor, Dr. Sci. (Tech.), OOO «Kudesnik», Moscow
Strekalov Aleksandr Fedorovich, Ph. D. (Tech.), JSC «Tactical Missiles Corporation», Korolev
Teodoronskiy Vladimir Sergeevich, Professor, Dr. Sci. (Agric.), academician of the Russian Academy of Natural Sciences, BMSTU (Mytishchi branch), Moscow
Titov Anatoliy Matveevich, Ph. D. (Tech.), Deputy Chief of Department, Scientific Secretary of the Board of MCC TSNIIIMASH, Korolev
Trichkov Neno Ivanov, professor, Dr., Vice-Rector for Research, Forestry University, Sofia, Bulgaria
Fedotov Gennadiy Nikolaevich, Dr. Sci. (Biol.), Lomonosov Moscow State University, Moscow

Assistant Editor Raseva Elena Aleksandrovna

Editor L.V. Sivay

Translation by M.A. Karpukhina

Electronic version by Yu.A. Ryazhskaya

Founder BMSTU

The journal is registered by the Federal Service for Supervision of Communications, Information Technology, and Mass Media

Certificate on registration ПИ № ФС 77-68118 of 21.12.2016

The journal is included in the list of approved VAK of the Russian Federation for

editions for the publication of works of competitors of scientific degrees

Materials of the present magazine can be reprinted and reproduced fully or partly with the written permission of publishing house

It has been published since 1997

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

It is sent for the press 20.02.2023
Circulation 600 copies
Order №
Volume 19,75 p. p.
Price free

СОДЕРЖАНИЕ

ЛЕСОВЕДЕНИЕ, ЛЕСОВОДСТВО И ТАКСАЦИЯ ЛЕСА

Мерзленко М.Д., Мельник П.Г., Мельник Л.П. Депонирование углерода стволовой фракцией в 100-летних лесных культурах хвойных пород	5
Соболев А.Н., Феклистов П.А., Попова Л.Ф., Болотов И.Н. Протекание сукцессий в древостоях на территории Соловецкого музея-заповедника	11
Тюкавина О.Н., Неверов Н.А., Мелехов В.И., Корчагов С.А., Макаров С.С., Корепин Д.Ю. Особенности интерпретации результатов резистограмм при оценке качества стволовой древесины сосны	18

ЛЕСНЫЕ КУЛЬТУРЫ, СЕЛЕКЦИЯ И ГЕНЕТИКА

Коновалова И.С., Коновалов Д.Ю. Динамика живого напочвенного покрова на начальных этапах формирования лесных культур средней подзоны тайги	27
Сахнов В.В., Прокопьев А.П., Галиуллин И.Р., Глушко С.Г. Рост и развитие лесных культур сосны обыкновенной, созданных посадочным материалом с закрытой и открытой корневой системой, в различных условиях Республики Татарстан	38
Сунгурова Н.Р., Солтани Г.А., Страздаускене С.Р. Особенности фенологии древесных видов на северном и южном пределе их ареалов в условиях интродукционного стресса	49

ЭКОЛОГИЯ И ЗАЩИТА ЛЕСА

Бутока С.В., Скрыпник Л.Н. Санитарное и лесопатологическое состояние хвойно-широколиственных (смешанных) лесов Калининградской области	59
Залывская О.С., Бабич Н.А., Хамитов Р.С. Таксономическая структура видов дендрофлоры в урбаносистемах Архангельской области	67
Кумахова Т.Х., Бабоша А.В., Рябченко А.С., Анатов Д.М. Микрорельеф поверхности листьев дикорастущей айвы <i>Cydonia oblonga</i> Mill. (Rosaceae) лесных фитоценозов предгорий Дагестана	76
Синицына Е.В., Федосеев Н.З. Особенности мониторинга коричнево-мраморного клопа <i>Halyomorpha halys</i> (Stål) с помощью феромонных ловушек в условиях Северного Кавказа	87

БИОЛОГИЧЕСКАЯ РЕКУЛЬТИВАЦИЯ И МОНИТОРИНГ НАРУШЕННЫХ ЗЕМЕЛЬ

Жуков А.А., Жукова Е.Ю. Динамика продуктивности восстановленной растительности угольного разреза «Черногорский» по спутниковым данным Terra/MODIS	96
Завьялов К.Е., Менщиков С.Л., Мохначев П.Е., Кузьмина Н.А. Влияние аэротехногенных выбросов магниезитового производства на надземную фитомассу <i>Betula pendula</i> Roth в зависимости от плодородия почвы	104
Лифшиц С.Х., Глязнецова Ю.С., Чалая О.Н., Зуева И.Н. Особенности трансформации нефтезагрязнения в мерзлотных почвах техногенных объектов Якутии	112

ЛЕСНАЯ БИОТЕХНОЛОГИЯ

Килюшева Н.В., Данилов В.Е., Беляев А.О., Айзенштадт А.М. Применение арабиногалактана для минерализации древесины	121
---	-----

ЛАНДШАФТНАЯ АРХИТЕКТУРА

Кругляк В.В., Барруху С.Ф., Царегородцев А.В. Ландшафтная архитектура территории кампусов университетов	128
Васильева О.И., Васильев А.Н. Цвет в объектах садово-паркового искусства как средство создания выразительного общественного пространства	146

CONTENTS

FORESTRY, SILVICULTURE AND FOREST ESTIMATION

- Merzlenko M.D., Melnik P.G., Melnik L.P.**
Carbon deposit by stem fraction in 100-year-old coniferous species 5
- Sobolev A.N., Feklistov P.A., Popova L.F., Bolotov I.N.**
Stands successions course in Solovetsky museum-reserve 11
- Tyukavina O.N., Neverov N.A., Melekhov V.I.,
Korchagov S.A., Makarov S.S., Korepin D.Yu.**
Resistogram results interpretation in assessing pine stem wood quality 18

FOREST CROPS, BREEDING AND GENETICS

- Konovalova I.S., Konovalov D.Yu.**
Living ground cover dynamics at initial stages of forest crops formation in middle taiga subzone 27
- Sakhnov V.V., Prokop'ev A.P., Galiullin I.R., Glushko S.G.**
Scots pine growth and development created by planting material with root-balled
and bareroot systems in various forestgrowing conditions of Tatarstan Republic 38
- Sungurova N.R., Soltani G.A., Strazdauskene S.R.**
Tree species phenology at northern and southern borders
of their habitat under conditions of introduction stress 49

ECOLOGY AND FOREST PROTECTION

- Butoka S.V., Skrypnik L.N.**
Sanitary and forest pathology state of coniferous-broad-leaved (mixed) stands in Kaliningrad region 59
- Zalyvskaya O.S., Babich N.A., Khamitov R.S.**
Taxonomic structure of dendroflora species in Arkhangelsk region urban systems 67
- Kumakhova T.Kh., Babosha A.V., Ryabchenko A.S., Anatov D.M.**
Cydonia oblonga Mill. (Rosaceae) leaves microrelief of Dagestan foothills forest phytocenoses 76
- Sinitsyna E.V., Fedoseev N.Z.**
Monitoring features of brown marmorated stink bug *Halyomorpha halys*
using pheromone traps in North Caucasus 87

BIOLOGICAL RECLAMATION AND DISTURBED LANDS MONITORING

- Zhukov A.A., Zhukova E.Yu.**
Restored vegetation productivity dynamics at surface coal mine
«Chernogorsky» by satellite data Terra/MODIS 96
- Zav'yalov K.E., Menshchikov S.L., Mokhnachev P.E., Kuz'mina N.A.**
Magnesite production aerotechnogenic emissions impact on the elevated phytomass
Betula pendula Roth depending on soil fertility 104
- Lifshits S.Kh., Glyaznetsova Yu.S., Chalaya O.N., Zueva I.N.**
Oil pollution transformation in cryogenic soils of technogenic entities in Yakutia 112

FOREST BIOTECHNOLOGY

- Kilyusheva N.V., Danilov V.E., Belyaev A.O., Ayzenshtadt A.M.**
Arabinogalactan application for wood mineralization 121

LANDSCAPE ARCHITECTURE

- Kruglyak V.V., Barruhu S.F., Tsaregorodtsev A.V.**
University campus landscape architecture 128
- Vasil'eva O.I., Vasil'ev A.N.**
Color in landscape art objects as a means to create attractive public space 146

ДЕПОНИРОВАНИЕ УГЛЕРОДА СТВОЛОВОЙ ФРАКЦИЕЙ В 100-ЛЕТНИХ ЛЕСНЫХ КУЛЬТУРАХ ХВОЙНЫХ ПОРОД

М.Д. Мерзленко¹, П.Г. Мельник^{1, 2✉}, Л.П. Мельник¹

¹ФГБУН Институт лесоведения Российской академии наук (ИЛАН РАН), Россия, 140030, Московская обл., Одинцовский р-н, с. Успенское, ул. Советская, д. 21

²ФГБОУ ВО «Московский государственный технический университет имени Н.Э. Баумана (национальный исследовательский университет)», Мытищинский филиал, Россия, 141005, Московская обл., г. Мытищи, ул. 1-я Институтская, д. 1

melnik_petr@bk.ru

Приведены результаты исследования особенностей депонирования атмосферного углерода главными лесообразующими хвойными породами — лиственницей европейской и сосной обыкновенной на двух участках лесоводственного мониторинга, представленных 100-летними лесными культурами, на территории Никольской лесной дачи (северо-восток Московской обл.) в типичных условиях коренных сосняков-черничников свежих (В₂). Установлено, что в общей фитомассе ствола доля фракции коры лиственницы составила 13,2 %, а в культурах сосны — 7,6 %. Определено явное преимущество в депонировании углерода лиственницы европейской перед такой коренной породой, как сосна обыкновенная, которое выражается фактически двукратным превышением по накопленному углероду, что свидетельствует о весьма желательном использовании лиственницы европейской в качестве ценного интродукта для создания лесных культур. Установлено, что климатипы рода *Larix*, в географических посадках представленные лиственницей европейской, польской и Сукачева, достигают максимального лесоводственного эффекта в зоне смешанных лесов. Сделан вывод о том, что депонированный углерод коррелирует с фитомассой древостоя, которая, в свою очередь, коррелирует с запасом стволовой древесины. Зная запас стволовой древесины, можно в определенной мере судить и о запасе депонированного углерода.

Ключевые слова: лиственница европейская, сосна обыкновенная, депонирование углерода, лесные культуры, Никольская лесная дача, Подмоскowie

Ссылка для цитирования: Мерзленко М.Д., Мельник П.Г., Мельник Л.П. Депонирование углерода стволовой фракцией в 100-летних лесных культурах хвойных пород // Лесной вестник / Forestry Bulletin, 2023. Т. 27. № 2. С. 5–10. DOI: 10.18698/2542-1468-2023-2-5-10

В бореальных лесах Северного полушария Земного шара хвойные породы составляют доминирующую часть лесного покрова, причем в некоторых районах Сибири доля лиственничных лесов может достигать 90 %. Именно хвойным породам принадлежит лидирующая роль в кислородопроизводительной способности [1], а возможность «связать» (депонировать) на длительное время углерод в древесной фитомассе существенно подняла экологическую значимость лесного покрова планеты [2–7].

Искусственное лесовосстановление должно стать одним из действенных приемов в депонировании атмосферного углерода [8], ибо создавая лесные культуры, лесоводы существенно повышают продуктивность лесов [9–19]. Так, в центре Русской равнины лесные культуры из лиственницы европейской, по сравнению со всеми другими аборигенными древесными породами, способны формировать древостои с запасами стволовой древесины в возрасте спелости до 1200...1400 м³/га [20, 21]. Поэтому настоящая работа — это только начало исследований по определению возможных объемов депонирования углерода лес-

ными культурами хвойных пород, в частности лесными культурами лиственницы.

Цель работы

Цель работы — изучение особенностей депонирования атмосферного углерода лесообразующими породами лиственницей европейской и сосной обыкновенной на примере объектов лесоводственного мониторинга в условиях Никольской лесной дачи (северо-восток Московской обл.).

Объекты и методы исследований

Объектами исследований послужили два участка 100-летних лесных культур — лиственницы европейской и сосны обыкновенной, произрастающих на дерново-сильнопodzolistой легкосуглинистой почве подстилаемой флювиогляциальным песком.

Для определения фитомассы стволовой древесины лесных культур использовали средние модельные деревья. Безусловно, метод среднего модельного дерева при учете фитомассы насаждения наименее репрезентативен и дает низкую точность [22–24]. Тем не менее его использование связано с тем, что искусственные древостои

находятся на территории учебно-опытных объектов и взятие модельных деревьев по пропорционально-ступенчатому представительству включалось.

Средние модельные деревья раскряжевывались на двухметровые секции и подвергались полному анализу древесного ствола на ход роста. Из середины каждой секции выпиливались образцы, которые помещались в сушильный шкаф и выдерживались там до абсолютно сухого состояния. Конверсионные коэффициенты для перевода единицы абсолютно сухой фитомассы фракций ствола в единицу массы углерода составили для стволовой древесины лиственницы европейской 0,58, а сосны обыкновенной — 0,46; для коры соответственно 0,42 и 0,40. Конверсионный коэффициент для древесины ствола у лиственницы очень высок [25]. Большее значение этого показателя может быть только у дуба [26]. Однако дуб черешчатый в зоне смешанных лесов [27] не является существенным лесообразователем и не доминирует в составе высокоствольных древостоев.

Результаты и обсуждение

Сопоставляемые 100-летние лесные культуры представлены чистыми по составу высокобонитетными и высокополнотными искусственными древостоями (таблица). Лесные культуры лиственницы европейской по общей фитомассе ствола существенно превышают таковую лесных культур сосны обыкновенной (рис. 1). В общей фитомассе ствола доля фракции коры в культурах лиственницы составила 13,2 %, а в культурах сосны — 7,6 %.

Большая доля фитомассы коры в лиственничном насаждении обусловлена значительной толщиной коры у лиственницы особенно в комлевой части, где она превышает 10 см. Лиственница европейская по стволовой фитомассе древесины в лесных культурах значительно превышает таковую по сравнению с культурами сосны, у которой она на 34 % меньше, нежели в искусственном древостое лиственницы европейской.

Лесные культуры лиственницы европейской продуктивнее лесных культур сосны обыкновенной. Так, фитомасса стволов составила у насаждения лиственницы 402 т абсолютно сухого вещества на 1 га, тогда как в насаждении сосны — 249 т на 1 га. Однако и в том, и в другом насаждении эти данные мы считаем заниженными, ибо, по данным М.Д. Мерзленко и А.И. Гурцева [28], среднее дерево по диаметру ствола не совпадает со средним деревом по фитомассе ствола: ряд распределения разбивается по ступеням толщины на две неравные части — слева, т. е. в низких ступенях толщины, находится 20 % всей стволовой фитомассы, а справа, соот-

Депонирование углерода стволами в 100-летних лесных культурах лиственницы европейской и сосны обыкновенной

Carbon deposit by trunks in 100-year-old European larch and Scots pine

Параметр	Лесные культуры	
	Лиственница европейская (<i>Larix decidua</i> subsp. <i>scoticus</i> (Domin) Domin)	Сосна обыкновенная (<i>Pinus sylvestris</i>)
Высота, м	31,8	29,1
Диаметр ствола, см	40,6	32,0
Класс бонитета	Ia	I
Количество деревьев, шт./га	432	472
Фитомасса (абсолютно сухое вещество), т/га		
	древесина	349
кора	53	19
Накопленный углерод, т/га		
	древесина	202
кора	22	8

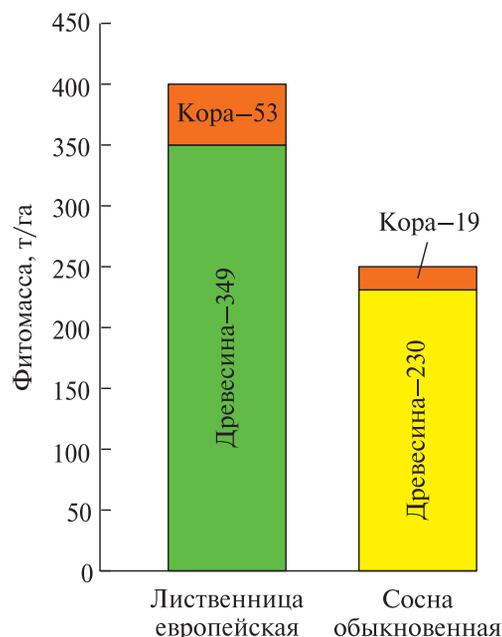


Рис. 1. Фитомасса (т/га) древесины и коры в 100-летних культурах лиственницы европейской и сосны обыкновенной

Fig. 1. Phytomass (t/ha) of wood and bark in 100-year-old European larch and Scots pine crops

ветственно, около 80 %. Поэтому для большей точности учета фитомассы модельные деревья надо брать по пропорционально-ступенчатому представительству, но со смещением числа моделей вправо относительно среднего по диаметру ствола дерева.

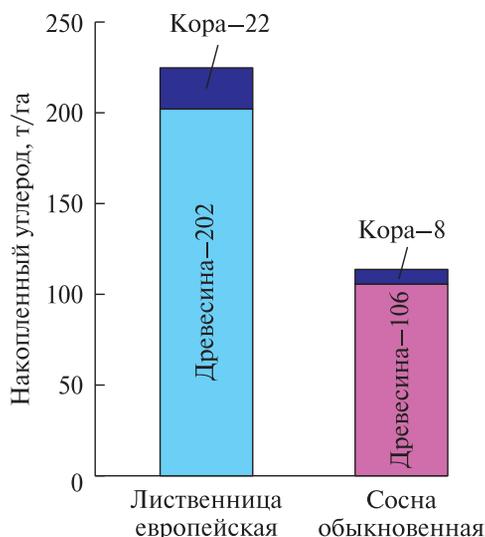


Рис. 2. Накопленный углерод (т/га) в древесине и коре 100-летних культур лиственницы европейской и сосны обыкновенной

Fig. 2. Accumulated carbon (t/ha) in wood and bark of 100-year-old European larch and Scots pine

Из таблицы видно явное преимущество в депонировании углерода лиственницы европейской перед такой коренной породой, которой является сосна обыкновенная. Это преимущество выражается фактически двукратным превышением по накопленному углероду, что свидетельствует о весьма желательном использовании лиственницы европейской как ценного интродуцента для создания лесных культур (рис. 2). Причем из всех испытанных на предмет лесоводственного эффекта (высокие показатели средней высоты, среднего диаметра ствола и запаса древесины) климатипов рода *Larix* в географических посадках зоны смешанных лесов являются климатипы лиственницы европейской, польской, а также лиственницы Сукачева из Волжского спецлесхоза [29–32].

Выводы

Изучение депонирования углерода в насаждениях — процесс трудоемкий. Занимаясь изучением производительности древостоев, мы пришли к выводу о том, что депонированный углерод коррелирует с фитомассой древостоя, а фитомасса — с запасом стволовой древесины. Поэтому, зная это, по запасу стволовой древесины можно, в определенной мере, судить и о запасе депонированного углерода. Древостой резко замедляет депонирование углерода, когда его текущий среднепериодический прирост по запасу древесины становится отрицательным [33].

Список литературы

[1] Лосицкий К.Б., Чуенков В.С. Эталонные леса. М.: Лесная пром-сть, 1980. 192 с.
 [2] Уткин А.И. Углеродный цикл и лесоводство // Лесоведение, 1995. № 5. С. 3–20.

[3] Исаев А.С., Коровин Г.Н., Сухих В.И., Титов С.П., Уткин А.И., Голуб А.А., Замолодчиков Д.Г., Пряжников А.А. Экологические проблемы поглощения углекислого газа посредством лесовосстановления и лесоразведения в России. М.: Изд-во Центра экологической политики России, 1995. 156 с.
 [4] Усольцев В.А. Депонирование углерода лесами Уральского региона России (по состоянию Государственного учета лесного фонда на 2007 год). Екатеринбург: Изд-во УГЛТУ, 2018. 265 с.
<https://doi.org/10.1111/gcb.14904>
 [5] Schepaschenko D., Karminov V., Moltchanova E., Fedorov S. Russian forest sequestrers substantially more carbon than previously reported. Scientific Reports. 2021, Vol. 11. No 1. P. 12825.
<https://doi.org/10.1038/s41598-021-92152-9>
 [6] Савиных Н.П., Тетерин А.А. Об использовании лиственницы сибирской для повышения депонирования углерода лесами // Вестник Тверского государственного университета. Сер. биол. и экол., 2022. № 3(67). С. 83–94.
 [7] Потапенко А.М. Оценка потенциала депонирования углерода фитомассой малоценных лесных насаждений в Белорусском Полесье // Молодежь в науке — 2020: Тез. докл. XVII Междунар. науч. конф. Минск: Издательский дом «Белорусская наука», 2020. С. 149–151.
 [8] Орнатский А.Н., Лабутин А.Н. Сравнительная оценка углерододепонирующих насаждений и лесных культур общего назначения в Нижегородской области // Вестник Нижегородской государственной сельскохозяйственной академии, 2020. № 4(28). С. 28–37.
 [9] Thürmer K. Bewirtschaftung der Privatwaldungen. Allgemeine Forst und Jagd Zeitung // German J. of Forest Research, 1877, v. XI, pp. 385–391.
 [10] Тюрмер К.Ф. Важность искусственного лесовозрастания // Лесной журнал, 1883. Вып. 1. С. 34–39.
 [11] Тольский А.П. Значение и необходимость искусственного лесовозобновления. М.: Госиздат, 1921. 39 с.
 [12] Тимофеев В.П. Роль лиственницы в поднятии продуктивности лесов. М.: Изд-во АН СССР, 1961. 160 с.
 [13] Рубцов М.В., Мерзленко М.Д. Лесные культуры К.Ф. Тюрмера. М.: Изд-во ЦБНТИлесхоза, 1975. 42 с.
 [14] Писаренко А.И., Редько Г.И., Мерзленко М.Д. Искусственные леса. М.: Изд-во ВНИИЦлесресурс, 1992. Т. 1. 302 с; Т. 2. 239 с.
 [15] Поляков А.Н. Лесные культуры К.Ф. Тюрмера в Московской и Владимирской областях // Лесохозяйственная информация, 1995. Вып. 4. С. 15–29.
 [16] Matras J. Badania proweniencyjne modrzewia prowadzone przez Instytut Badawczy Leśnictwa w latach 1948–2000 // Pr. Inst. bad. leś. A., 2001, no. 908–912, pp. 41–63.
 [17] Рубцов М.В., Глазунов Ю.Б., Николаев Д.К. Лиственница европейская в центре Русской равнины // Лесное хозяйство, 2011. № 5. С. 26–29.
 [18] Штукин С.С., Волович П.И., Клыш А.С. Сохранность и продуктивность лесных культур лиственницы польской, созданных на раскорчеванной вырубке // Тр. БГТУ Лесное хозяйство, 2015. № 1. С. 107–110.
 [19] Дебринюк Ю.М., Белеля С.О. Формова різноманітність і життєвий стан модрина у насадженнях Західного Полісся // Наукові праці Лісівничої академії наук України, 2016. Вип. 14. С. 117–125.
 [20] Мерзленко М.Д., Коженкова А.А. Интродукция лиственницы европейской в Поречье // Науч. тр. МГУЛ. Лесопользование и воспроизводство лесных ресурсов. Вып. 275. М.: МГУЛ, 1994. С. 86–95.

- [21] Мерзленко М.Д., Мельник П.Г. Опыт лесоводственного мониторинга в Никольской лесной даче. М.: МГУЛ, 2015. 112 с.
- [22] Уткин А.И. Биологическая продуктивность лесов (методы и результаты) // Лесоведение и лесоводство. М.: ВИНТИ, 1975. Т. 1. С. 9–189 с.
- [23] Уткин А.И., Каплина Н.Ф., Ильина Н.А. Уточнение техники применения регрессионного метода в изучении биологической продуктивности древостоев // Лесоведение, 1987. № 1. С. 40–53.
- [24] Мамонов Д.Н., Морковина С.С., Матвеев С.М., Шешнищан С.С., Иветич В. Сравнительная оценка методов учета депонирования углерода сосново-березовыми лесными насаждениями Воронежской области // Лесотехнический журнал, 2022. Т. 12. № 3(47). С. 4–15. <https://doi.org/10.34220/issn.2222-7962/2022.3/1>
- [25] Шевелев С.Л., Кулакова Н.Н. Особенности депонирования углерода в древостоях лиственницы Нижнего Приангарья // Хвойные бореальной зоны, 2022. Т. XL, № 4. С. 312–317.
- [26] Замолодчиков Д.Г., Уткин А.И., Коровин Г.Н. Определение запасов углерода по зависимым от возраста насаждений конверсионно-объемным коэффициентам // Лесоведение, 1998. № 3. С. 84–93.
- [27] Курнаев С.Ф. Лесорастительное районирование СССР. М.: Наука, 1974. 203 с.
- [28] Мерзленко М.Д., Гурцев А.И. Биологическая продуктивность культур сосны обыкновенной в зависимости от густоты посадки // Лесоведение, 1982. № 2. С. 85–88.
- [29] Тимофеев В.П. Лесные культуры лиственницы. М.: Лесная пром-сть, 1977. 216 с.
- [30] Melnik P.G., Karasyov N.N. Productivity of different larch types in Moscow region // Eurasian Forests — Hungarian Forests: Materials of the VI Int. Conf. of Young Scientists. Moscow: MSFU, 2006, pp. 83–85.
- [31] Мельник П.Г., Мерзленко М.Д., Лобова С.Л. Результат выращивания климатипов лиственницы в географических культурах северо-восточного Подмосковья // Вестник Алтайского государственного аграрного университета, 2016. № 2 (136). С. 62–67.
- [32] Галдина Т.Е. Особенности произрастания лиственницы в географических культурах центральной лесостепи // Успехи современного естествознания, 2018. № 11–2. С. 235–240.
- [33] Рожков Л.Н. Годичная абсорбция углекислого газа основных древостоев в связи с возрастом // Тр. БГТУ, 2020. Сер. 1. № 2. С. 64–68.

Сведения об авторах

Мерзленко Михаил Дмитриевич — д-р с.-х. наук, профессор, гл. науч. сотр. ФГБУН Институт лесоведения Российской академии наук (ИЛАН РАН), md.merzlenko@mail.ru

Мельник Петр Григорьевич [✉] — канд. с.-х. наук, доцент МГТУ им. Н.Э. Баумана (Мытищинский филиал); ст. науч. сотр. ФГБУН Институт лесоведения Российской академии наук (ИЛАН РАН), melnik_petr@bk.ru

Мельник Любовь Петровна — канд. с.-х. наук, мл. науч. сотр., ФГБУН Институт лесоведения Российской академии наук (ИЛАН РАН), lyubov.melnik.93@mail.ru

Поступила в редакцию 25.11.2022.

Одобрено после рецензирования 10.01.2023.

Принята к публикации 27.01.2023.

CARBON DEPOSIT BY STEM FRACTION IN 100-YEAR-OLD CONIFEROUS SPECIES

M.D. Merzlenko¹, P.G. Melnik^{1, 2✉}, L.P. Melnik¹

¹Institute of Forest Science Russian Academy of Sciences, 21, Sovetskaya st., 140030, Uspenskoe, Moscow Region, Russia

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

melnik_petr@bk.ru

The paper presents the study results of the atmospheric carbon deposition by the main forest-forming coniferous species, namely European larch and Scots pine, in two forest monitoring sites represented by 100-year-old forest plantations on the territory of the Nikolskaya forest dacha (north-east of the Moscow region) under typical conditions of native fresh blueberry pine forests (B₂). It was analyzed that the forest plantations of European larch in terms of the total phytomass of the trunk significantly exceed that of forest plantations of Scots pine, where it turned out to be 34 % less in the latter than in the artificial larch stand; in the total phytomass of the trunk, the proportion of the larch bark fraction was 13,2 %, and in pine cultures — 7,6 %. A clear advantage in carbon deposition of European larch over such a native species as Scots pine was determined, which is actually expressed by a twofold excess in accumulated carbon, which indicates a highly desirable use of European larch as a valuable introduced species for the creation of forest plantations. It has been established that the climatotypes of the genus *Larix* in the geographical plantings of the mixed forest zone, represented by European, Polish and Sukachev's larch, achieve the maximum silvicultural effect. It is concluded that the deposited carbon correlates with the phytomass of the forest stand, which, in turn, correlates with the stock of stem wood. Knowing the stock of stem wood, to a certain extent one can consider the stock of deposited carbon.

Keywords: *Larix decidua*, *Pinus sylvestris*, carbon sequestration, forest plantations, Nikolsky forest dacha, Moscow region

Suggested citation: Merzlenko M.D., Melnik P.G., Melnik L.P. *Deponirovanie ugleroda stvolovoy fraktsiy v 100-letnikh lesnykh kul'turakh khvoynykh porod* [Carbon deposit by stem fraction in 100-year-old coniferous species]. *Lesnoy vestnik / Forestry Bulletin*, 2023, vol. 27, no. 2, pp. 5–10. DOI: 10.18698/2542-1468-2023-2-5-10

References

- [1] Lositskiy K.B., Chuenkov V.S. *Etalonnye lesa* [Reference scaffolding]. Moscow: Lesnaya promyshlennost' [Timber industry], 1980, 192 p.
- [2] Utkin A.I. *Uglerodnyy tsikl i lesovodstvo* [Carbon cycle and forestry]. *Lesovedenie* [Russian Journal of Forest Science], 1995, no. 5, pp. 3–16.
- [3] Isaev A.S., Korovin G.N., Sukhikh V.I., Titov S.P., Utkin A.I., Golub A.A., Zamolodchikov D.G., Pryazhnikov A.A. *Ekologicheskie problemy pogloshcheniya uglekislogo gaza posredstvom lesovosstanovleniya i lesorazvedeniya v Rossii* [Environmental problems of carbon dioxide absorption through reforestation and afforestation in Russia]. Moscow: Tsentr ekologicheskoy politiki Rossii [Center for Environmental Policy of Russia], 1995, 156 p.
- [4] Usoltsev V.A. *Deponirovanie ugleroda lesami Ural'skogo regiona Rossii (po sostojaniyu Gosudarstvennogo ucheta lesnogo fonda na 2007 god)* [Carbon sequestration by forests of the Ural region of Russia (on the base of Forest State Inventory data 2007)]. Yekaterinburg: Ural State Forest Engineering University, 2018. 265p. <https://doi.org/10.1111/gcb.14904>
- [5] Schepaschenko D., Karminov V., Moltchanova E., Fedorov S. Russian forest sequesters substantially more carbon than previously reported. *Scientific Reports*. 2021, vol. 11, no. 1, p. 12825. <https://doi.org/10.1038/s41598-021-92152-9>
- [6] Savinykh N.P., Teterin A.A. *Ob ispol'zovanii listvennitsy sibirskoy dlya povysheniya deponirovaniya ugleroda lesami* [On the use of Siberian larch to increase forest carbon storage]. *Vestnik Tverskogo gosudarstvennogo universiteta. Seriya Biologiya i ekologiya* [Bulletin of Tver State University. Series: Biology and Ecology], 2022, no. 3(67), pp. 83–94.
- [7] Potapenko A.M. *Ocenka potenciala deponirovaniya ugleroda fitomassoy malocennykh lesnykh nasazhdeniy v Belorusskom Poles'e* [Assessment of the potential of carbon deposition by phytomass of low-value forest plantations in the Belarusian Polesie] // *Youth in science – 2020: Abstracts of the XVII International Scientific Conference*. Minsk: Publishing House Belarusian Science, 2020. pp. 149–151.
- [8] Ornatkiy A.N., Labutin A.N. *Sravnitel'naya otsenka uglerododeponiruyushchikh nasazhdeniy i lesnykh kul'tur obshchego naznacheniya v Nizhegorodskoy oblasti* [Comparative assessment of carbon-containing plantings and general-purpose forest crops in the Nizhny Novgorod region]. *Vestnik Nizhegorodskoy gosudarstvennoy sel'skokhozyaystvennoy akademii* [Bulletin of the Nizhny Novgorod State Agricultural Academy], 2020, t. 4(28), pp. 28–37.
- [9] Thürmer K. Bewirtschaftung der Privatwaldungen. *Allgemeine Forst und Jagd Zeitung* // *German J. of Forest Research*, 1877, v. XI, pp. 385–391.
- [10] Tyurmer K.F. *Vazhnost' iskusstvennogo lesovozrashcheniya* [The Importance of Artificial Harvesting]. *Lesnoy zhurnal* [Forestry journal], 1883, no. 1, pp. 34–39.
- [11] Tol'skiy A.P. *Znachenie i neobkhodimost' iskusstvennogo lesovozobnovleniya* [The importance and necessity of artificial reforestation]. Moscow: Gosizdat, 1921, 39 p.
- [12] Timofeev V.P. *Rol' listvennitsy v podnyatii produktivnosti lesov* [The role of larch in raising forest productivity]. Moscow: AN SSSR, 1961, 160 p.
- [13] Rubtsov M.V., Merzlenko M.D. *Lesnye kul'tury K.F. Tyurmera* [Forest Crops of K.F. Turnmer]. Moscow: TsBNTIleskhoz, 1975, 42 p.
- [14] Pisarenko A.I., Redko G.I., Merzlenko M.D. *Iskusstvennye lesa* [Artificial Forests]. Moscow: VNIITslesresurs, 1992, t. 1, 308 p., t. 2, 239 p.

- [15] Polyakov A.N. *Lesnye kul'tury K.F. Tyurmera v Moskovskoy i Vladimirskoy oblastiakh* [Forest Crops of K.F. Turner in the Moscow and Vladimir Regions]. Forestry information, 1995, no. 4, pp. 15–29.
- [16] Matras J. Badania proweniencyjne modrzewia prowadzone przez Instytut Badawczy Leśnictwa w latach 1948–2000 // Pr. Inst. bad. leś. A., 2001, no. 908–912, pp. 41–63.
- [17] Rubtsov M.V., Glazunov Yu.B., Nikolaev D.K. *Listvennitsa evropeyskaya v tsentre Russkoy ravniny* [European Larch in the Center of the Russian Plain]. Lesnoye khozyaystvo, 2011, no. 5, pp. 26–29.
- [18] Shtukin S.S., Volovich P.I., Klysh A.S. *Sokhrannost' i produktivnost' lesnykh kul'tur listvennitsy pol'skoy, sozdannykh na raskorchevannoy vyrubke* [Safety and Efficiency of Polish Larch Forest Cultures Created on the Uprooted Glade]. Proceedings of BSTU, 2015, no. 1(174), pp. 107–110.
- [19] Debrinyuk Yu.M., Beleya S.O. *Formova riznomanitnist' i zhitteviy stan modrini u nasadzennykh Zakhidnoho Polissya* [Variety of Forms and Vitality of the Larch in the Stands of Western Polissia]. Naukovi pratsi Lisivnichoi akademii nauk Ukraini [Proceedings of the Forestry Academy of Sciences of Ukraine], 2016, iss. 14, pp. 117–125.
- [20] Merzlenko M.D., Kozhenkova A.A. *Introduktsiya listvennitsy evropeyskoy v Porech'e* [Introduction of European larch in Porechye]. Nauchnye trudy MSFU [Scientific works of Moscow State Forest University], 1994, v. 275, pp. 86–95.
- [21] Merzlenko M.D., Mel'nik P.G. *Opyt lesovodstvennogo monitoringa v Nikol'skoy lesnoy dache* [Experience of silvicultural monitoring in Nikolskaya forest estate]. Moscow: MSFU, 2015, 112 p.
- [22] Utkin A.I. *Biologicheskaya produktivnost' lesov* [Biological productivity of forests] Lesovedenie i lesovodstvo [Forest Studies and forestry]. Moscow: VINITI, 1975, t. 1, pp. 9–189.
- [23] Utkin A.I., Kaplina N.F., Il'ina N.A. *Utochnenie tekhniki primeneniya regressionnogo metoda v izuchenii biologicheskoy produktivnosti drevostoev* [Clarification of the technique of using the regression method in the study of biological productivity of stands]. Lesovedenie [Russian Journal of Forest Science], 1987, no. 1, pp. 40–53.
- [24] Mamonov D.N., Morkovina S.S., Matveev S.M., Sheshniitsan S.S., Ivetic V. *Sravnitel'naya otsenka metodov ucheta deponirovaniya ugleroda sosnovo-berezovymi lesnymi nasazhdeniyami Voronezhskoy oblasti* [Comparative evaluation of carbon sequestration accounting methods by pine-birch forest plantations in Voronezh region]. Lesotekhnicheskii zhurnal [Forest Engineering journal], 2022, Vol. 12, No. 3 (47), pp. 4–15. <https://doi.org/10.34220/issn.2222-7962/2022.3/1>
- [25] Shevelev S.L., Kulakova N.N. *Osobennosti deponirovaniya ugleroda v drevostoyakh listvennitsy Nizhnego Priangar'ya* [Features of carbon storage in larch stands in the Lower Angara region]. Khvoynye boreal'noy zony [Conifers of the boreal area], 2022, Vol. XL, No. 4, pp. 312–317.
- [26] Zamolodchikov D.G., Utkin A.I., Korovin G.N. *Opreделение zapasov ugleroda po zavisimym ot vozrasta nasazhdeniy konversionno-ob'emnym koeffitsientam* [Determination of Carbon Reserves by Conversion-Volume Factors Related to the Age of Stands]. Lesovedenie [Russian Journal of Forest Science], 1998, no. 3, pp. 84–93.
- [27] Kurmaev S.F. *Lesorastitel'noe rayonirovanie SSSR* [Forest Vegetation Regionalization of USSR]. Moscow: Nauka, 1974, 203 p.
- [28] Merzlenko M.D., Gurtsev A.I. *Biologicheskaya produktivnost' kul'tur sosny obyknovnoy v zavisimosti ot gustoty posadki* [Biological productivity of scots pine crops depending on the planting density]. Lesovedenie [Russian Journal of Forest Science], 1982, no. 2, pp. 85–88.
- [29] Timofeev V.P. *Lesnye kul'tury listvennitsy* [Larch forest plantation]. Moscow: Lesnaya promyshlennost' [Forest industry], 1977, 216 p.
- [30] Melnik P.G., Karasyov N.N. *Productivity of different larch types in Moscow region. Eurasian Forests — Hungarian Forests: Materials of the VI International Conference of Young Scientists. Moscow: MSFU, 2006, pp. 83–85.*
- [31] Mel'nik P.G., Merzlenko M.D., Lobova S.L. *Rezultat vyrashchivaniya klimatipov listvennitsy v geograficheskikh kul'turakh severo-vostochnogo Podmoskov'ya* [The results of raising of the climatic types of larch among the provenance trial in the north-east of Moscow region]. Vestnik Altayskogo gosudarstvennogo agrarnogo universiteta, 2016, no. 2 (136), pp. 62–67.
- [32] Galdina T.E. *Osobennosti proizrastaniya listvennitsy v geograficheskikh kul'turakh tsentral'noy lesostepi* [Features of the growth of larch in the geographical cultures of the central forest-steppe]. Uspekhi sovremennoy estestvoznaniya [Successes of modern natural sciences], 2018, no. 11–2, pp. 235–240.
- [33] Rozhkov L.N. *Godichnaya absorptsiya uglekislogo gaza sosnovykh drevostoev v svyazi s vozrastom* [Annual age-related absorption of carbon dioxide by Pine stands]. Proceedings of BSTU, 2020, no. 1, pp. 64–68.

Authors' information

Merzlenko Mikhail Dmitrievich — Dr. Sci. (Agriculture), Professor, Chief Scientist, Institute of Forest Science Russian Academy of Sciences, md.merzlenko@mail.ru

Mel'nik Petr Grigor'evich [✉] — Cand. Sci. (Agricultural), Assoc. Prof. BMSTU (Mytishchi branch); Senior Staff Scientist, Institute of Forest Science Russian Academy of Sciences, melnik_petr@bk.ru

Mel'nik Lyubov' Petrovna — Cand. Sci. (Agricultural), Junior research assistant, Institute of Forest Science Russian Academy of Sciences, lesshii@bk.ru

Received 25.11.2022.

Approved after review 10.01.2023.

Accepted for publication 27.01.2023.

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

ПРОТЕКАНИЕ СУКЦЕССИЙ В ДРЕВОСТОЯХ НА ТЕРРИТОРИИ СОЛОВЕЦКОГО МУЗЕЯ-ЗАПОВЕДНИКА

А.Н. Соболев¹, П.А. Феклистов^{2✉}, Л.Ф. Попова³, И.Н. Болотов²

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

²ФГБУН Федеральный исследовательский центр комплексного изучения Арктики имени академика Н.П. Лаврова УрО РАН, Россия, 163000, г. Архангельск, наб. Северной Двины, д. 109

³ФГАОУ ВО «Северный (Арктический) федеральный университет имени М.В. Ломоносова» (САФУ), Россия, 163002, г. Архангельск, ул. Набережная Северной Двины, д. 17

pfeklistov@yandex.ru

Представлены материалы исследований, проведенных на территории Соловецкого музея-заповедника в разных наиболее распространенных типах леса: сосняках лишайниковых, брусничных, черничных, сфагновых и ельниках черничных. Приведено обоснование выбора этих типов леса. Показано количество подроста разных пород по типам леса. Установлено, что более всего подроста сосны под пологом сосняков лишайниковых, меньше в сфагновых и очень мало в черничных и брусничных, в ельниках черничных подроста сосны нет. Выявлено, что подрост ели встречается под пологом сосняков черничных брусничных и ельников черничных. Показано, что подрост березы больше всего в сосняках лишайниковых, значительно меньше в сосняках черничных и брусничных и совсем мало в сосняках сфагновых и ельниках черничных. Осины везде крайне мало, а в сфагновых сосняках нет вообще. Установлено, что оказывает влияние на состав подроста состав древостоя. Во всех типах леса сосны в составе подроста меньше на несколько единиц под пологом сосняков, а ели под пологом ельников. Установлено время накопления подроста под пологом, оно составляет 12–22 года. Показано, что сосняки лишайниковые и сфагновые, а так же ельники черничные будут существовать без вмешательства человека на занимаемых площадях бесконечно долго. В сосняках черничных и брусничных с большой долей вероятности произойдет смена пород и на место сосны придет ель.

Ключевые слова: подрост, категория состояния, высота, тип леса, сукцессия, смена пород

Ссылка для цитирования: Соболев А.Н., Феклистов П.А., Попова Л.Ф., Болотов И.Н. Протекание сукцессий в древостоях на территории Соловецкого музея-заповедника // Лесной вестник / Forestry Bulletin, 2023. Т. 27. № 2. С. 11–17. DOI: 10.18698/2542-1468-2023-2-11-17

Сукцессии или смена одной экосистемы на другую протекают вследствие накопления с течением времени органического вещества и перехода количественных изменений в качественные [1, 2]. Это соответствует философскому закону перехода количественных изменений в качественные [3]. Смена экосистем происходит независимо, однако направление сукцессии в некоторой степени можно спрогнозировать и предопределить возможности изменения. В лесоводственной литературе это явление характеризуется как смена пород [4, 5]. В приарктических лесных экосистемах драйвером смены пород, безусловно, выступают древесные растения. Именно они накапливают наибольшее количество органических веществ [8–10] и являются эдификаторами для других организмов. В смене пород существенное значение имеет наличие подроста под пологом древостоя, его количество, породный состав и состояние. Молодое поколение леса всходы, подрост оказывают едва ли не решающее значение для смены пород, определяют тип будущего лесного биогеоценоза. В связи с этим подросту достаточно уделяют внимания в научной литературе [6–12] Однако

для северных и крайне северных биогеоценозов подрост изучен недостаточно особенно с точки зрения его перспектив в будущем.

Цель работы

Цель работы — проведение исследования древостоев в разных типах леса (разных типах экосистем) и подроста под пологом на примере Большого Соловецкого острова для предсказания вероятного развития сукцессионных смен.

Материалы и методы

Материалом для исследования послужили данные пробных площадей на территории Соловецкого музея-заповедника. В разных наиболее характерных типах леса было заложено 39 пробных площадей для изучения древостоя и подроста. Пробные площади закладывали в сосняках лишайниковых, брусничных, черничных, сфагновых и в ельниках черничных. В совокупности эти типы леса занимают 70 % покрытой лесом площади (рис. 1).

Древостои сосняков лишайниковых и сфагновых чистые по составу, а брусничные и черничные — с небольшой примесью березы и осины, в ельниках черничных присутствует в примеси береза и осина, а также сосна.

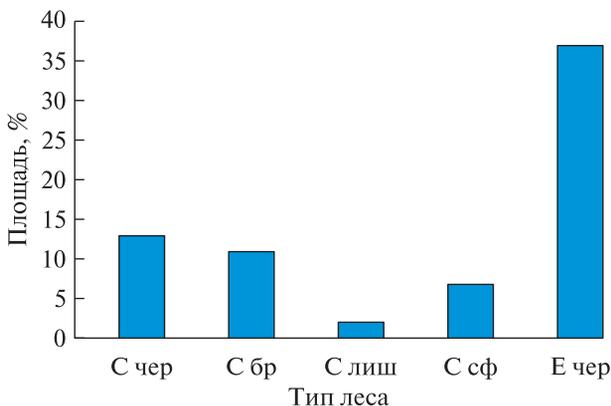


Рис. 1. Распределение покрытой лесом площади по типам леса [13]

Fig. 1. Distribution of forested area by forest types [13]

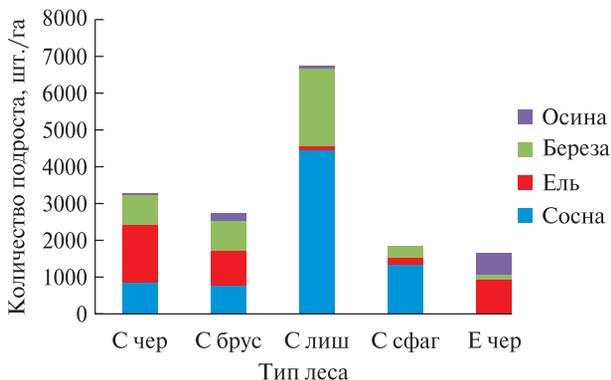


Рис. 2. Породный состав и количество подроста в разных типах леса

Fig. 2. Species composition and amount of undergrowth in different types of forest

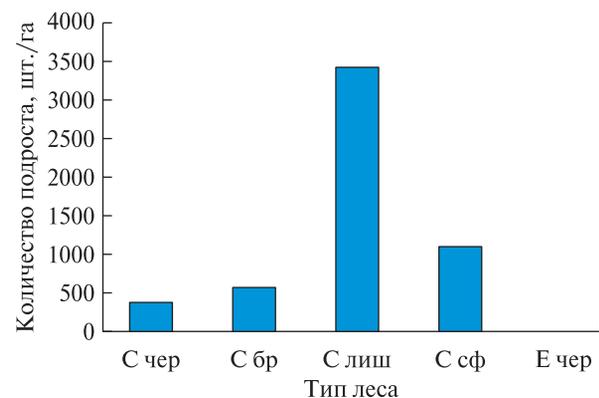


Рис. 3. Среднее количество подроста сосны в разных типах леса категорий ББ и БД

Fig. 3. Average number of pine undergrowth in different forests types of categories BB and BD

Закладку пробных площадей, их лесоводно-таксационное и геоботаническое описание выполняли с учетом известных методик и рекомендаций [14–18]. Для изучения возраста применяли возрастную буров Naglof и микроскоп

МБС-9 [19–22]. На каждой пробной площади у 64 учетных деревьев были измерены диаметр ствола, высота и определен возраст. Расчеты проводили с использованием рекомендаций И.И. Гусева [16].

В пределах пробных площадей проводилось изучение подроста основных лесообразующих пород с подразделением на категории высоты (мелкий 0...9,5 м, средний 0,51...1,5 м и крупный 1,51...2,0 м и более) и жизненного состояния на пяти учетных площадках размером 2×10 м, заложенных лентой по диагонали пробной площади. Выделены следующие категории жизненного состояния [4]:

- *благонадежный безукоризненный* (ББ) — подрост благонадежный физиологически, безукоризненный в техническом отношении;
- *благонадежный дефектный* (БД) — подрост благонадежный физиологически, но дефектный в техническом отношении;
- *сомнительный* (Сом) — потенциальные возможности подроста в данный момент трудно определить;
- *ненадежный* (Нен);
- *сухой подрост* (Сух).

Эти категории жизненного состояния помогут определить перспективность подроста в будущем.

Результаты и обсуждение

Сравнение количества подроста сосны по типам леса показывает следующее. В целом под пологом сосняков количество подроста изменяется в пределах от 820 шт./га в сосняках черничных до 2943 шт./га в сосняках лишайниковых (рис. 2). Полностью отсутствует подрост сосны под пологом ельников черничных. Количество подроста под пологом сосняков нарастает по мере увеличения сухости почвы и ее бедности питательными веществами, это следует из классификационных построений В.Н. Сукачева, классификацией которого мы пользуемся. По-видимому, количество подроста связано с толщиной подстилки и ее содержанием, наполнением мхами, лишайниками и травянистыми растениями. Чем больше сухость, тем меньше мхов и травянистых растений. Сравнительно давно Г.Ф. Хильми [23] убедительно доказал, что «для сосны подстилка является значительно большим препятствием к самовозобновлению, нежели для ели». Другим мощным фактором возобновления является освещенность под пологом леса [4]. Оба фактора в совокупности, вероятно, привели к тому, что в ельнике черничном нет подроста сосны. Больше всего его под пологом сосняков черничных, даже больше, чем соснового подроста. Очень близки показатели количества подроста в сосняках брусничных и ельниках черничных и он пол-

ностью отсутствует в сосняках лишайниковых и сфагновых. Практически везде под пологом присутствует береза и особенно много ее в сосняках лишайниковых.

Если рассматривать, например, только подрост сосны из двух категорий — безукоризненно благонадежный (ББ) и безукоризненный дефектный (БД), то пропорции остаются прежними, с той лишь разницей, что количество подроста уменьшается на 1 га (рис. 3). Часть подроста переходит в другие категории качества, а часть — отмирает или усыхает. Количество усохших деревьев подроста под пологом сосняков в среднем составляет 2,5 % его общего количества, а в ельниках черничных — 3 %.

Интересно сравнение состава древостоя и состава подроста по типам леса (табл. 1). В сосняках в подросте меньше сосны, чем в составе древостоя на 3–5 ед., а ели, наоборот, больше на 1–2 ед. В ельниках ели в подросте меньше, чем в составе древостоя на 2 ед. Следует отметить, что состав древостоя определялся по сумме площадей поперечных сечений, а состав подроста по количеству.

Таким образом, количество подроста под пологом леса невелико. Если руководствоваться литературными данными, например, П.Н. Львова, Л.Ф. Ипатова [24], то следует признать, что возобновление неудовлетворительно (критическим они считают 3000 шт./га). Более поздние работы [25] дают еще большие цифры для признания возобновления удовлетворительным. Если речь идет о рубке в ближайшее время, то, вероятно, приведенные оценки можно использовать. В то же время, как нам кажется, эти оценки не совсем объективны, если речь идет о естественном процессе сукцессии, а не смене экосистем в результате рубки.

Для понимания того, как быстро идет процесс накопления подроста под пологом леса, мы использовали данные по среднему приросту в высоту у деревьев в разных типах леса. Для этой оценки использовалось 64 учетных дерева на каждой пробной площади (39 пробных площадей) а затем получили средний прирост в высоту по типам леса (табл. 2) Средний прирост в высоту уменьшается от сосняков черничных к соснякам сфагновым. Если в сосняках черничных средний прирост в высоту составляет 15,6 см/год, то в сосняках сфагновых почти в 2 раза меньше — 9,1 см/год. Все показатели достоверны для уровня значимости 0,05, а точность их определения находится в пределах 4...5 %

Зная прирост деревьев в высоту, можно рассчитать период времени, за который произошло накопление подроста сосны разных высотных групп под пологом в разных типах леса (табл. 3).

Т а б л и ц а 1

Средний состав древостоя и подроста в разных типах леса

Average composition of stand and undergrowth in different forest types

Тип леса	Состав древостоя	Состав подроста
С черничный	6С3Е1Б ед. Ос	2С5Е3Б ед. Ос
С брусничный	8С2Е ед. Б	3С4Е2Б1Ос
С лишайниковый	10С ед. Е	7С3Б+Е, Ос
С сфагновый	10С ед. Е	7С2Б1Е
Е черничный	8Е1Б1Ос ед. С	6Е3Ос1Б

Т а б л и ц а 2

Средний прирост в высоту деревьев сосны в разных типах леса (см/год)

Average increase in height of pine trees in different forest types (cm/year)

Статистические показатели прироста в высоту	Тип леса			
	Счер	Сбр	Слиш	Ссф
Среднее значение, см	15,6	11,1	9,8	9,1
Стандартное отклонение, см	5,7	3,3	3,5	3,7
Ошибка среднего, см	0,8	0,4	0,46	0,5
Коэффициент изменчивости, %	36,9	31,1	37,3	43,1
Достоверность (критерий Стьюдента)	17,5	28,5	22,2	19,8
Точность, %	4,9	3,9	4,7	5,4

Т а б л и ц а 3

Количество подроста сосны в разных типах леса по высотным группам

The number of pine undergrowth in different forest types by altitude groups

Группа высот	Счер		Сбр		Слиш		Ссф	
	1	2	1	2	1	2	1	2
Мелкий 0...0,5 м	40	3	150	4,5	1900	5,1	360	5,5
Средний 0,51...1,5 м	260	9,6	325	13,5	1833	15,3	520	16,5
Крупный 1,51...2,0 м	520	12,8	275	18,0	700	20,4	460	22,0

Примечание 1 — количество подроста, шт./га; 2 — среднее время накопления, лет.

Строгих закономерностей в распределении подроста сосны по разным высотным группам нет. В сосняках черничных в среднем больше крупного и среднего подроста, то же самое в сосняках брусничных. В сосняках лишайниковых более всего мелкого и среднего подроста, а в сосняках сфагновых представлены все высотные группы. В ельниках черничных подроста нет.

Интересно, что для накопления подроста (на момент исследования) в сосняках черничных потребовалось 13 лет, в сосняках брусничных — 18 лет, в сосняках лишайниковых — 20 лет и в сфагновых — 22 года. Следовательно, перспективы продолжения накапливания подроста имеются во всех типах леса с учетом возраста древостоев.

Выводы

Подроста сосны больше всего в сосняках лишайниковых (4433 шт./га) и сосняках сфагновых 1340 шт./га, значительно меньше в сосняках черничных и брусничных, в ельниках черничных подроста сосны нет.

Подроста ели больше всего под пологом сосняков черничных (1600 шт./га) и брусничных (975 шт./га), мало в сосняках лишайниковых и сфагновых, а под пологом ельников черничных наименьшее количество (925 шт./га).

Подроста березы больше всего в сосняках лишайниковых, в сосняках брусничных и черничных почти в три раза меньше и еще меньше в сфагновых. Осины в сосняках мало, в сфагновых — осина отсутствует, но много ее в ельниках черничных.

Преобладающими категориями подроста являются безукоризненно благонадежные экземпляры и безукоризненно дефектные, количество усохших составляет в среднем 2,5 % в сосняках и 3 % в ельниках.

Состав подроста отличается от состава древостоя. Сосны в сосняках в составе подроста на 3–5 ед. меньше, чем в составе древостоя, а ели на 1–2 ед. больше. В ельниках ели на 2 ед. меньше, чем в составе древостоя.

Скорость накопления имеющегося подроста сосны под пологом сосняков в разных типах леса варьируется от 12 до 22 лет

При естественном протекании сукцессионных процессов можно предположить, что сосняки лишайниковые и сфагновые, а также ельники черничные будут существовать бесконечно долго и их можно считать климаксовыми сообществами. В сосняках черничных и брусничных, с большой вероятностью, произойдет смена пород, и доминирующим видом в будущем будет ель.

Список литературы

- [1] Одум Ю. Основы экологии. М.: Мир, 1975. 740 с.
- [2] Основы лесной биогеоценологии / Под ред. В.Н. Сукачева, Н.В. Дылиса. М.: Наука, 1964. 574 с.
- [3] Философия / Под ред. В.В. Миронова. М.: Норма, 2005. 928 с.
- [4] Мелехов И.С. Лесоведение. М.: Лесная пром-сть, 1980. 406 с.
- [5] Чибисов Г.А. Смена сосны елью. Архангельск: СевНИИЛХ, 2010. 150 с.

- [6] Тетюхин С.В., Павская М.В. Общая оценка естественного лесовозобновления по преобладающим породам, типам леса и типам лесорастительных условий на территории Лисинской части Учебно-опытного лесничества Ленинградской области // Известия Санкт-Петербургской лесотехнической академии, 2021. Вып. 235. С. 71–83. DOI: 10.21266/2079-4304.2021.235.71-83
- [7] Ермакова М.В. Структура подроста сосны в различных экотопах Среднего Урала // Известия Санкт-Петербургской лесотехнической академии, 2021. Вып. 234. С. 53–64. DOI: 10.21266/2079-4304.2021.234.53-64
- [8] Данилов Д.А., Шестаков В.А., Шестакова Т.А., Эндерс О.О. Сукцессионные стадии восстановления древесной растительности на постагрогенных землях Ленинградской области // Известия Санкт-Петербургской лесотехнической академии, 2020. Вып. 233. С. 60–80. DOI: 10.21266/2079-4304.2020.233.60-80
- [9] Смирнов А.А., Богачев П.А., Смирнов А.П. Естественное возобновление на вырубках Карелии в связи с плодородием и увлажнением лесной почвы // Известия Санкт-Петербургской лесотехнической академии, 2020. Вып. 232. С. 20–32. DOI: 10.21266/2079-4304.2020.232.20-32
- [10] Нгуен Ван Туен, А.П. Смирнов, Ву Ван Чьонг. Возобновление леса и влияние на него нижних ярусов фитоценозов после выборочных рубок в центральном Вьетнаме // Известия Санкт-Петербургской лесотехнической академии, 2020. Вып. 230. С. 54–72. DOI: 10.21266/2079-4304.2020.230.54-72
- [11] Данилов Д.А., Богданова Л.С., Мандрыкин С.С., Яковлев А.А., Сергеева А.С. Влияние плодородия почвы на естественное возобновление леса на старопашотных землях // Известия Санкт-Петербургской лесотехнической академии, 2019. Вып. 229. С. 145–163. DOI: 10.21266/2079-4304.2019.229.145-163
- [12] Андреев Г.В. Формирование, рост и развитие полевой ели и пихты II яруса нескольких рядов восстановительно-возрастной динамики на Южном Урале // Известия Санкт-Петербургской лесотехнической академии, 2019. Вып. 226. С. 6–19. DOI: 10.21266/2079-4304.2019.226.6-19
- [13] Феклистов П.А., Соболев А.Н. Лесные насаждения Соловецкого архипелага (Структура, состояние, рост). Архангельск: САФУ, 2010. 201 с.
- [14] Анучин Н.П. Лесная таксация. М.: Лесная промышленность, 1982. 552 с.
- [15] Бурова Н.В., Феклистов П.А. Антропогенная трансформация пригородных лесов. Архангельск: Изд-во Архангельского ГТУ, 2007. 264 с.
- [16] Гусев И.И., Калинин В.И. Лесная таксация. Л.: ЛТА, 1988. 61 с.
- [17] ОСТ 56-69–83. Площади пробные лесоустroительные. Метод закладки. Введ. 01.01.84. М.: ЦБНТИ Гослесхоза СССР, 1984. 60 с.
- [18] Сукачев В.Н., Зонн С.В. Методические указания к изучению типов леса. М.: АН СССР, 1961. 144 с.
- [19] Битвинскас Т.Т. Дендроклиматические исследования. Л.: Гидрометеониздат, 1974. 172 с.
- [20] Матвеев С.М., Тимашук Д.А. Дендроклиматический анализ 200-летнего древостоя сосны обыкновенной в Воронежском биосферном заповеднике // Лесоведение, 2019. № 2. С. 93–104. DOI: 10.1134/S0024114819020074
- [21] Константинов А.В., Матвеев С.М. Методический подход к оценке адаптационного потенциала лесных экосистем Российской Федерации // Труды Санкт-Петербургского научно-исследовательского института лесного хозяйства, 2020. № 2. С. 14–33.

- [22] Славский В.А., Матвеев С.М. Некоторые аспекты закладки пробных площадей при проведении государственной инвентаризации лесов // Лесотехнический журнал, 2021. Т. 11. № 1(41). С. 56–63. <https://doi.org/10.34220/issn.2222-7962/2021.1/5>
- [23] Хильми Г.Ф. Теоретическая биогеофизика леса. М.: Изд-во Акад. наук СССР, 1957. 206 с.
- [24] Львов П.Н., Ипатов Л.Ф. Лесная типология на географической основе. Архангельск: Сев.-Зап. кн. изд-во, 1976. 196 с.
- [25] Лесотаксационный справочник для северо-востока Европейской части СССР (Нормативные материалы для Архангельской, Вологодской областей и Коми АССР). Архангельск: АИЛ и ЛХ, 1986. 358 с.

Исследования выполнены в рамках государственного задания ФГБУН «Федеральный исследовательский центр комплексного изучения Арктики имени академика Н.П. Лаверова УрО РАН» (Номер гос. регис-трации — 122011400384-2).

Сведения об авторах

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

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

Попова Людмила Федоровна — д-р биол. наук, профессор, ФГАОУ ВО «Северный (Арктический) федеральный университет имени М.В. Ломоносова» (САФУ), Lf.popova@narfu.ru

Болотов Иван Николаевич — д-р биол. наук, директор ФГБУН «Федеральный исследовательский центр комплексного изучения Арктики имени академика Н.П. Лаверова УрО РАН», inepgras@yandex.ru

Поступила в редакцию 24.11.2022.

Одобрено после рецензирования 10.01.2023.

Принята к публикации 09.02.2023.

STANDS SUCCESSIONS COURSE IN SOLOVETSKY MUSEUM-RESERVE

A.N. Sobolev¹, P.A. Feklistov², L.F. Popova³, I.N. Bolotov²

¹Solovetsky State Historical, Architectural and Natural Museum-Reserve, 163000, Arkhangelsk reg., Primorsky District, Solovetsky settlement, Russia

²Federal Research Center for the Integrated Study of the Arctic named after Academician N.P. Laverov, Ural Branch of the Russian Academy of Sciences, 109, Naberezhnaya Severnoy Dviny st., 163000, Arkhangelsk, Russia

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

pfeklistov@yandex.ru

The research was carried out on the territory of the Solovetsky Museum Reserve in various most common types of forests — lichen, cranberry, blueberry, sphagnum and blueberry spruce forests. Temporary taxing trial areas were laid out for the research, widely known and proven methods were used. The stand was studied at each test area, in addition, the height diameter was measured and the age of 64 registered trees was determined, sites were laid for the study of undergrowth with its division by species, height and condition. It was found that the highest amount of the pine undergrowth is under the canopy of lichen pine forests, smaller amount in sphagnum and the least is found in blueberry and lingonberry. There is no pine undergrowth in the blueberry spruce forests. Spruce undergrowth is found under the canopy of blueberry cranberry pine forests and blueberry spruce forests. Of the undergrowth of deciduous species, birch undergrowth is mostly found in lichen pine forests, aspen is extremely scarce everywhere, and there is no sphagnum pine forests at all. The composition of the stand has an effect on the composition of the undergrowth. Everywhere pine trees in the undergrowth are several units smaller under the canopy of pine forests, and spruce trees under the canopy of spruce forests. The time of accumulation of undergrowth under the canopy has been established, it is 12–22 years. It has been established that lichen and sphagnum pine forests, as well as blueberry spruce forests, will exist ever so long without human intervention on the areas. In the blueberry and lingonberry pine forests, a change of species is likely to occur and spruce will take the place of pine.

Keywords: undergrowth, category of condition, height, type of forest, succession, change of breeds

Suggested citation: Sobolev A.N., Feklistov P.A., Popova L.F., Bolotov I.N. *Protokanie suksessiy v drevostoyakh na territorii Solovetskogo muzeya-zapovednika* [Stands successions course in Solovetsky museum-reserve]. *Lesnoy vestnik / Forestry Bulletin*, 2023, vol. 27, no. 2, pp. 11–17. DOI: 10.18698/2542-1468-2023-2-11-17

References

- [1] Odum Yu. *Osnovy ekologii* [Fundamentals of ecology]. Moscow: Mir, 1975, 740 p.
- [2] *Osnovy lesnoy biogeotsenologii* [Fundamentals of forest biogeocenology]. Eds. V.N. Sukachev, N.V. Dilis. Moscow: Nauka, 1964, 574 p.

- [3] *Filosofiya* [Philosophy]. Ed. V.V. Mironov. Moscow: Norma, 2005, 928 p.
- [4] Melekhov I.S. *Lesovedenie* [Forestry]. Moscow: Lesnaya promyshlennost', 1980, 406 p.
- [5] Chibisov G.A. *Smena sosny el'yu* [Change from pine to spruce]. Arkhangelsk: Sevnillkh, 2010, 150 p.
- [6] Tetyukhin S.V., Pavskaya M.V. *Obshchaya otsenka estestvennogo lesovozobnovleniya po preobladayushchim porodam, tipam lesa i tipam lesorastitel'nykh usloviy na territorii Lisinskoy chasti Uchebno-opytного lesnichestva Leningradskoy oblasti* [General assessment of natural reforestation by prevailing species, forest types and types of forest growth conditions on the territory of the Lisinsky part of the Educational and Experimental Forestry of the Leningrad Region]. *Izvestiya Sankt-Peterburgskoy lesotekhnicheskoy akademii* [Proceedings of the St. Petersburg Forestry Academy], 2021, iss. 235, pp. 71–83. DOI: 10.21266/2079-4304.2021.235.71-83
- [7] Ermakova M.V. *Struktura podrosta sosny v razlichnykh ekotopakh Srednego Urala* [The structure of pine undergrowth in various ecotopes of the Middle Urals]. *Izvestiya Sankt-Peterburgskoy lesotekhnicheskoy akademii* [Proceedings of the St. Petersburg Forestry Academy], 2021, iss. 234, pp. 53–64. DOI: 10.21266/2079-4304.2021.234.53-64
- [8] Danilov D.A., Shestakov V.A., Shestakova T.A., Enders O.O. *Sukstessionnye stadii vosstanovleniya drevesnoy rastitel'nosti na postagrogennykh zemlyakh Leningradskoy oblasti* [Successional stages of restoration of woody vegetation on post-agrogenic lands of the Leningrad Region]. *Izvestiya Sankt-Peterburgskoy lesotekhnicheskoy akademii* [Proceedings of the St. Petersburg Forest Engineering Academy], 2020, iss. 233, pp. 60–80. DOI: 10.21266/2079-4304.2020.233.60-80
- [9] Smirnov A.A., Bogachev P.A., Smirnov A.P. *Estestvennoe vozobnovlenie na vyrubkakh Karelii v svyazi s plodorodiem i uvlazhneniem lesnoy pochvy* [Natural regeneration in the clearings of Karelia due to the fertility and moisture of the forest soil]. *Izvestiya Sankt-Peterburgskoy lesotekhnicheskoy akademii* [Proceedings of the St. Petersburg Forestry Engineering Academy], 2020, iss. 232, pp. 20–32. DOI: 10.21266/2079-4304.2020.232.20-32
- [10] Nguen Van Tuen, A.P. Smirnov, Vu Van Chyong. *Vozobnovlenie lesa i vliyaniye na nego nizhnikh yarusov fitotsenozov posle vyborochnykh rubok v tsentral'nom V'etname* [Renewal of the forest and the impact on it of the lower tiers of phytocenoses after selective felling in central Vietnam]. *Izvestiya Sankt-Peterburgskoy lesotekhnicheskoy akademii* [Proceedings of the St. Petersburg Forestry Engineering Academy], 2020, iss. 230, pp. 54–72. DOI: 10.21266/2079-4304.2020.230.54-72
- [11] Danilov D.A., Bogdanova L.S., Mandrykin S.S., Yakovlev A.A., Sergeeva A.S. *Vliyaniye plodorodiya pochvy na estestvennoe vozobnovlenie lesa na staropakhotnykh zemlyakh* [Influence of soil fertility on natural reforestation on old arable lands]. *Izvestiya Sankt-Peterburgskoy lesotekhnicheskoy akademii* [Proceedings of the St. Petersburg Forestry Engineering Academy], 2019, iss. 229, pp. 145–163. DOI: 10.21266/2079-4304.2019.229.145-163
- [12] Andreev G.V. *Formirovaniye, rost i razvitiye pokoleniy eli i pikhty II yarusa neskol'kikh ryadov vosstanovitel'no-vozzrastnoy dinamiki na Yuzhnom Urale* [Formation, growth and development of generations of spruce and fir of the II tier of several series of restoration-age dynamics in the Southern Urals]. *Izvestiya Sankt-Peterburgskoy lesotekhnicheskoy akademii* [Proceedings of the St. Petersburg Forestry Engineering Academy], 2019, iss. 226, pp. 6–19. DOI: 10.21266/2079-4304.2019.226.6-19
- [13] Feklistov P.A., Sobolev A.N. *Lesnye nasazhdeniya Solovetskogo arhipelaga (Struktura, sostoyaniye, rost)* [Forest plantations of the Solovetsky Archipelago (Structure, condition, growth)]. Arkhangelsk: NArFU, 2010, 201 p.
- [14] Anuchin N.P. *Lesnaya taksatsiya* [Forest taxation]. Moscow: Lesnaya promyshlennost', 1982, 552 p.
- [15] Burova N.V., Feklistov P.A. *Antropogennaya transformatsiya prigorodnykh lesov* [Anthropogenic transformation of suburban forests]. Arkhangelsk: Publishing House of the Arkhangelsk State Technical University, 2007, 264 p.
- [16] Gusev I.I., Kalinin V.I. *Lesnaya taksatsiya* [Forest taxation]. Leningrad: LTA, 1988, 61 p.
- [17] OST 56-69-83 *Ploshchadi probnye lesoustroitel'nye. Metod zakladki* [Trial forest inventory areas. Bookmark method. Introduction 01.01.84]. Moscow: TsBNTI Gosleskhov USSR, 1984, 60 p.
- [18] Sukachev V.N., Zonn S.V. *Metodicheskie ukazaniya k izucheniyu tipov lesa* [Guidelines for the study of forest types]. Moscow: AN SSSR, 1961, 144 p.
- [19] Bitvinskas T.T. *Dendroklimaticheskie issledovaniya* [Dendroclimatic research]. Leningrad: Gidrometeoizdat, 1974, 172 p.
- [20] Matveev S.M., Timashchuk D.A. *Dendroklimaticheskiy analiz 200-letnego drevostoya sosny obyknovennoy v Voronezhskom biosfernom zapovednike* [Dendroclimatic analysis of a 200-year-old Scotch pine stand in the Voronezh Biosphere Reserve]. *Lesovedeniye*, 2019, no. 2, pp. 93–104. DOI: 10.1134/S0024114819020074
- [21] Konstantinov A.V., Matveev S.M. *Metodicheskiy podkhod k otsenke adaptatsionnogo potentsiala lesnykh ekosistem Rossiyskoy Federatsii* [A methodological approach to assessing the adaptive potential of forest ecosystems in the Russian Federation]. *Trudy Sankt-Peterburgskogo nauchno-issledovatel'skogo instituta lesnogo khozyaystva* [Proceedings of the St. Petersburg Research Institute of Forestry], 2020, no. 2, pp. 14–33.
- [22] Slavskiy V.A., Matveev S.M. *Nekotorye aspekty zakladki probnykh ploshchadey pri provedenii gosudarstvennoy inventarizatsii lesov* [Some aspects of laying trial plots during the state forest inventory]. *Lesnoy Zhurnal* (Russian Forestry Journal), 2021, v. 11, no. 1 (41), pp. 56–63. <https://doi.org/10.34220/issn.2222-7962/2021.1/5>
- [23] Khil'mi G.F. *Teoreticheskaya biogeofizika lesa* [Theoretical biogeophysics of the forest]. Moscow: Acad. Sciences of the USSR, 1957, 206 p.
- [24] L'vov P.N., Ipatov L.F. *Lesnaya tipologiya na geograficheskoy osnove* [Forest typology on a geographical basis]. Arkhangelsk: North-West Book Publishing House, 1976, 196 p.
- [25] *Lesotaksatsionnyy spravochnik dlya severo-vostoka Evropeyskoy chasti SSSR (Normativnye materialy dlya Arkhangel'skoy, Vologodskoy oblastey i Komi ASSR)* [Forest inventory guide for the north-east of the European part of the USSR (Regulatory materials for the Arkhangelsk, Vologda regions and Komi ASSR)]. Arkhangelsk: AIL i LH, 1986, 358 p.

The research was carried out within the framework of the state task of the Federal State Budgetary Institution of Science «Federal Research Center for the Comprehensive Study of the Arctic named after Academician N.P. Laverov Ural Branch of the Russian Academy of Sciences» (Number of state registration — 122011400384-2).

Authors' information

Sobolev Aleksandr Nikolaevich — Cand. Sci. (Agriculture), Senior researcher of the Solovetsky State Historical, Architectural and Natural Museum-Reserve, alex-sobol@mail.ru

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

Popova Lyudmila Fedorovna — Dr. Sci. (Biology), Professor, Lomonosov Northern (Arctic) Federal University (SAFU), Lf.popova@narfu.ru

Bolotov Ivan Nikolaevich — Dr. Sci. (Biology), Director of Federal Research Center for Integrated Arctic Studies named after Academician N.P. Laverov, Ural Branch of the Russian Academy of Sciences, inepras@yandex.ru

Received 21.11.2022.

Approved after review 10.01.2023.

Accepted for publication 09.02.2023.

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

ОСОБЕННОСТИ ИНТЕРПРЕТАЦИИ РЕЗУЛЬТАТОВ РЕЗИСТОГРАММ ПРИ ОЦЕНКЕ КАЧЕСТВА СТВОЛОВОЙ ДРЕВЕСИНЫ СОСНЫ

О.Н. Тюкавина¹✉, Н.А. Неверов², В.И. Мелехов¹,
С.А. Корчагов³, С.С. Макаров⁴, Д.Ю. Корепин⁵

¹ФГАОУ ВО «Северный (Арктический) федеральный университет имени М.В. Ломоносова» (САФУ), Россия, 163002, г. Архангельск, ул. Набережная Северной Двины, д. 17

²ФГБУН «Федеральный исследовательский центр комплексного изучения Арктики им. Н.П. Лаверова УрО РАН», Институт геодинамики и геологии, Россия, 163000, г. Архангельск, ул. Набережная Северной Двины, д. 23

³ООО «Вологодский лесной научно-инновационный консалтинговый центр», Россия, 160032, Вологодская обл., г. Вологда, пер. Технический, д. 54А, оф. 70

⁴Филиал ФБУ «Всероссийский научно-исследовательский институт лесоводства и механизации лесного хозяйства» «Центрально-европейская лесная опытная станция», Россия, 156013, г. Кострома, проспект Мира, д. 134

⁵Филиал ФБУ «Рослесозащита» «Центр защиты леса Архангельской области», Россия, 163062, г. Архангельск, ул. Никитова, д. 13

o.tukavina@narfu.ru

Приведены результаты анализа резistogramм здоровых и поврежденных деструкцией стволов сосны с выявлением систематической ошибки сопротивления сверлению древесины сосны при использовании резistogramма. Установлено влияние длины канала просверливания ствола на величину сопротивления сверлению древесины сосны. Указано, что при использовании резistogramм как экспресс-метода оценки качества древесины стволов необходима корректировка ее рядов данных. Предложена методика моделирования влияния глубины просверливания ствола на величину сопротивления сверлению древесины. Выявлено влияние длины канала просверливания ствола на величину систематической ошибки сопротивления сверлению древесины сосны. Систематическая ошибка сопротивления сверлению древесины сосны зависит от количества рабочих циклов бурового сверла. При количестве циклов работы до 100 систематическая ошибка составляет до 20 Resi; от 100 до 200 — от 20 до 60 Resi; более 200 — от 60 до 200 Resi. При использовании бурового сверла после 100 рабочих циклов отмечается линейная зависимость систематических ошибок сопротивления сверлению древесины сосны от длины канала просверливания ствола.

Ключевые слова: резistogramф, сосна, древесина, ствол, сопротивление сверлению

Ссылка для цитирования: Тюкавина О.Н., Неверов Н.А., Мелехов В.И., Корчагов С.А., Макаров С.С., Корепин Д.Ю. Особенности интерпретации результатов резistogramм при оценке качества стволочной древесины сосны // Лесной вестник / Forestry Bulletin, 2023. Т. 27. № 2. С. 18–26.
DOI: 10.18698/2542-1468-2023-2-18-26

Оперативные методы диагностики внутреннего состояния и свойств древесины растущих деревьев позволяют перейти к дифференцированному подходу ее использования, обеспечивая рациональное природопользование. В современный период активно развиваются методы диагностики качества древесины [1–7]. Наиболее известным и востребованным является метод, основанный на измерении сопротивления материала сверлению устройством резistogramф (Rinntech, Германия) [5, 8], который применяется для оценки состояния стволочной древесины как растущих деревьев [8–18], так и древесного сырья [5–7, 19], плотности древесины [15, 20–22] и радиального прироста [23, 24]. Значения сопротивления сверлению зависят от плотности и влажности древесины [5]. Основным рабочим элементом резistogramфа является тонкое буровое сверло из специальной эластичной стали. При сверлении возникает сопротивление бурению, подачи сверла (крутящий момент), трению между поверхностью сверла, стружкой и поверхностью резания [25]. Программа

Descom устройства резistogramфа предлагает единицей измерения сопротивления древесины сверлению — Resi. Согласно М.Ф. Лаврову [19], значения Resi возрастают по мере увеличения длины канала просверливания. Для лиственницы М.Ф. Лавров [19] описал данную погрешность линейным уравнением связи. Следовательно, для того чтобы интерпретировать результаты резistogramфа путем сопоставления для соответствующих участков древесины плотности, влажности, прочности со значениями сопротивления сверлению, необходимо выравнивание резistogramмы посредством учета погрешности.

Цель работы

Цель работы — оценка влияния длины канала просверливания ствола на величину систематической ошибки сопротивления сверлению древесины сосны.

Материалы и методы

Исследования проведены в Архангельском и Пинежском лесничестве (таблица). Объектом исследования служит сосна обыкновенная

Таксационная характеристика насаждений
Taxation characteristics of plantings

Тип леса	Состав древостоя	Средние значения		Класс возраста	Класс бонитета	Относительная полнота
		высота, м	диаметр, см			
Архангельское лесничество						
Сосняк сфагновый	10С	13	17	VI	Vб	0,3
Сосняк черничный	8С2Е+Б	21	23	VI	III	0,6
Ельник черничный	4С5Е1Ос+Б	22	24	V	III	0,6
Сосняк черничный	6С1Е2Б1Ос	21	24	V	III	0,6
Пинежское лесничество						
Сосняк черничный	2Лц5С2Е1Б	24	45	XI	III	0,6

(*Pinus sylvestris* L.). На пробных площадях Архангельского лесничества исследования проводили дважды, применяя резистограф с разной степенью затупления бурового сверла. В ельнике и сосняке черничных V класса возраста оценивали качество стволовой древесины сосны с помощью бурового сверла, использованного предварительно в менее 100 рабочих циклах, и с буровым сверлом, использованным более 200 раз. В сосняке черничном VI класса возраста применяли буровое сверло, прошедшее предварительно от 100 до 200 рабочих циклов. В сосняке сфагновом Архангельского лесничества и сосняке черничном Пинежского лесничества применяли буровое сверло, использованное предварительно более 200 раз.

Прибором резистограф (Resistograph-44538) проводили сверление стволов на высоте 1,3 м от поверхности почвы сначала с северной стороны, а затем с южной. Затем поблизости от отверстий возрастным буровым брали керн. Сопоставляли однородные участки древесины по уровню Resi при сверлении с северной и южной стороны. На каждой пробной площади исследовано по 15 деревьев. При оценке погрешности измерения сопротивления сверлению древесины сосны анализировали здоровые деревья без деструкции в стволе.

Результаты и обсуждение

При анализе резистограммы ствола растущего дерева следует обратить внимание на зоны (рис. 1). Сначала при сверлении сопротивление равно 0 Resi, но может быть и больше нуля, если в сопло иглы набилась опилки. Это зона холостого хода. Далее кора — уровень сопротивления сверления повышается.

Зона падения сопротивления сверлению после коры указывает на камбий и далее идет древесина. В зоне деструкции (см. рис. 1) можно наблюдать, что гниль распространяется участками по группам годичных колец.

У здоровых деревьев сосны можно отметить тенденцию к увеличению сопротивления сверлению с большим заглублением буровой иглы (рис. 2).

Для выявления усиления сопротивления сверлению древесины с глубиной брали резистограммы с северной и южной сторон. Последовательно находили среднее значение Resi для каждого 5-миллиметрового отрезка керна при сверлении с севера и с юга, далее сопоставляли их и усредняли значения, находили отклонения от среднего (рис. 3). Согласно графику первые 10 % диаметра ствола характеризуются ростом сопротивления сверлению. Значение данного показателя ниже усредненного между северной и южной резистограммами.

Следующий этап роста данного показателя с превышением усредненного значения отмечается на последних 10 % диаметра ствола. Если обратить внимание на рис. 1 и 2, то на входе бурового сверла после камбия рост значений Resi происходит постепенно, а на выходе он резко обрывается в области камбия. Следовательно, эти 10 % диаметра на входе бурового сверла являются этапом постепенного нарастания сопротивления сверлению древесины.

Согласно В.Ю. Чернову [22], вначале сверления до глубины 5...15 мм происходит плавное повышение мощности на микросверления относительно общего тренда, что обусловлено «облегченным» выходом стружки из отверстия и постепенным увеличением сил трения сверла о стенки отверстия и стружку. Для того чтобы мощность сверления стабилизировалась при достижении буровой иглы образца, В.Ю. Чернов [22] рекомендует вплотную к образцу устанавливать дополнительный образец древесины — «прокладку». При исследовании качества стволовой древесины растущего дерева в указанный диапазон попадает кора, а постепенное нарастание сопротивления сверлению происходит после камбия.

Для того чтобы смоделировать влияние длины канала просверливания на величину сопротивления сверлению стволовой древесины сосны на резистограмме, взятой с севера на юг, отступали расстояние, равное 10 % диаметра ствола, и сопоставляли значения Resi с соответствующим участком древесины на резистограмме взятой

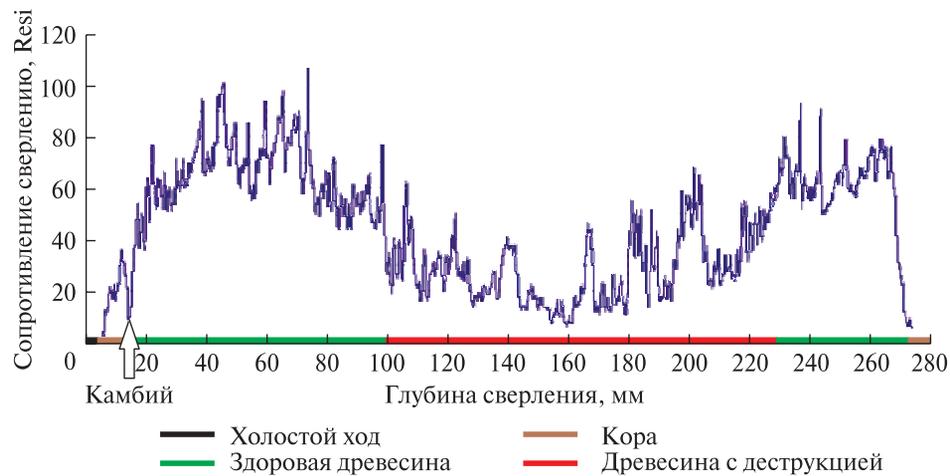


Рис. 1. Резистограмма ствола сосны с деструкцией
Fig. 1. Pine trunk with destruction resistogram

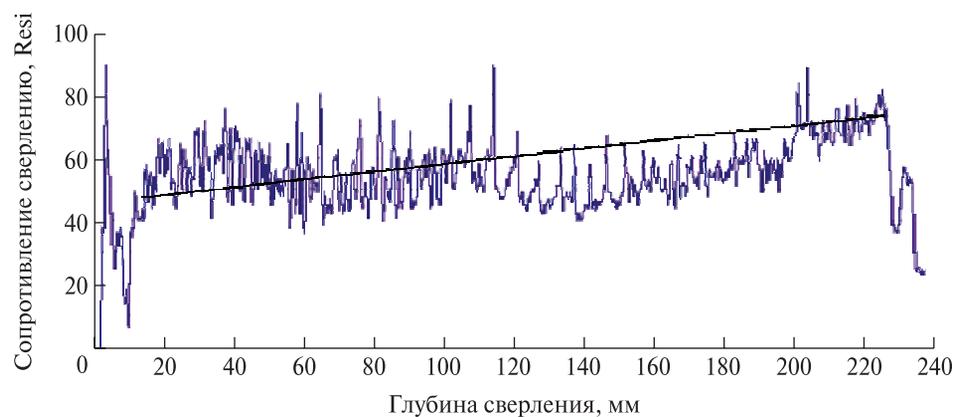


Рис. 2. Резистограмма ствола здоровой сосны
Fig. 2. Healthy pine trunk resistogram

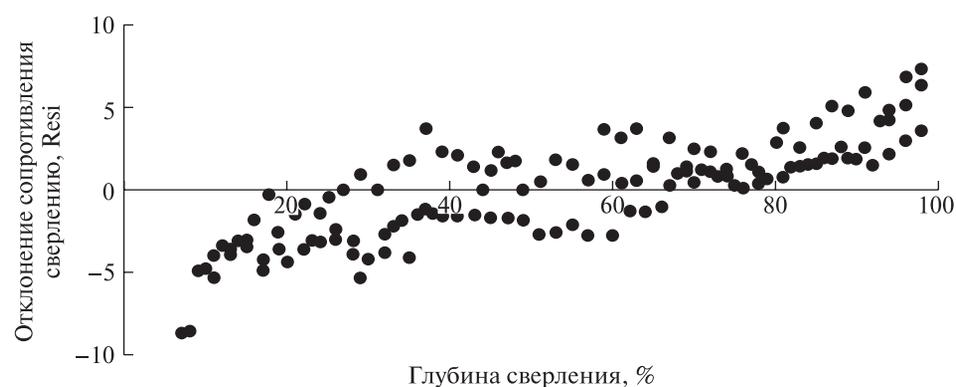


Рис. 3. Отклонения значений сопротивления сверлению древесины от среднего при засверлировании с северной и южной сторон
Fig. 3. Wood drilling resistance deviations values from the average when drilling from the north and south sides

у этого же дерева в направлении с юга на север. Аналогично сопоставили начало резистограммы, взятой с южной стороны, с концом резистограммы, взятой с северной стороны дерева. Предположим, что в начале резистограммы с установив-

шейся мощностью погрешность отсутствует и на противоположной резистограмме есть значения Resi с погрешностью для тех же самых годовичных колец. В результате, взяв деревья со стволами разного диаметра, можно смоделировать влияние

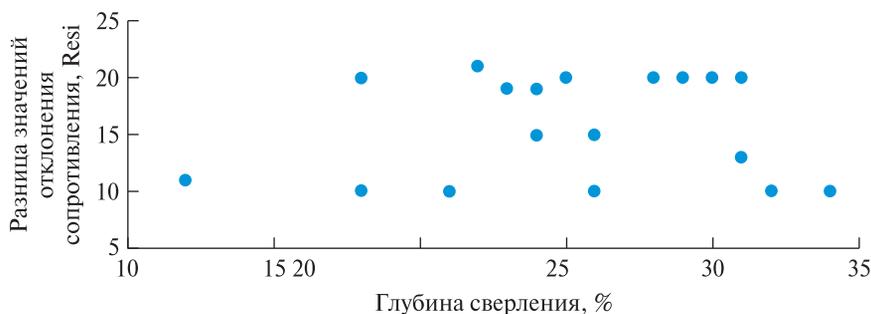


Рис. 4. Погрешность значений сопротивления сверлению в зависимости от длины канала просверливания при предварительном использовании бурового сверла менее 100 раз

Fig. 4. The error of drilling resistance values depending on the length of the drilling channel when the drill bit is previously used is less than 100 times

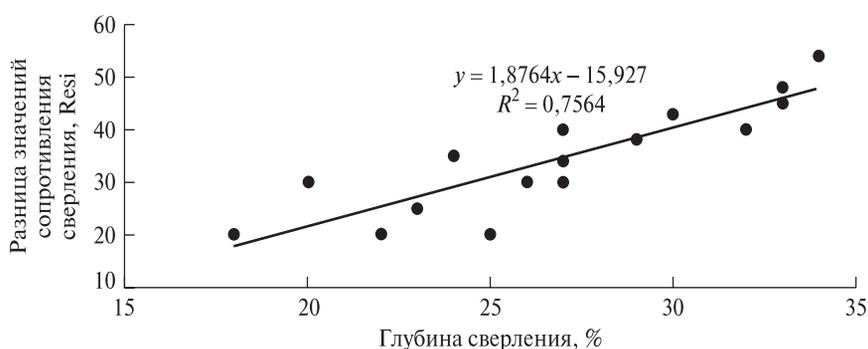


Рис. 5. Погрешность значений сопротивления сверлению в зависимости от длины канала просверливания при предварительном использовании бурового сверла от 100 и до 200 раз

Fig. 5. The error in drilling resistance values depending on the length of the drilling channel with the preliminary use of a drill bit from 100 to 200 times

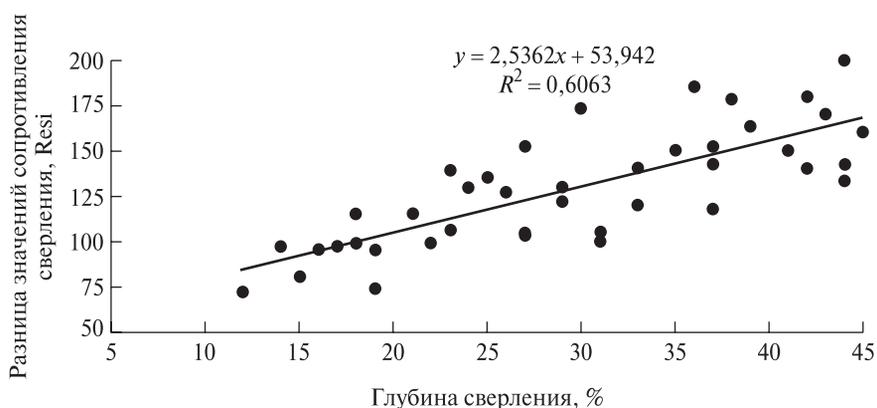


Рис. 6. Погрешность значений сопротивления сверлению в зависимости от длины канала просверливания при предварительном использовании бурового сверла более 200 раз

Fig. 6. The error of drilling resistance values depending on the length of the drilling channel when previously using the drill bit more than 200 times

глубины сверления древесины сосны на значения Resi (рис. 4–6). При этом важно учитывать количество рабочих циклов использования бурового сверла. Согласно Е.С. Шарапову [5], точность работы устройства для измерения сопротивления

сверлению в целях оценки качества древесины зависит от состояния режущих кромок тонких буровых сверл.

При использовании бурового сверла до 100 раз погрешность значений сопротивления сверлению

составляет от 10 до 20 (см. рис. 4). При этом погрешность измерений резистографа достаточно стабильна и не зависит от глубины сверления.

При использовании бурового сверла от 100 до 200 раз систематические ошибки значений сопротивления сверлению нарастают с увеличением глубины сверления и составляют от 20 до 54 (см. рис. 5). При дальнейшем увеличении количества циклов работы буровой иглы погрешность возрастает в 3 раза по сравнению с предыдущей схемой работы (см. рис. 6). Систематическая ошибка сопротивления сверлению древесины сосны в данном случае может возрасти в зависимости от глубины сверления от 75 до 200 Resi.

Таким образом, при использовании бурового сверла после 100 засверливаний отмечается линейная зависимость систематических ошибок сопротивления сверлению древесины сосны от длины канала сверления ствола.

Выводы

Глубина сверления оказывает влияние на значения сопротивления сверлению древесины, в связи с чем необходимо сглаживание рядов данных.

Систематическая ошибка сопротивления сверлению древесины сосны зависит от количества предварительно проведенных рабочих циклов буровым сверлом. При количестве циклов работы до 100 систематическая ошибка составляет до 20 Resi; от 100 до 200 — от 20 до 60 Resi; более 200 — от 60 до 200 Resi.

При использовании бурового сверла после 100 рабочих циклов отмечается линейная зависимость систематических ошибок сопротивления сверлению древесины сосны от длины канала просверливания ствола.

Список литературы

- [1] Гулизаде С.Ф. Применение акустической томографии для изучения состояния некоторых видов сосен и гледичий в условиях Абшерона // Hortus Botanicus, 2021. Т. 16. С. 209–218.
- [2] Кострюков А.Ю., Куницкая О.А., Григорьев И.В., Давтян А.Б. Приборный комплекс для радиографического контроля структуры древесины // Ремонт. Восстановление. Модернизация, 2019. № 6. С. 12–17.
- [3] Vedernikov K., Zagrebin E., Bukharina I. Specific Nature of the Biochemical Composition of Spruce Wood from the Forest Stands Exposed to Drying out in European // Kastamonu University J. of Forestry Faculty, 2020, т. 20, no. 3, pp. 208–219. DOI:10.17475/kastorman.849461
- [4] Терентьева Е.Б., Судакова М.С., Калашников А.Ю. Опыт применения георадарной томографии при изучении стволов деревьев // Лесоведение, 2020. № 3. С. 274–286.
- [5] Шарпапов Е.С. Совершенствование методов и средств квазинеразрушающего контроля физико-механических свойств древесины и древесных материалов: дис. ... д-ра техн. наук: 05.21.05. Архангельск, 2019. 340 с.
- [6] Kim J.H., Sutley E.J., Martin F. Merging State-of-the-Art Research with Modern Practices to Improve the Quality of Wood Structures Exposed to Decay Fungi // Structures Congress 2019: Buildings and Natural Disasters. Reston, VA: American Society of Civil Engineers, 2019, pp. 74–83.
- [7] Krajewski K.J. Krzysztof J. Resistograph investigation of Scots pine wood utility poles in the State Museum at Majdanek // Annals of Warsaw University of Life Sciences-SGGW, 2019, v. 8, pp. 58–67.
- [8] 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(9), p. e0204518. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0204518>
- [9] Авраменко А.А. Исследование внутреннего состояния и структуры древесины с использованием прибора Резистограф R650-SC // Вопросы криминологии, криминалистики и судебной экспертизы, 2021. № 1 (49). С. 177–180.
- [10] Анциферов А.В. Судебные экспертизы по установлению причин падения деревьев // Теория и практика судебной экспертизы, 2020. Т. 15. № 2. С. 62–69.
- [11] Гревцова В.В., Яценко И.О. Диагностика внутреннего состояния стволов дуба черешчатого прибором Resistograph в дубраве главного Ботанического сада РАН // Мониторинг и биологические методы контроля вредителей и патогенов древесных растений: от теории к практике. Материалы III Всероссийской конференции с международным участием. Красноярск, 2022. С. 53–54.
- [12] Корниенко В. О., Приходько С. А. Новый методический подход к оценке механической устойчивости зеленых насаждений в городской среде // Самарский научный вестник, 2018. Т. 7. № 2 (23). С. 72–77.
- [13] Кулакова С.А. Инструментальная диагностика деревьев уличного озеленения (на примере липы сердцелистной (*Tilia cordata*)) // Антропогенная трансформация природной среды, 2018. № 4. С. 224–227.
- [14] Кулакова С.А., Роготнева А.М. Инструментальная оценка состояния дубовых насаждений на территории природного заповедника «Шайтан-Тай» // Вопросы степеведения, 2019. № XV. С. 160–164.
- [15] Рунова Е.М., Аношкина Л.В. Лесоводственно-экологическая оценка состояния сосновых древостоев в условиях городской среды // Вестник Бурятской государственной сельскохозяйственной академии им. В.Р. Филиппова, 2021. № 2 (63). С. 114–122.
- [16] Позняк С.С., Хох А.Н. Диагностика внутреннего состояния деревьев на наличие скрытых гнилей с использованием показателей сопротивления при сверлении древесины // Сахаровские чтения 2020 года: экологические проблемы XXI века. Материалы 20-й международной научной конференции, в 2 ч., Минск, 21–22 мая 2020 г. Минск: Информационно-вычислительный центр Министерства финансов Республики Беларусь, 2020. С. 280–284.
- [17] Сиволапов В.А., Кулаков Е.Е., Сиволапов А.И. Диагностика жизнеспособности регенерантов сорта тополя сереющего хоперский 1 и экотип лиственницы с помощью прибора RESISTOGRAPH // Цифровые технологии в лесной отрасли. Материалы Всероссийской научно-практической конференции, ВГЛТУ, 19–20 мая 2022. Воронеж: ВГЛТУ, 2022. С. 86–91.
- [18] Танков А.А., Жамурина Н.А., Танков Д.А. Современные методы оценки аварийности деревьев // Известия Оренбургского государственного аграрного университета, 2019. № 5 (79). С. 133–136.
- [19] Лавров М.Ф. Совершенствование метода оценки качества древесины лиственницы, произрастающей в климатических условиях Якутии: автореф. дис. ... канд. техн. наук: 05.21.05. Якутск, 2022. 16 с.

- [20] Роготнева А.М. Инструментальная диагностика древесных насаждений Ленинского района г. Перми // Антропогенная трансформация природной среды, 2018. № 4. С. 238–240.
- [21] Рунова Е.М., Гарус И.А., Мухачева А.Н. Применение инструментальных методов при оценке состояния стволов *Pinus sylvestris* L. // Лесотехнический журнал, 2020. Т. 10. № 3 (39). С. 72–85.
- [22] Чернов В.Ю., Шарапов Е.С., Торопов А.С. Определение плотности древесины методом измерения сопротивления сверлению. Йошкар-Ола: Изд-во Поволжского ГТУ, 2019. 200с.
- [23] Авраменко А.А. Исследование внутреннего состояния и структуры древесины с использованием прибора Резистограф R650-SC // Вопросы криминологии, криминалистики и судебной экспертизы, 2020. № 2 (48). С. 111–114.
- [24] Хох А.Н., Звягинцев В.Б. Новые возможности применения метода измерения сопротивления древесины сверлению в судебной экспертизе // Вопросы криминологии, криминалистики и судебной экспертизы, 2021. № 1 (49). С. 118–125.
- [25] Хох А.Н., Авраменко А.А. Использование современных инструментальных методов при проведении судебно-ботанических экспертиз // Судебная экспертиза Беларуси, 2021. № 1 (12). С. 73–78.

Сведения об авторах

Тюкавина Ольга Николаевна [✉] — д-р с.-х. наук, доцент кафедры биологии, экологии и биотехнологии Высшей школы естественных наук и технологий, ФГАУ ВО «Северный (Арктический) федеральный университет имени М.В. Ломоносова» (САФУ), o.tukavina@narfu.ru

Неверов Николай Александрович — канд. с.-х. наук, ст. науч. сотр. лаборатории глубинного геологического строения и динамики литосферы Института геодинамики и геологии, ФГБУН «Федеральный исследовательский центр комплексного изучения Арктики имени Н.П. Лаврова» УрО РАН, na-neverov@yandex.ru

Мелехов Владимир Иванович — д-р техн. наук, профессор кафедры лесозаготовительных производств и обработки материалов Высшей инженерной школы, ФГАУ ВО «Северный (Арктический) федеральный университет имени М.В. Ломоносова» (САФУ)

Корчагов Сергей Анатольевич — д-р с.-х. наук, директор, ООО «Вологодский лесной научно-инновационный консалтинговый центр»

Макаров Сергей Сергеевич — д-р с.-х. наук, ст. науч. сотр. лаборатории недревесной продукции леса, Филиал ФБУ Всероссийский научно-исследовательский институт лесоводства и механизации лесного хозяйства «Центрально-европейская лесная опытная станция», makarov_serg44@mail.ru

Корепин Дмитрий Юрьевич — Инженер отдела дистанционных наблюдений и ГИС, Филиал ФБУ «Рослесозащита» «ЦЗЛ Архангельской области», korepin.mitya@yandex.ru

Поступила в редакцию 25.11.2022.

Одобрено после рецензирования 16.12.2022.

Принята к публикации 08.02.2023.

RESISTOGRAM RESULTS INTERPRETATION IN ASSESSING PINE STEM WOOD QUALITY

O.N. Tyukavina¹, N.A. Neverov², S.A. Korchagov⁴,
V.I. Melekhov¹, S.S. Makarov⁴, D.Yu. Korepin⁵

¹Northern (Arctic) Federal University named after M.V. Lomonosov, 17, Naberezhnaya Severnoy Dviny, 163002, Arkhangelsk, Russia

²N. Laverov Federal Center for Integrated Arctic Research of the Ural Branch of the Russian Academy of Sciences, 23, Naberezhnaya Severnoy Dviny, 163000, Arkhangelsk, Russia

³Vologda Forest Scientific and Innovative Consulting Center, 54A, lane. Technical, 160032, Vologda, Russia

⁴Russian Research Institute of Forestry and Mechanization of Forestry «Central European Forest Experimental Station», 134, Prospekt Mira, 156013, Kostroma, Russia

⁵Federal State Institution «Russian Forest Protection» «Forest Protection Center of the Arkhangelsk region», 13, Nikitova st., 163062, Arkhangelsk, Russia

o.tukavina@narfu.ru

The article presents the resistogram analysis results of the healthy and damaged pine trunks with the systematic resistance error identification to drilling of pine wood when using the resistograph. The influence of the bore drilling channel length on the amount of resistance to drilling of pine wood has been established. It is indicated that when using resistograms as an express method for assessing the quality of wood trunks, it is necessary to adjust its dataset. A method of modeling the effect of the trunk drilling depth on the amount of resistance to wood drilling is proposed. The influence of the bore drilling channel length on the value of the systematic error of the resistance to pine wood drilling was revealed. The systematic error of pine wood drilling resistance depends on the number of the drill bit working cycles. When the number of work cycles is up to 100, the systematic error is up to 20 Resi; from 100 to 200 — from 20 to 60 Resi; more than 200 — from 60 to 200 Resi. When using a drill bit after 100 working cycles, a linear dependence of systematic errors of resistance to pine wood drilling on the length of the bore drilling channel is noted.

Keywords: resistograph, pine, wood, trunk, drilling resistance

Suggested citation: Tyukavina O.N., Neverov N.A., Melekhov V.I., Korchagov S.A., Makarov S.S., Korepin D.Yu. *Osobennosti interpretatsii rezul'tatov rezistogramm pri otsenke kachestva stvolovoy drevesiny sosny* [Resistogram results interpretation in assessing pine stem wood quality]. *Lesnoy vestnik / Forestry Bulletin*, 2023, vol. 27, no. 2, pp. 18–26. DOI: 10.18698/2542-1468-2023-2-18-26

References

- [1] Gulizade S.F. *Primenenie akusticheskoy tomografii dlya izucheniya sostoyaniya nekotorykh vidov sosen i gledichij v usloviyah Absherona* [Application of acoustic tomography to study the condition of some species of pines and gledias in the conditions of Absheron]. *Hortus Botanicus* [Hortus Botanicus], 2021, V. 16, pp. 209–218.
- [2] Kostryukov A.YU., Kunickaya O.A., Grigor'ev I.V., Davtyan A.B. *Pribornyy kompleks dlya radiograficheskogo kontrolya struktury drevesiny* [Instrument complex for radiographic control of wood structure] *Remont. Vosstanovlenie. Modernizatsiya* [Repair. Recovery. Modernization], 2019, no. 6, pp. 12–17.
- [3] Vedernikov K., Zagrebin E., Bukharina I. Specific Nature of the Biochemical Composition of Spruce Wood from the Forest Stands Exposed to Drying out in European. *Kastamonu University J. of Forestry Faculty*, 2020, t. 20, no. 3, pp. 208–219. DOI:10.17475/kastorman.849461
- [4] Terent'eva E.B., Sudakova M.S., Kalashnikov A.YU. *Opyt primeneniya georadarnoy tomografii pri izuchenii stvolov derev'ev* [Experience in the use of GPR tomography in the study of tree trunks]. *Lesovedenie* [Forest science], 2020, no. 3, pp. 274–286.
- [5] Sharapov E.S. *Sovershenstvovanie metodov i sredstv kvazinerazrushayushchego kontrolya fiziko-mekhanicheskikh svoystv drevesiny i drevesnykh materialov* [Improving the methods and means of quasi-non-destructive testing of the physical and mechanical properties of wood and wood materials]. *Dis. Dr. Sci. (Tech.)*, 05.21.05. Arkhangelsk, 2019, 340 p.
- [6] Kim J.H., Sutley E.J., Martin F. Merging State-of-the-Art Research with Modern Practices to Improve the Quality of Wood Structures Exposed to Decay Fungi. *Structures Congress 2019: Buildings and Natural Disasters*. Reston, VA: American Society of Civil Engineers, 2019, pp. 74–83.
- [7] Krajewski K.J., Krzysztof J. Resistograph investigation of Scots pine wood utility poles in the State Museum at Majdanek. *Annals of Warsaw University of Life Sciences-SGGW*, 2019, v. 8, pp. 58–67.
- [8] 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(9), p. e0204518. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0204518>
- [9] Avramenko A.A. *Issledovanie vnutrennego sostoyaniya i struktury drevesiny s ispol'zovaniem pribora Rezistograf R650-SC* [Study of the internal state and structure of wood using the Resistograph R650-SC]. *Voprosy kriminologii, kriminalistiki i sudebnoy ekspertizy* [Issues of Criminology, Forensic Science and Forensic Science], 2021, no. 1 (49), pp. 177–180.
- [10] Anciferov A.V. *Sudebnye ekspertizy po ustanovleniyu prichin padeniya derev'ev* [Forensic examinations to determine the causes of falling trees] *Teoriya i praktika sudebnoy ekspertizy* [Theory and practice of forensic examination], 2020, v. 15, no. 2, pp. 62–69.

- [11] Grevcova V.V., YAcenko I.O. *Diagnostika vnutrennego sostoyaniya stvolov duba chereshchatogo priborom Resistograph v dubrave glavnogo Botanicheskogo sada RAN* [Diagnostics of the internal state of the trunks of the pedunculate oak with the Resistograph device in the oak grove of the Main Botanical Garden of the Russian Academy of Sciences]. *Monitoring i biologicheskie metody kontrolya vreditel'ev i patogenov drevesnykh rasteniy: ot teorii k praktike. Materialy tret'ey Vserossiyskoy konferencii s mezhdunarodnym uchastiem* [Monitoring and biological methods of control of pests and pathogens of woody plants: from theory to practice. Materials of the Third All-Russian Conference with international participation]. Krasnoyarsk, 2022, pp. 53–54.
- [12] Kornienko V.O., Prihod'ko S.A. *Novyy metodicheskiy podhod k ocenke mekhanicheskoy ustoychivosti zelenykh nasazhdeniy v gorodskoy srede* [A new methodological approach to assessing the mechanical stability of green spaces in an urban environment] *Samar. nauch. vestn.* [Samara Scientific Bulletin], 2018, v. 7, no. 2 (23), pp. 72–77.
- [13] Kulakova S.A. *Instrumental'naya diagnostika derev'ev ulichnogo ozeleneniya (na primere lipy serdtselistnoy Tilia cordata)* [Instrumental diagnostics of street gardening trees (on the example of the heart-leaved linden *Tilia cordata*)]. *Antropogennaya transformatsiya prirodnoy sredy* [Anthropogenic transformation of the natural environment], 2018, no. 4, pp. 224–227.
- [14] Kulakova S.A., Rogotneva A.M. *Instrumental'naya ocenka sostoyaniya dubovykh nasazhdeniy na territorii prirodnogo zapovednika «SHaytan-Tau»* [Instrumental assessment of the state of oak plantations on the territory of the Shaitan-Tau Nature Reserve]. *Voprosy stepovedeniya* [Questions of steppe studies], 2019, no. XV, pp.160–164.
- [15] Runova E.M., Anoshkina L.V. *Lesovodstvenno-ekologicheskaya ocenka sostoyaniya sosnovykh drevostoev v usloviyakh gorodskoy sredy* [Forestry and ecological assessment of the state of pine stands in the urban environment]. *Vestnik Buryatskoy gosudarstvennoy sel'skhozaystvennoy akademii im. V.R.Filippova* [Bulletin of the Buryat State Agricultural Academy named after V.R.Filippov], 2021, no. 2 (63), pp. 114–122.
- [16] Poznyak S.S., Khokh A.N. *Diagnostika vnutrennego sostoyaniya derev'ev na nalichie skrytykh gniley s ispol'zovaniem pokazateley soprotivleniya pri sverlenii drevesiny* [Diagnostics of the internal state of trees for the presence of hidden rot using resistance indicators when drilling wood]. *Sakharovskie chteniya 2020 goda: ekologicheskie problemy XXI veka. Materialy 20-y mezhdunarodnoy nauchnoy konferentsii, v 2 ch.* [Sakharov Readings 2020: environmental problems of the XXI century. Proceedings of the 20th International Scientific Conference, at 2 t], Minsk, May 21–22, 2020. Minsk: Information and Computing Center of the Ministry of Finance of the Republic of Belarus, 2020, pp. 280–284.
- [17] Sivolapov V.A., Kulakov E.E., Sivolapov A.I. *Diagnostika zhiznesposobnosti regenerantov sorta topolya sereyushchego khoperskiy 1 i ekotip listvennitsy s pomoshch'yu pribora RESISTOGRAPH* [Diagnostics of the viability of regenerants of the gray poplar variety Khopersky 1 and the larch ecotype using the RESISTOGRAPH device]. *Tsifrovye tekhnologii v lesnoy otrasli. Materialy Vserossiyskoy nauchno-prakticheskoy konferentsii* [Digital technologies in the forestry industry. Proceedings of the All-Russian Scientific and Practical Conference], VGLTU, May 19–20, 2022. Voronezh: VGLTU, 2022, pp. 86–91.
- [18] Tankov A.A., ZHamurina N.A., Tankov D.A. *Sovremennyye metody ochenki avariynosti derev'ev* [Modern methods of assessing the accident rate of trees] *Izvestiya Orenburgskogo gosudarstvennogo agrarnogo universiteta* [News of the Orenburg State Agrarian University], 2019, no. 5 (79), pp. 133–136.
- [19] Lavrov M.F. *Sovershenstvovanie metoda otsenki kachestva drevesiny listvennitsy, proizrastayushchey v klimaticheskikh usloviyakh Yakutii* [Improving the method for assessing the quality of larch wood growing in the climatic conditions of Yakutia]. *Dis. Cand. Sci. (Tech.)*, 05.21.05. Yakutsk, 2022, 16 p.
- [20] Rogotneva A.M. *Instrumental'naya diagnostika drevesnykh nasazhdeniy Leninskogo rayona g. Permi* [Instrumental diagnostics of tree plantings of the Leninsky district of Perm']. *Antropogennaya transformatsiya prirodnoy sredy* [Anthropogenic transformation of the natural environment], 2018, no. 4, pp. 238–240.
- [21] Runova E.M., Garus I.A., Muhacheva A.N. *Primenenie instrumental'nykh metodov pri ocenke sostoyaniya stvolov Pinus sylvestris L.* [Application of instrumental methods in assessing the condition of the trunks of *Pinus sylvestris* L.]. *Lesotekhnicheskii zhurnal* [Forestry Journal], 2020, v. 10, no. 3 (39), pp. 72–85.
- [22] Chernov V.Yu., Sharapov E.S., Toropov A.S. *Opreделение плотности древесины методом измерения сопротивления сверлению* [Determination of wood density by measuring drilling resistance]. *Yoshkar-Ola: Publishing House of the Volga State Technological University*, 2019, 200 p.
- [23] Avramenko A.A. *Issledovanie vnutrennego sostoyaniya i struktury drevesiny s ispol'zovaniem pribora Rezistograf R650-SC* [Investigation of the internal state and structure of wood using the Resistograph R650-SC device]. *Voprosy kriminologii, kriminalistiki i sudebnoy ekspertizy* [Questions of criminology, criminology and forensic examination], 2020, no. 2 (48), pp. 111–114.
- [24] Hoh A.N., Zvyaginets V.B. *Novyye vozmozhnosti primeneniya metoda izmereniya soprotivleniya drevesiny sverleniyu v sudebnoy ekspertize* [New possibilities of using the method of measuring the resistance of wood to drilling in forensic examination]. *Voprosy kriminologii, kriminalistiki i sudebnoy ekspertizy* [Questions of criminology, criminology and forensic examination], 2021, no. 1 (49), pp. 118–125.
- [25] Khokh A.N., Avramenko A.A. *Ispol'zovanie sovremennykh instrumental'nykh metodov pri provedenii sudebno-botanicheskikh ekspertiz* [The use of modern instrumental methods in the conduct of forensic botanical examinations]. *Sudebnaya ekspertiza Belarusii* [Forensic examination of Belarus], 2021, no. 1 (12), pp. 73–78.

Authors' information

Tyukavina Ol'ga Nikolaevna✉ — Dr. Sci. (Agriculture), Associate Professor of the Northern (Arctic) Federal University named after M.V. Lomonosov, o.tukavina@narfu.ru

Neverov Nikolay Aleksandrovich — Cand. Sci. (Agriculture), Senior researcher of Laboratory of the Deep Geological Structure and Dynamics of the Lithosphere of the Institute of Geodynamics and Geology of the Federal Research Center for the Integrated Study of the Arctic of the Ural Branch of the Russian Academy of Sciences named after N.P. Laverov, na-neverov@yandex.ru

Melekhov Vladimir Ivanovich — Dr. Sci. (Tech.), Professor of the Department of Logging Production and Materials Processing of the Higher School of Engineering, Northern (Arctic) Federal University named after M.V. Lomonosov

Korchagov Sergey Anatol'evich — Dr. Sci. (Agriculture), Director, LLC «Vologda Forest Scientific and Innovative Consulting Center», Kors45@yandex.ru

Makarov Sergey Sergeevich — Dr. Sci. (Agriculture), Senior researcher. Laboratories of non-wood forest products, Branch of the All-Russian Research Institute of Forestry and Forestry Mechanization «Central European Forest Experimental Station», makarov_serg44@mail.ru

Korepin Dmitriy Yur'evich — Engineer of the Department of Remote Observations and GIS, Federal State Institution «Russian Forest Protection» «Forest Protection Center of the Arkhangelsk region», korepin.mitya@yandex.ru

Received 25.11.2022.

Approved after review 16.12.2022.

Accepted for publication 08.02.2023.

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

ДИНАМИКА ЖИВОГО НАПОЧВЕННОГО ПОКРОВА НА НАЧАЛЬНЫХ ЭТАПАХ ФОРМИРОВАНИЯ ЛЕСНЫХ КУЛЬТУР СРЕДНЕЙ ПОДЗОНЫ ТАЙГИ

И.С. Коновалова[✉], Д.Ю. Коновалов

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

i.konovalova@narfu.ru

Рост древостоев искусственного происхождения на сплошных вырубках таежной зоны тесно связан с развитием травянистой растительности. Целью исследования явилось изучение динамики видового состава и структуры напочвенного покрова лесных культур на ранних этапах формирования в условиях средней подзоны тайги, а также выявление наиболее конкурентоспособных видов по значению фитоценологической активности. В результате полевых исследований определили таксономический состав и эколого-ценотическую структуру живого напочвенного покрова опытных культур сосны и ели 1 и 2 класса возраста в зависимости от обработки почвы плугами ПЛП-135 и ПЛД-1,2. Видовое богатство изменяется в пределах от 32 до 39 видов в возрасте культур 15 лет, и от 16 до 36 видов в возрасте культур 23 года. Типологическая структура растительного сообщества закономерно изменяется во времени. Коэффициенты сходства по составу семейств в 15-летних культурах варьируют от 0,48 до 0,89 в зависимости от обработки почвы. Наиболее близки между собой по составу семейств растительные сообщества лесных культур с обработкой почвы плугом ПЛП-135 и реконструкцией листового молодняка ($R = 0,89$). Сообщества растений напочвенного покрова лесных культур с обработкой почвы плугом ПЛД-1,2 отличаются по семейственному составу (0,48...0,58). В результате фитоценологического анализа пришли к выводу, что структура напочвенного покрова лесных культур закономерно изменяется во времени: группа высокоактивных видов напочвенного покрова достаточно многочисленна в 15-летних культурах и включает в себя 15 видов (33 % видового состава флоры), в 23-летних лесных культурах выделено только четыре вида из группы высокоактивных растений.

Ключевые слова: лесные культуры, обработка почвы, напочвенный покров, встречаемость видов, проективное покрытие, активность вида

Ссылка для цитирования: Коновалова И.С., Коновалов Д.Ю. Динамика живого напочвенного покрова на начальных этапах формирования лесных культур средней подзоны тайги // Лесной вестник / Forestry Bulletin, 2023. Т. 27. № 2. С. 27–37. DOI: 10.18698/2542-1468-2023-2-27-37

Живой напочвенный покров является отражением условий местопроизрастания лесных насаждений и формируется под влиянием климатических и почвенных факторов. Поэтому исследование особенностей формирования напочвенного покрова лесных культур, выращиваемых при различных способах обработки почвы, имеет важное значение.

Изучение изменений в растительном покрове в лесных культурах интересует лесоводов с давних пор [1–4]. Большое значение живому напочвенному покрову придавал профессор Г.Ф. Морозов [5]. Он отмечал, что живой напочвенный покров, как и древостой, динамичен, подвержен влиянию возрастных изменений, разреживанию полога и других природных и антропогенных факторов. По мнению Г.Ф. Морозова, при изучении напочвенного покрова необходимо анализировать одновременно и лесное насаждение, его географическое положение, почвенные условия и рельеф, которые в пределах лесорастительного района определяют условия местопроизрастания.

Изучению характера концентрированных вырубков и изменений в напочвенном покрове после рубки леса посвящены работы И.С. Мелехова [6–9], а также других исследователей [10–18]. Анализируя литературные данные, можно сделать вывод о том, что интенсивность зарастания травянистой растительностью почвы, обработанной под лесные культуры на вырубках, зависит от лесорастительных условий, возраста вырубки и способа обработки почвы [19–24].

Позднее в публикациях были отражены геоботанические и эколого-географические данные о лесном компоненте [25–34]. Эколого-флористический подход при изучении лесных сообществ был использован в работах В.М. Шмидта [35], Е.П. Гнатюка [28], А.М. Крышеня [29, 30], Н.А. Бабича [36] и др.

Положительная роль своевременно проведенных уходов за лесными культурами в лесоводственной литературе освещалась на всем протяжении истории искусственного лесоразведения [37]. Несмотря на это, проведение агротехнических и лесоводственных уходов за лесными культурами в условиях Севера — достаточно затратитель-

ное мероприятие. Объективными факторами, осложняющими возможность проведения уходов, являются: значительная удаленность объектов и отсутствие развитой сети шоссейных дорог.

Цель работы

Цель работы — решение задач, связанных с определением влияния травяного покрова на рост и развитие лесных культур на ранних этапах их формирования, изучение изменений видового состава и структуры в зависимости от обработки почвы, выявление наиболее конкурентоспособных видов по значению фитоценотической активности.

Материалы и методы

Исследования были проведены на опытных культурах сосны и ели Северного научно-исследовательского института лесного хозяйства (СевНИИЛХ), заложенных на территории Каргопольского лесничества в юго-западной части Архангельской обл. под руководством ст. науч. сотр. Б.А. Мочалова [38, 39] в рамках российско-финляндского проекта «Устойчивое лесопользование в Каргопольском районе Архангельской области» (1999–2002 гг.). Культуры заложены на вейниковой вырубке 1989 г. из-под сосняка брусничного.

Опытные лесные культуры созданы в 2000 г. в целях проведения сравнительного анализа различных видов посадочного материала, различных способов подготовки почвы, а также искусственного и естественного лесовосстановления. Заложены три опытных участка: 1 — участок, на котором осуществлялась обработка почвы плугом ПЛП-135, с расстоянием между центрами борозд 5,5...6,0 м; 2 — участок, на котором осуществлялась обработка почвы плугом ПЛД-1,2, с расстоянием между микроповышениями 3,0...3,5 м; 3 — участок реконструкции листовенного молодняка с обработкой почвы плугом ПЛП-135 на полосах шириной 5 м и с таким же расстоянием между кулисами.

Актуальность исследований тесно связана с одним из важных вопросов — повышением качества и ускорением роста создаваемых насаждений.

Основная задача, поставленная нами, заключалась в изучении динамики видового разнообразия напочвенного покрова и его эколого-ценотической структуры в фазе чащи лесных культур в соответствии с классификацией фаз роста и развития лесных культур, составленной Г.И. Редько и др. [40].

Экспериментальный материал собирали в 2014 [41] и 2022 гг. на постоянных пробных площадях в возрасте лесных культур сосны и ели 15 лет и 23 года соответственно. Методом

систематической выборки был проведен учет видового разнообразия растений напочвенного покрова. При геоботаническом описании отмечали проективное покрытие и обилие по шкале Друде всех видов сосудистых растений, а также мхов и кустарников. На каждой пробной площадке было заложено по 10–12 учетных площадок размером 1,0 м² с расстоянием 10 м между ними. В работе использовали общепринятые в лесной геоботанике, лесоводстве и таксации методики исследований, таксономический и эколого-ценотический анализ флоры выполнили по общепринятым методикам [28, 30, 35, 42].

Характеристика опытно-производственных культур представлена в табл. 1.

Изменчивость видового состава напочвенного покрова лесных культур позволила применить разработанную нами классификацию «активности растений» [43]. Классификация активности видов дополняет флористический анализ и позволяет оценить их позиции в конкретном растительном сообществе. В массиве описаний было выделено пять групп видов растений по признакам их фитоценотической активности:

1) высокоактивные — постоянство более 60 %, обилие наибольшее (3–4 балла); встречаются в сообществах повсеместно;

2) активные — постоянство 41...80 %, обилие значительное (2...3 балла); встречаются на большинстве заложённых пробных площадках;

3) среднеактивные — постоянство 21...60 %, довольно многочисленные по числу особей, достигают проективного покрытия 1...5 % (2 балла засоренности); встречаются в отдельных сообществах;

4) малоактивные — имеют низкое постоянство (менее 40 %) и проективное покрытие менее 1 % (1 балл засоренности); встречаются не на всех заложённых пробных площадках;

5) неактивные — имеют низкое постоянство (менее 20 %), произрастают единично (1 балл засоренности).

Результаты исследования

Видовое разнообразие напочвенного покрова является важным показателем структуры сообществ, с которым связана их продуктивность и стабильность. Чем богаче набор жизненных форм, тем полнее используются ресурсы среды, более разнообразны внутренние связи между видами, которые способствуют поддержанию динамического равновесия в сообществе. Травяные сообщества образуют экосистемы с наиболее интенсивным биологическим круговоротом, улучшают почвенные условия на местах произрастания. Живой напочвенный покров более значим

Т а б л и ц а 1

**Характеристика опытно-производственных культур сосны и ели
на начальных стадиях (1–2 класс возраста) участков 1–3**

**Experimental production crops characteristics of pine and spruce
at the initial stages (age class 1–2) of plots 1–3**

Характеристика посадочного материала	Густота, тыс. шт./га			Средние значения			
	Посадки/посева*	В возрасте 15 лет	В возрасте 23 года	Диаметр ствола <i>D</i> , см		Высота <i>H</i> , м	
				в возрасте 15 лет	в возрасте 23 года	в возрасте 15 лет	в возрасте 23 года
Участок 1 (обработка почвы плугом ПЛП-135)							
Посев	(4,0)	0,87	0,36	3,6 ± 0,13	9,3 ± 1,05	3,4	8,6
С. Сц. 1т. ПМЗК м	2,5	2,14	1,36	8,9 ± 0,10	12,9 ± 0,76	6,2	10,4
С. Сц. 1т. ПМЗК ф	2,5	2,27	1,77	8,6 ± 0,12	13,0 ± 0,99	6,3	9,8
С. Сц. 2т	4,0	3,55	2,32	6,9 ± 0,11	10,5 ± 0,44	5,9	10,1
С. Сц. 3л.	4,0	3,14	2,43	7,5 ± 0,10	11,8 ± 0,72	6,1	10,6
Е. Сц. 4л.	3,5	–	1,11	–	6,7 ± 0,25	1,8	5,3
Е. Сж. 4л.	2,8	–	1,70	–	7,9 ± 0,39	–	5,4
Участок 2 (обработка почвы плугом ПЛД-1,2)							
С. Сц. 1т. ПМЗК, м	2,5	2,15	1,93	8,3 ± 0,13	12,7 ± 0,79	3,4	11,3
С. Сц. 2т.	4,0	3,07	2,20	7,5 ± 0,11	12,55 ± 0,74	6,2	11,2
Е. Сц. 3л.	3,5	–	0,95	–	6,7 ± 0,29	1,8	5,3
Е. Сж. 5(2+3) л.	3,5	–	1,09	–	7,7 ± 0,44	2,2	5,0
Участок 3 (обработка почвы плугом ПЛП-135; реконструкция лиственного молодняка)							
С. Сж. 4(2т+2)	2,5	0,70	Единичные экземпляры	4,2 ± 0,49	–	3,4	–
С. Сц. 1т. ПМЗК	2,5	0,89	Единичные экземпляры	4,1 ± 0,17	–	4,7	–
Е. Сж. 5(3+2)	2,8	–	0,23	4,4 ± 0,37	9,6 ± 0,59	–	5,8

*На варианте посева за исходную густоту принято количество посевных мест.
Примечание: породы: С — сосна, Е — ель; посадочный материал: Сц. — сеянцы, Сж. — саженцы; возраст и характеристика: т — сеянцы из теплиц, ПМЗК — посадочный материал с закрытой корневой системой, м — сеянцы, выращенные на местном торфе, ф — сеянцы, выращенные на финском субстрате.

как фактор, определяющий почвенные свойства и микроклимат, рост и развитие древесных насаждений.

Наблюдения за состоянием растительности на контрольных объектах показали, что рост и развитие лесных культур, меняя микроклимат среды, накладывает существенный отпечаток на количественный и качественный состав травянистой растительности. Флористический состав живого напочвенного покрова в исследуемых опытных культурах сосны и ели в целом достаточно богат и разнообразен. Видовое богатство на опытных участках лесных культур с разными способами подготовки почвы изменяется от 32 до 39 видов в возрасте культур 15 лет, и от 16 до 36 видов в возрасте культур 23 года. С течением времени вследствие изменения экологических факторов, влияющих на рост и развитие растений, в напочвенном покрове лесных культур появляются новые виды, не отмеченные ранее, 12 видов: *Equisetum sylvaticum* L., *Maianthemum bifolium* (L.) F.W. Schmidt, *Paris quadrifolia* L., *Fragaria*

vesca L., *Lathyrus vernus* (L.) Bernh., *Anthriscus sylvestris* (L.) Hoffm., *Pyrola rotundifolia* L. и др. В рядах культур в связи с изменением светового режима наблюдается увеличение типичных теневыносливых лесных видов, при этом исчезают светолюбивые полевые растения (13 видов), в том числе и некоторые виды злаков: *Elytrigia repens* (L.) Nevski, *Festuca pratensis* Huds., *Poa pratensis* L., *Dactylis glomerata* L., *Knautia arvensis* (L.) Coult., *Achillea millefolium* L., *Leucanthemum vulgare* Lam., *Taraxacum officinale* Wigg. и др. Отмечено восстановление мохово-лишайникового яруса за счет следующих видов: *Pleurozium schreberi* (Brid.) Mitt., *Polytrichum commune* Hedw., *Plagiomnium undulatum* (Hedw.) T.J.Kop., *Ptilium crista-castrensis* (Hedw.) De Not.

Коэффициенты сходства по составу семейств на исследуемых пробных площадях в 15-летних культурах в зависимости от обработки почвы варьируют от 0,48 до 0,89. Наиболее близки между собой по составу семейств растительные группировки лесных культур с обработкой почвы

Сходство по составу семейств растений напочвенного покрова лесных культур

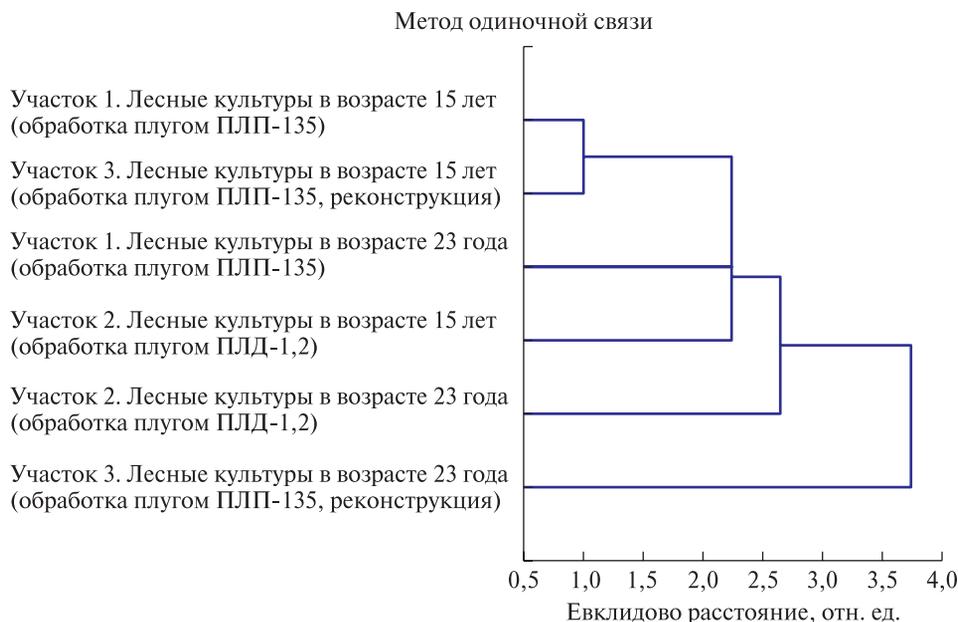
Similarity in the plant families' composition of the ground cover of forest plantations

Пробная лесокультурная площадь	Лесные культуры в возрасте 15 лет. Обработка почвы плугом ПЛП-135	Лесные культуры в возрасте 23 года. Обработка почвы плугом ПЛП-135	Лесные культуры в возрасте 15 лет. Обработка почвы плугом ПЛД-1,2	Лесные культуры в возрасте 23 года. Обработка почвы плугом ПЛД-1,2	Лесные культуры в возрасте 15 лет. Обработка почвы плугом ПЛП-135. Реконструкция листовного молодняка	Лесные культуры в возрасте 23 года. Обработка почвы плугом ПЛП-135. Реконструкция листовного молодняка
Лесные культуры в возрасте 15 лет. Обработка почвы плугом ПЛП-135	1,00	0,44	0,58	0,16	0,89	-0,22
Лесные культуры в возрасте 23 года. Обработка почвы плугом ПЛП-135	0,44	1,00	0,48	0,22	0,28	0,04
Лесные культуры в возрасте 15 лет. Обработка почвы плугом ПЛД-1,2	0,58	0,48	1,00	-0,16	0,48	-0,14
Лесные культуры в возрасте 23 года. Обработка почвы плугом ПЛД-1,2	0,16	0,22	-0,16	1,00	0,22	0,12
Лесные культуры в возрасте 15 лет. Обработка почвы плугом ПЛП-135. Реконструкция листовного молодняка	0,89	0,28	0,48	0,22	1,00	-0,32
Лесные культуры в возрасте 23 года. Обработка почвы плугом ПЛП-135. Реконструкция листовного молодняка	-0,22	0,04	-0,14	0,12	-0,32	1,00

плугом ПЛП-135 и реконструкцией листовного молодняка ($R = 0,89$). Сообщества растений напочвенного покрова лесных культур с обработкой почвы плугом ПЛД-1,2 более резко отличаются по семейственному составу. Сходство состава семейств напочвенного покрова лесных культур с различными способами обработки почвы (плуги ПЛП-135 и ПЛД-1,2) оказывается минимальным (0,48...0,58) (табл. 2, рисунок).

Рассматривая динамику покрова по отдельным участкам, можно сделать вывод, что она происходит по-разному. К примеру, на участке реконструкции в 15-летних культурах ели активно развивались светолюбивые виды напочвенного покрова (*Rubus saxatilis* L., *Chamerion angustifolium* (L.) Holub., *Vicia sylvatica* L., *Hypericum perforatum* L. и др.). Это обусловлено небольшой высотой культур ели (средняя высота

не превышала 3 м) и, как следствие, отсутствием конкуренции со стороны древостоя. С течением времени с учетом изменения таксационных показателей, в том числе с увеличением высоты древостоя (средняя высота 5,8 м) и изменением величины светового довольствия в еловых насаждениях на участке реконструкции, живой напочвенный покров под пологом древостоя почти исчезает. Большая часть поверхности почвы имеет так называемый мертвый покров, где отмечены единичные экземпляры травянистых растений. Это теневыносливые растения *Pyrola rotundifolia* L., *Oxalis acetosella*, *Anthriscus sylvestris* (L.) Hoffm., *Crepis paludosa* (L.) Moench. и др. Особенно активно вегетируют в затемненных местах зеленые мхи — *Plagiomnium undulatum* (Hedw.) T.J.Kop., *Ptilium crista-castrensis* (Hedw.) De Not., *Pleurozium schreberi* (Brid.) Mitt.



Дендрограмма сходства растительных сообществ лесных культур в возрасте 15 лет и 23 года с учетом различных способов подготовки почвы
Similarity dendrogram of forest crops plant communities at the age of 15 and 23 years, taking into account different methods of soil preparation

Изменение видовой структуры напочвенного покрова с возрастом лесных культур находит отражение в коэффициентах сходства по составу семейств (см. табл. 2).

Согласно фитоценологическому анализу (табл. 3) было установлено, что основу сообщества 15-летних лесных культур составляют высокоактивные виды — *Deschampsia caespitosa* L., *Calamagrostis epigeios* L., *Trifolium pratense* L., *Rubus saxatilis* L., *Chamerion angustifolium* L., наиболее распространенные по всей лесокультурной площади, которые отличаются высоким обилием. Группа высокоактивных видов достаточно многочисленна и включает в себя 15 видов — около 33 % видового состава флоры. Большинство видов представлены на вейниковой вырубке 1999 г. (до создания лесных культур) [44, 45].

Структура растительного сообщества закономерно изменяется с возрастом древостоя: в 23-летних лесных культурах выделили только четыре вида из группы высокоактивных растений — *Rubus saxatilis* L., *Rubus idaeus* L., *Pleurozium schreberi* (Brid.) Mitt., *Deschampsia caespitosa* (L.) Beauv.

Группу активных видов (13 % флоры — в 15-летних культурах и 18...20 % — в 23-летних) также можно рассматривать как наиболее приспособленные к условиям фитоценозов и считать достаточно активными, несмотря на то что виды не отмечены на всех пробных площадях. По ценологической приуроченности абсолютное большинство высокоактивных и активных видов являются лесными и луговыми.

Среднеактивные виды (11 % флоры в 15-летних культурах и до 30 % в 23-летних) относятся к промежуточной группе активности и отличаются более узким диапазоном толерантности к экологическим условиям. Например, такой вид, как *Dryopteris filix-mas* (L.) Scotht. является более требовательным к почвенному питанию.

Малоактивные и неактивные виды составляют значительную часть видового спектра (до 30 %) и встречаются преимущественно в небольшом количестве и зачастую единичными растениями либо только на отдельных участках. К малоактивной группе в 15-летних культурах нами отнесены такие временные виды, как *Equisetum pratense* L., *Alchemilla vulgaris* L., *Athyrium filixfemina* L., а также, по сути, неактивные виды — *Cirsium arvense* (L.) Scop., *Leucanthemum vulgare* Lam., отнесенные в эту группу по причине более широкого распространения. Наибольший вклад вносит фракция луговых растений — *Phleum pratense* L., *Festuca pratensis* Huds., *Poa pratensis* L. и др.

Со временем, в 23-летних культурах исчезло большинство неактивных видов, например, отмеченные выше *Cirsium arvense* (L.) Scop., *Leucanthemum vulgare* Lam., а им на смену пришли новые виды, не встреченные ранее (см. табл. 3).

Таким образом, классификация активности видов четко выделяет группы от высокоактивных до неактивных видов и позволяет проследить в динамике сложную мозаику напочвенного покрова.

Т а б л и ц а 3

**Динамика живого напочвенного покрова лесных культур с учетом
фитоценотической активности видов в возрасте лесных культур 15 лет и 23 года**

**Living ground cover dynamics of forest plantations, taking into account
the phytocenotic activity of species at the age of forest plantations of 15 years and 23 years**

Семейство	Количество видов с учетом обработки почвы плугами					
	ПЛП-135		ПЛД-1,2		ПЛП-135 (реконструкция)	
	возраст лесных культур					
	15 лет	23 года	15 лет	23 года	15 лет	23 года
Неактивные виды						
Злаковые <i>Poaceae</i>	4	0	3	0	2	0
Лютиковые <i>Ranunculaceae</i>	0	1	1	0	0	0
Зонтичные <i>Apiaceae</i>	1	0	0	0	0	0
Первоцветные <i>Primulaceae</i>	0	0	0	0	1	0
Норичниковые <i>Scrophulariaceae</i>	2	0	0	1	0	0
Сложноцветные <i>Asteraceae</i>	0	0	0	0	1	0
Колокольчиковые <i>Campanulaceae</i>	0	1	0	0	0	0
Бобовые <i>Fabaceae</i>	0	1	0	0	0	0
Розовые <i>Rosaceae</i>	0	1	0	1	0	0
Лилейные <i>Liliaceae</i>	0	0	0	2	0	0
Вересковые <i>Ericaceae</i>	0	0	0	1	0	0
Всего видов	7	4	4	5	4	0
Малоактивные виды						
Кочедыжниковые <i>Athyriaceae</i>	1	1	0	1	1	0
Хвощевые <i>Equisetaceae</i>	1	0	1	1	1	0
Злаковые <i>Poaceae</i>	1	0	1	0	1	0
Розовые <i>Rosaceae</i>	0	1	1	0	1	0
Кисличные <i>Oxalidaceae</i>	1	0	0	0	1	0
Сложноцветные <i>Asteraceae</i>	2	1	1	0	1	1
Гвоздичные <i>Caryophyllaceae</i>	0	1	0	1	0	0
Губоцветные <i>Lamiaceae</i>	0	0	0	0	0	1
Мареновые <i>Rubiaceae</i>	0	1	0	0	0	0
Норичниковые <i>Scrophulariaceae</i>	0	1	0	1	0	0
Первоцветные <i>Primulaceae</i>	0	0	0	1	0	0
Фиалковые <i>Violaceae</i>	0	1	0	1	0	0
Пилезиевые <i>Pylaisiaceae</i>	0	0	0	1	0	1
Всего видов	6	7	4	7	6	3
Среднеактивные виды						
Аспидиевые <i>Aspidiaceae</i>	1	1	1	1	1	0
Хвощевые <i>Equisetaceae</i>	1	1	1	2	1	0
Лилейные <i>Liliaceae</i>	1	0	0	0	1	0
Норичниковые <i>Scrophulariaceae</i>	1	1	1	1	1	0
Политриховые <i>Polytrichaceae</i>	1	1	0	1	1	0
Бобовые <i>Fabaceae</i>	0	1	0	1	0	0
Вересковые <i>Ericaceae</i>	0	1	0	1	0	1
Грушанковые <i>Pyrolaceae</i>	0	1	0	1	0	1
Зверобойные <i>Guttiferae</i>	0	1	0	1	0	0
Злаковые <i>Poaceae</i>	0	1	0	0	0	0
Зонтичные <i>Apiaceae</i>	0	1	0	1	0	0
Кочедыжниковые <i>Athyriaceae</i>	0	1	0	1	0	0
Крапивные <i>Urticaceae</i>	0	1	0	1	0	0
Розовые <i>Rosaceae</i>	0	1	0	1	0	0
Всего видов	5	13	3	13	5	2

Семейство	Количество видов с учетом обработки почвы плугами					
	ПЛП-135		ПЛД-1,2		ПЛП-135 (реконструкция)	
	возраст лесных культур					
	15 лет	23 года	15 лет	23 года	15 лет	23 года
Активные виды						
Крапивные <i>Urticaceae</i>	1	0	1	0	1	0
Розовые <i>Rosaceae</i>	1	1	1	1	1	1
Вересковые <i>Ericaceae</i>	1	0	1	0	1	0
Мареновые <i>Rubiaceae</i>	1	0	1	0	1	0
Колокольчиковые <i>Campanulaceae</i>	1	0	1	0	1	0
Энтодонтовые <i>Entodontaceae</i>	1	0	1	0	1	0
Бобовые <i>Fabaceae</i>	0	1	0	1	0	1
Гераниевые <i>Geraniaceae</i>	0	1	0	1	0	1
Злаковые <i>Poaceae</i>	0	2	0	2	0	2
Зонтичные <i>Apiaceae</i>	0	1	0	1	0	1
Кипрейные <i>Onagraceae</i>	0	1	0	1	0	0
Кисличные <i>Oxalidaceae</i>	0	1	0	1	0	1
Мниевые <i>Mniaceae</i>	0	1	0	1	0	1
Всего видов	6	9	6	9	6	8
Высокоактивные виды						
Злаковые <i>Poaceae</i>	2	1	2	1	2	1
Гвоздичные <i>Caryophyllaceae</i>	1	0	1	0	1	0
Розовые <i>Rosaceae</i>	3	2	3	2	3	2
Бобовые <i>Fabaceae</i>	2	0	2	0	2	0
Гераниевые <i>Geraniaceae</i>	1	0	1	0	1	0
Зверобойные <i>Guttiferae</i>	1	0	1	0	1	0
Фиалковые <i>Violaceae</i>	1	0	1	0	1	0
Кипрейные <i>Onagraceae</i>	1	0	1	0	1	0
Зонтичные <i>Apiaceae</i>	1	0	1	0	1	0
Вересковые <i>Ericaceae</i>	1	0	1	0	1	0
Ворсянковые <i>Dipsacaceae</i>	1	0	1	0	1	0
Энтодонтовые <i>Entodontaceae</i>	0	1	0	1	0	1
Всего видов	15	4	15	4	15	4

Выводы

Процесс создания лесных культур влечет за собой изменение лесорастительных условий за счет обработки почвы почвообрабатывающей техникой. Наибольшие изменения происходят с живым напочвенным покровом. На начальных стадиях формирования лесных культур в результате значительных нарушений почвенно-растительного покрова отмечено высокое видовое разнообразие растительных сообществ.

Видовое богатство на опытных участках лесных культур с разными способами подготовки почвы изменяется в пределах от 32 до 39 видов в возрасте культур 15 лет, и от 16 до 36 видов в возрасте культур 23 года. Изучение динамики напочвенного покрова лесных культур показало, что в 23-летних культурах появились новые теневыносливые лесные виды (12), не отмеченные ранее (в культурах

возрастом 15 лет), при этом необходимо отметить, что в связи с изменением светового режима исчезли светолюбивые полевые растения (13 видов).

Структура растительного сообщества закономерно изменяется во времени: группа высокоактивных видов напочвенного покрова достаточно многочисленна в 15-летних культурах и включает в себя 15 видов — около 33 % видового состава флоры, в 23-летних лесных культурах выделено только четыре вида из группы высокоактивных растений.

Список литературы

- [1] Любименко В.Н. К вопросу о сорной растительности сплошных вырубок // Сельское хозяйство и лесоводство, 1902. Т. 205. № 5. С. 290–341.
- [2] Тольский А.П. Сорная травянистая растительность в лесном хозяйстве и меры борьбы с ней. М.: Издательство Наркомзема «Новая деревня», 1922. 56 с.
- [3] Огиевский В.В., Хиров. А.А. Обследование и исследование лесных культур (методическое пособие для лесоводов). М.: Лесная пром-сть, 1964. 51 с.

- [4] Огиевский В.В., Медведева А.А. Основы агротехники лесных культур в лесах Западной Сибири. Красноярск: Красноярское книжное издательство, 1969. 172 с.
- [5] Морозов Г.Ф. Учение о лесе. М.; Л.: Гослесбумиздат, 1949. 455 с.
- [6] Мелехов И.С., Корелина А.А. О кипрейных вырубках и мероприятиях по возобновлению леса применительно к ним. Концентрированные рубки в лесах Севера. М.; Л.: Изд-во АН СССР, 1954. С. 149–158.
- [7] Мелехов И.С. Очерк развития науки о лесе в России. М.: Изд-во АН СССР, 1957. 208 с.
- [8] Мелехов И.С. Научные основы лесовосстановительных мероприятий в таежных лесах // Лесное хозяйство, 1959. № 2. С. 3–15.
- [9] Мелехов И.С., Корконосова Л.И., Чертовской В.Г. Руководство по изучению типов концентрированных вырубков. М.: Изд-во АН СССР, 1965. 180 с.
- [10] Декатов Н.Е. Простейшие мероприятия по возобновлению леса при концентрированных рубках. Л.: Гослестехиздат, 1936. 112 с.
- [11] Декатов Н.Е. Мероприятия по возобновлению леса при механизированных лесозаготовках. М.: Гослесбумиздат, 1961. 278 с.
- [12] Березенко М.Н. Живой напочвенный покров дубрав южной части БССР и его влияние на возобновление дуба: автореф. дис. ... канд. с.-х. наук. Гомель: АН БССР, Институт социалистического сельского хозяйства, 1953. 13 с.
- [13] Корконосова Л.И. К вопросу формирования вейниковых вырубков на Европейском Севере // Вопросы таежного лесоводства на Европейском Севере. М.: Наука, 1967. С. 101–113.
- [14] Стальская П.В. Изменение некоторых биологических особенностей *Deschampsia flexuosa* на луговиковых вырубках // Лесной журнал, 1959. Вып. 6. С. 6–13.
- [15] Чертовской В.Г. Еловые леса Европейской части СССР. М.: Лесная пром-сть, 1978. 176 с.
- [16] Воронова В.С. К вопросу о классификации растительности вырубков Карелии // Возобновление леса на вырубках и выращивание семян в питомниках. Петрозаводск: Карельское книжное издательство, 1964. С. 22–32.
- [17] Побединский А.В. Изучение лесовосстановительных процессов. М.: Лесная пром-сть, 1966. 64 с.
- [18] Санников С.Н. Типы вырубков, динамика живого напочвенного покрова и его роль в последующем возобновлении сосны в Припышминских борах-зеленомошниках // Леса Урала и хозяйство в них, 1968. Вып. 1. С. 280–301.
- [19] Мочалов Б.А., Сеньков А.О., Мочалова Г.А., Артемьева Н.Р. Изменение условий среды на вырубке при подготовке почвы и влияние их на рост культур сосны из семян с закрытыми корнями // Сохраним планету Земля: Сборник докладов Международного экологического форума, 1–5 марта 2004 года. СПб. 2004. С. 333–337.
- [20] Попивший И.И., Шапкин О.М. Отзывчивость саженцев сосны и ели на действие регуляторов роста и микроэлементов // Лесное хозяйство, 1986. №12. С. 31–33.
- [21] Коновалова И.С., Мочалов Б.А., Коновалов Д.Ю., Клевцов Д.Н. Развитие напочвенного покрова в 15-летних опытных культурах сосны // Экологические проблемы Арктики и северных территорий. Межвузовский сборник научных трудов. Архангельск: Издательство САФУ, 2015. С. 166–170.
- [22] Мочалов Б.А., Бобушкина С.В. Состояние и рост лесных культур сосны и ели, созданных из посадочного материала с открытыми и закрытыми корнями в средней и северной подзонах тайги Архангельской области // Труды Санкт-Петербургского научно-исследовательского института лесного хозяйства, 2016. № 1. С. 64–71.
- [23] Мочалов Б.А., Мочалова Г.А. Влияние способов подготовки подзолистой почвы на рост культур сосны в зоне тайги // Почвоведение – продовольственной и экологической безопасности страны: тез. докл. VII съезда Общества почвоведов им. В.В. Докучаева и Всероссийской с междунар. участием науч. конф. Белгород, 2016. С. 108–109.
- [24] Белова А. И., Хамитов Р. С., Хамитова С. М., Полякова Е. С. Рост лесных культур ели европейской созданных сеянцами с закрытой корневой системой // Хвойные бореальной зоны, 2022. Т. XL. № 2. С. 109–113.
- [25] Бельков В.П., Омеляненко А.Я., Мартынов А.Н. Регулирование травяного покрова в лесу. М.: Лесная пром-ть, 1974. 112 с.
- [26] Куусела К. Динамика бореальных хвойных лесов. Хельсинки: SITRA, 1991. 210 с.
- [27] Чижов Б.Е. Регулирование травяного покрова при лесовосстановлении. М.: Издательство ВНИИЛМ, 2003. 174 с.
- [28] Гнатюк Е.П., Крышень А.М. Методы исследования ценофлор (на примере растительных сообществ вырубков Карелии). Петрозаводск: Карельский научный центр РАН, 2005. 68 с.
- [29] Крышень А.М., Соколов А.И., Харитонов В.А. Зависимость роста саженцев ели от травянистой растительности на вырубках // Лесоведение, 2001. № 2. С. 41–45.
- [30] Крышень А.М. Растительные сообщества вырубков Карелии. М: Наука, 2006. 262 с.
- [31] Геникова Н.В. Крышень А.М. Динамика напочвенного покрова северотаежного ельника черничного в первые годы после рубки // Ботанический журнал, 2018. Вып. 103(3). С. 364–381.
- [32] Ивлева Т.Ю. Леонова Н.Б. Пространственно-функциональная неоднородность поствырубочных сообществ в южной тайге (центрально-лесной заповедник) // Экосистемы: экология и динамика, 2019. Т. 3. № 4. С. 24–52.
- [33] Пристова Т.А. Динамика надземной фитомассы живого напочвенного покрова в лиственных фитоценозах послерубочного происхождения // Известия самарского научного центра российской академии наук, 2019. Т. 21. № 2–2 (88). С. 204–209.
- [34] 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. № 3. С. 17–30.
- [35] Шмидт В.М. Флора Архангельской области. СПб.: Изд-во СПбГУ, 2005. 346 с.
- [36] Бабич Н.А., Нечаева И.С. Сорная растительность лесных питомников. Архангельск: Издательство САФУ, 2010. 187 с.
- [37] Мочалов Б.А., Бобушкина С.В. О лесовосстановлении в условиях тайги и арктической зоне РФ на примере Архангельской области // Современная лесная наука: проблемы и перспективы. Материалы Всероссийской научно-практической конференции, 2017. С. 329–334.
- [38] Мочалов Б.А., Туртиайнен М. Развитие производства семян и посадочного материала и лесовосстановления в Архангельской области // Устойчивое лесопользование в Каргопольском районе Архангельской области 1999–2001. Российско-финляндская программа развития устойчивого лесного хозяйства и сохранения биоразнообразия на Северо-западе России. Финляндия, г. Йозенсуу, 2002. С. 11–13.
- [39] Motshalov B. Tuloksia Arkangelin alueen metsanuudistamismenetelmien kehittämiprojektista // Taimi, uutiset 4/2004, suonenjoen tutkimusasema. Finland, Joensuu, Metla, pp. 11–16.

- [40] Редько Г.И., Мерзленко М.Д., Бабич Н.А., Трещевский И.В. Лесные культуры и защитное лесоразведение. Спб.: Издательство СПбГЛТА, 1999. 418 с.
- [41] Коновалова И.С., Мочалов Б.А. Видовое разнообразие растительного сообщества в 15-летних опытных культурах сосны и ели // Материалы XV Междунар. конф. молодых ученых, посвященной 150-летию со дня рождения профессора Г.Н. Высоцкого «Леса Евразии — большой Алтай», Барнаул, 13–20 сентября 2015 г. М.: МГУЛ, 2015. С. 94–96.
- [42] Огиевский В.В., Хиров А.А. Обследование и исследование лесных культур. Л.: Издательство ЛТА, 1967. 50 с.
- [43] Мартынов А.Н., Недовесова У.А. Оценка типа размещения подростка ели в смешанных молодняках // Известия Санкт-Петербургской лесотехнической академии, 2011. № 195. С. 22–28.
- [44] Мочалов Б.А., Сеньков А.О., Мочалова Г.А., Артемьева Н.Р. Изменение условий среды на вырубке при подготовке почвы и влияние их на рост культур сосны из семян с закрытыми корнями // Сохраним планету Земля: Сборник докладов Международного экологического форума, 1–5 марта 2004 года. СПб.: Издательство Центрального музея почвоведения им В.В. Докучаева, 2004. С. 333–337.
- [45] Мочалов Б.А., Сеньков А.О. К характеристике условий среды на вейниковых вырубках в средней подзоне тайги и влияние их на рост культур сосны и ели. Проблемы лесоведения и лесоводства // Материалы третьих Мелеховских чтений, посвященных 100-летию со дня рождения И.С.Мелехова, 15–16 сентября 2005 г. Архангельск: Издательство Архангельского ГТУ, 2005. С. 47–51.

Сведения об авторах

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

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

Поступила в редакцию 22.11.2022.

Одобрено после рецензирования 16.12.2022.

Принята к публикации 06.02.2023.

LIVING GROUND COVER DYNAMICS AT INITIAL STAGES OF FOREST CROPS FORMATION IN MIDDLE TAIGA SUBZONE

I.S. Konvalova [✉], **D.Yu. Konvalov**

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

i.konvalova@narfu.ru

The growth of artificial origin stands in the clear-cut areas of the taiga zone is closely related to the development of herbaceous vegetation. The aim of the study was to study the dynamics of the species composition and structure of the ground cover of forest plantations at the initial stages of formation in the conditions of the middle taiga subzone, as well as to identify the most competitive species in terms of phytocenotic activity. In the course of field studies, the taxonomic composition and ecological and coenotic structure of the living ground cover of experimental pine and spruce crops of the 1st and 2nd age classes were determined, depending on the tillage with plows PLP-135 and PLD-1.2. Species abundance ranges from 32 to 39 species in crops aged 15 years, and from 16 to 36 species in crops aged 23 years. The typological structure of the plant community naturally changes over time. The similarity coefficients for the composition of families in 15-year-old crops vary from 0,48 to 0,89 depending on tillage. Plant communities of forest crops with soil cultivation with the PLP-135 plow and reconstruction of deciduous young growth are the closest to each other in terms of family composition ($R = 0,89$). Plant communities of the ground cover of forest crops with tillage with the PLD-1.2 plow differ in family composition (0,48...0,58). As a result of phytocenotic analysis, we came to the conclusion that the structure of the ground cover of forest plantations naturally changes over time: the group of highly active species of the ground cover is quite numerous in 15-year-old crops and includes 15 species (33 % of the species composition of the flora). In 23-year-old forest plantations, only four species from the group of highly active plants were identified.

Keywords: ground cover, forest crops, species occurrence, projective cover, species activity

Suggested citation: Konvalova I.S., Konvalov D.Yu. *Dinamika zhivogo napochvennogo pokrova na nachal'nykh etapakh formirovaniya lesnykh kul'tur sredney podzony taygi* [Living ground cover dynamics at initial stages of forest crops formation in middle taiga subzone]. *Lesnoy vestnik / Forestry Bulletin*, 2023, vol. 27, no. 2, pp. 27–37. DOI: 10.18698/2542-1468-2023-2-27-37

References

- [1] Lyubimenko V.N. *K voprosu o sornoy rastitel'nosti sploshnykh vyrubok* [On the issue of weed vegetation in clear-cut areas]. *Sel'skoe khozyaystvo i lesovodstvo* [Agriculture and forestry], 1902, v. 205, no. 5, pp. 290–341.
- [2] Tol'skiy A.P. *Sornaya travyanistaya rastitel'nost' v lesnom khozyaystve i mery bor'by s ney* [Weedy herbaceous vegetation in forestry and measures to combat it]. Moscow: Izdatel'stvo Narkomzema «Novaya derevnya» [Publishing house of the People's Commissariat of Agriculture «New Village»], 1922, 56 p.

- [3] Ogievskiy V.V., Khиров. A.A. *Obsledovanie i issledovanie lesnykh kul'tur (metodicheskoe posobie dlya lesovodov)* [Inspection and research of forest cultures (a manual for foresters)]. Moscow: Lesnaya promyshlennost', 1964, 51 p.
- [4] Ogievskiy V.V., Medvedeva A.A. *Osnovy agrotehniki lesnykh kul'tur v lesakh Zapadnoy Sibiri* [Fundamentals of agricultural technology of forest crops in the forests of Western Siberia]. Krasnoyarsk: Krasnoyarskoe knizhnoe izdatel'stvo [Krasnoyarsk book publishing house], 1969, 172 p.
- [5] Morozov G.F. *Uchenie o lese* [Forest teaching]. Moscow-Leningrad: Goslesbumizdat, 1949, 455 p.
- [6] Melekhov I.S., Korelina A.A. *O kipreynykh vyrubkakh i meropriyatiyakh po vozobnovleniyu lesa primenitel'no k nim. Kontsentriruyemye rubki v lesakh Severa* [On fireweed clearings and measures for reforestation in relation to them. Concentrated logging in the forests of the North]. Moscow-Leningrad: Publishing House of the Academy of Sciences of the USSR, 1954, pp. 149–158.
- [7] Melekhov I.S. *Ocherk razvitiya nauki o lese v Rossii* [Essay on the development of forest science in Russia]. Moscow: Publishing House of the Academy of Sciences of the USSR, 1957, 208 p.
- [8] Melekhov I.S. *Nauchnye osnovy lesovosstanovitel'nykh meropriyatiy v taezhnykh lesakh* [Scientific bases of reforestation measures in taiga forests]. Lesnoe khozyaystvo [Forestry], 1959, no. 2, pp. 3–15.
- [9] Melekhov I.S., Korkonosova L.I., Chertovskoy V.G. *Rukovodstvo po izucheniyu tipov kontsentriruyemykh vyrubok* [Guide to the study of types of concentrated clearings]. Moscow: Acad. Sciences of the USSR, 1965, 180 p.
- [10] Dekatov N.E. *Prosteyshie meropriyatiya po vozobnovleniyu lesa pri kontsentriruyemykh rubkakh* [The simplest measures for reforestation in concentrated felling]. Leningrad: Goslestekhizdat, 1936, 112 p.
- [11] Dekatov N.E. *Meropriyatiya po vozobnovleniyu lesa pri mekhanizirovannykh lesozagotovkakh* [Measures for reforestation during mechanized logging]. Moscow: Goslesbumizdat, 1961, 278 p.
- [12] Berezenko M.N. *Zhivoy napochvennyy pokrov dubrav yuzhnoy chasti BSSR i ego vliyanie na vozobnovlenie duba* [Living ground cover of oak forests in the southern part of the BSSR and its influence on the renewal of oak]. Dis. Cand. Sci. (Agric.). Gomel': Academy of Sciences of the BSSR, Institute of Socialist Agriculture, 1953, 13 p.
- [13] Korkonosova L.I. *K voprosu formirovaniya veynikovyykh vyrubok na Evropeyskom Severe* [To the question of the formation of reed cuttings in the European North]. Voprosy taezhnogo lesovodstva na Evropeyskom Severe [Issues of taiga forestry in the European North]. Moscow: Nauka, 1967, pp. 101–113.
- [14] Stal'skaya P.V. *Izmenenie nekotorykh biologicheskikh osobennostey Deschampsia flexuosa na lugovikovyykh vyrubkakh* [Changes in some biological features of *Deschampsia flexuosa* in meadow clearings]. Lesnoy zhurnal [Forest Journal], 1959, iss. 6, pp. 6–13.
- [15] Chertovskoy V.G. *Elovye lesa Evropeyskoy chasti SSSR* [Spruce forests of the European part of the USSR]. Moscow: Lesnaya promyshlennost', 1978, 176 p.
- [16] Voronova B.C. *K voprosu o klassifikatsii rastitel'nosti vyrubok Karelii* [To the question of the classification of vegetation in the clearings of Karelia]. Vozobnovlenie lesa na vyrubkakh i vyrashchivanie seyantsev v pitomnikakh [Renewal of the forest in clearings and the cultivation of seedlings in nurseries]. Petrozavodsk: Karelian book publishing house, 1964, pp. 22–32.
- [17] Pobedinskiy A.V. *Izuchenie lesovosstanovitel'nykh protsessov* [Study of reforestation processes]. Moscow: Lesnaya promyshlennost', 1966, 64 p.
- [18] Sannikov S.N. *Tipy vyrubok, dinamika zhivogo napochvennogo pokrova i ego rol' v posleduyushchem vozobnovlenii sosny v Prip'yshminskikh borakh zelenomoshnikakh* [Types of cuttings, dynamics of living ground cover and its role in the subsequent renewal of pine in the Prip'yshminsky green moss forests]. Lesa Urala i khozyaystvo v nikh [Forests of the Urals and the economy in them], 1968, iss. 1, pp. 280–301.
- [19] Mochalov B.A., Senkov A.O., Mochalova G.A., Artemyeva N.R. *Izmenenie usloviy sredy na vyrubke pri podgotovke pochvy i vliyanie ih na rost kul'tur sosny iz seyancev s zakrytymi kornyami* [Changes in environmental conditions at logging during soil preparation and their impact on the growth of pine crops from seedlings with closed roots]. Sohranim planetu Zemlya [Let's save the planet Earth]: Collection of reports of the International Environmental Forum, March 1–5, 2004, St. Petersburg, 2004, pp. 333–337.
- [20] Popivshchiy I.I., Shapkin O.M. *Otzyvchivost' sazhentsev sosny i eli na deystvie regulyatorov rosta i mikroelementov* [Responsiveness of pine and spruce seedlings to the action of growth regulators and trace elements]. Lesnoe khozyaystvo [Forestry], 1986, no. 12, pp. 31–33.
- [21] Konvalova I.S., Mochalov B.A., Konvalov D.Yu., Klevtsov D.N. *Razvitie napochvennogo pokrova v 15-letnih opytnykh kul'turakh sosn* [Development of ground cover in 15-year-old experimental pine crops]. Ekologicheskie problemy Arktiki i severnykh territoriy [Environmental problems of the Arctic and northern territories]. Intercollegiate collection of scientific papers. Arkhangelsk: SAFU Publishing House, 2015, pp. 166–170.
- [22] Mochalov B.A., Bobushkina S.V. *Sostoyanie i rost lesnykh kul'tur sosny i eli, sozdannykh iz posadochnogo materiala s otkrytymi i zakrytymi kornyami v sredney i severnoy podzonah taygi Arhangel'skoy oblasti* [The state and growth of pine and spruce forest crops created from planting material with open and closed roots in the middle and northern taiga subzones of the Arkhangelsk region]. Proceedings of the St. Petersburg Scientific Research Institute of Forestry, 2016, no. 1, pp. 64–71.
- [23] Mochalov B.A., Mochalova G.A. *Vliyanie sposobov podgotovki podzolistoy pochvy na rost kul'tur sosny v zone taygi* [The influence of podzolic soil preparation methods on the growth of pine crops in the taiga zone]. Pochvovedenie — prodovol'stvennoy i ekologicheskoy bezopasnosti strany [Soil science — food and environmental security of the country]: thesis of the VII Congress of the Society of Soil Scientists named after V.V. Dokuchaev and the All-Russian International Conference. with the participation of scientific conf. Belgorod, 2016, pp. 108–109.
- [24] Belova A. I., Khamitov R. S., Khamitova S. M., Polyakova E. S. *Rost lesnykh kul'tur eli evropeyskoy sozdannykh seyancami s zakrytoy kornevoy sistemoy* [Growth of European spruce forest crops created by seedlings with a closed root system]. Hvoynye boreal'noy zony [Coniferous boreal zones], 2022, v. XL, no. 2, pp. 109–113.
- [25] Belkov V.P., Omelianenko A.Ya., Martynov A.N. *Regulirovanie travyanogo pokrova v lesu* [Regulation of grass cover in the forest]. Moscow: Lesnaya prom-st', 1974, 112 p.
- [26] Kuusela K. *Dinamika boreal'nykh khvoynnykh lesov* [Dynamics of boreal coniferous forests]. Helsinki: SITRA, 1991, 210 p.
- [27] Chizhov B.E. *Regulirovanie travyanogo pokrova pri lesovosstanovlenii* [Grass cover regulation during reforestation]. Moscow: VNIILM, 2003, 174 p.
- [28] Gnatyuk E.P., Kryshen' A.M. *Metody issledovaniya tsenoflor (na primere rastitel'nykh soobshchestv vyrubok Karelii)* [Methods for studying cenofloras (on the example of plant communities in clearings in Karelia)]. Petrozavodsk: Karelian Scientific Center of the Russian Academy of Sciences, 2005, 68 p.
- [29] Kryshen' A.M., Sokolov A.I., Kharitonov V.A. *Zavisimost' rosta sazhentsev eli ot travyanistoy rastitel'nosti na vyrubkakh* [Dependence of the growth of spruce seedlings on grassy vegetation in clearings]. Lesovedenie, 2001, no. 2, pp. 41–45.

- [30] Kryshen' A.M. *Rastitel'nye soobshchestva vyrubok Karelii* [Plant communities of cutting areas in Karelia]. Moscow: Nauka, 2006, 262 p.
- [31] Genikova N.V., Kryshen A.M. *Dinamika napochvennogo pokrova severotaezhnogo el'nika chernichnogo v pervye gody posle rubki* [Dynamics of the ground cover of the Northern taiga blueberry spruce in the first years after logging] // Botanical Journal, 2018, iss. 103(3), pp. 364–381.
- [32] Ivleva T.Yu., Leonova N.B. *Prostranstvenno-funktional'naya neodnorodnost' postvyrubochnykh soobshchestv v yuzhnoy tayge (central'no-lesnoy zapovednik)* [Spatial and functional heterogeneity of post-logging communities in the southern taiga (central Forest Reserve)]. Ecosystems: ecology and dynamics, 2019, v. 3, no. 4, pp. 24–52.
- [33] Pristova T.A. *Dinamika nadzemnoy fitomassy zhivogo napochvennogo pokrova v listvennykh fitocenoazah poslerubochnogo proiskhozhdeniya* [Dynamics of aboveground phytomass of living ground cover in deciduous phytocenoses of post-harvest origin]. Proceedings of the Samara Scientific Center of the Russian Academy of Sciences, 2019, t. 21, № 2–2 (88), pp. 204–209.
- [34] 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 cuttings of the South Ural region: the main results of the research of the Ufa geobotanical school]. Phytodiversity of Eastern Europe, 2018, no. 3, pp. 17–30.
- [35] Shmidt V.M. *Flora Arkhangel'skoy oblasti* [Flora of the Arkhangelsk region]. St. Petersburg: St. Petersburg State University, 2005, 346 p.
- [36] Babich N.A., Nechaeva I.S. *Sornaya rastitel'nost' lesnykh pitomnikov. Arkhangel'sk: Severnyy (Arkticheskiy) federal'nyy universitet* [Weed vegetation of forest nurseries]. Arkhangelsk: Northern (Arctic) Federal University, 2010, 187 p.
- [37] Mochalov B.A., Babushkina S.V. *O lesovosstanovlenii v usloviyakh taygi i arkticheskoy zone RF na primere Arhangel'skoy oblasti* [On reforestation in the conditions of the taiga and the Arctic zone of the Russian Federation on the example of the Arkhangelsk region]. *Sovremennaya lesnaya nauka: problemy i perspektivy* [Modern forest science: problems and prospects]. Materials of the All-Russian Scientific and practical conference, 2017, pp. 329–334.
- [38] Mochalov B.A., Turtiaynen M. *Razvitie proizvodstva semyan i posadochnogo materiala i lesovosstanovleniya v Arkhangel'skoy oblasti* [Development of seed and planting material production and reforestation in the Arkhangelsk region]. *Ustoychivoe lesopol'zovanie v Kargopol'skom rayone Arkhangel'skoy oblasti 1999–2001. Rossiysko-finlyandskaya programma razvitiya ustoychivogo lesnogo khozyaystva i sokhraneniya bioraznoobraziya na Severo-zapade Rossii* [Sustainable forest management in the Kargopol district of the Arkhangelsk region 1999–2001. Russian-Finnish program for the development of sustainable forestry and biodiversity conservation in the North-West of Russia]. Finland, Joensuu, 2002, pp. 11–13.
- [39] Motshalov B. *Tuloksia Arkangelin alueen metsanuudistamismenetelmien kehittamisprojektista*. Taimi, uutiset 4/2004, suonenjoen tutkimusasema. Finland, Joensuu, Metla, pp. 11–16.
- [40] Red'ko G.I., Merzlenko M.D., Babich N.A., Treshchevskiy I.V. *Lesnye kul'tury i zashchitnoe lesorazvedenie* [Forest crops and protective afforestation]. St. Petersburg: St. Petersburg State Forest Engineering Academy, 1999, 418 p.
- [41] Konovalova I.S., Mochalov B.A. *Vidovoe raznoobrazie rastitel'nogo soobshchestva v 15-letnikh opytnykh kul'turakh sosny i eli* [Species diversity of the plant community in 15-year-old pine and spruce experimental cultures]. *Materialy XV Mezhdunarodnoy konferentsii molodykh uchenykh, posvyashchennoy 150-letiyu so dnya rozhdeniya professora G.N. Vysotskogo «Lesa Evrazii — bol'shoi Altay»* [Proceedings of the XV International Conference of Young Scientists dedicated to the 150th anniversary of the birth of Professor G.N. Vysotsky «Forests of Eurasia—Great Altai», Barnaul, 13–20 September 2015. Moscow: MGUL, 2015, pp. 94–96.
- [42] Ogievskiy V.V., Khirova A.A. *Obsledovanie i issledovanie lesnykh kul'tur* [Inspection and research of forest crops]. Leningrad: LTA, 1967, 50 p.
- [43] Martynov A.N., Nedovesova U.A. *Otsenka tipa razmeshcheniya podrosta eli v smeshannykh molodnyakakh* [Evaluation of the type of placement of undergrowth of spruce in mixed young growth]. *Izvestiya Sankt-Peterburgskoy lesotekhnicheskoy akademii* [News of the St. Petersburg Forestry Academy], 2011, no. 195, pp. 22–28.
- [44] Mochalov B.A., Sen'kov A.O., Mochalova G.A., Artem'eva N.R. *Izmenenie usloviy sredy na vyrubke pri podgotovke pochvy i vliyaniye ikh na rost kul'tur sosny iz seyantsev s zakrytymi kornyami* [Changes in environmental conditions in the felling during soil preparation and their influence on the growth of pine crops from seedlings with closed roots]. *Sokhranim planetu Zemlya: Sbornik dokladov Mezhdunarodnogo ekologicheskogo foruma* [Save the planet Earth: Collection of reports of the International Ecological Forum], 1–5 March 2004. St. Petersburg: Central Museum of Soil Science named after V.V. Dokuchaeva, 2004, pp. 333–337.
- [45] Mochalov B.A., Sen'kov A.O. *K kharakteristike usloviy sredy na veynikovykh vyrubkakh v sredney podzone taygi i vliyaniye ikh na rost kul'tur sosny i eli. Problemy lesovedeniya i lesovodstva* [On the characterization of environmental conditions on reed cuttings in the middle subzone of the taiga and their influence on the growth of pine and spruce crops. Problems of forest science and forestry]. *Materialy tret'ikh Melekhovskikh chteniy, posvyashchennykh 100-letiyu so dnya rozhdeniya I.S. Melekhova* [Materials of the third Melekhov readings dedicated to the 100th anniversary of the birth of I.S. Melekhov], 15–16 September 2005. Arkhangelsk: Arkhangelsk State Technical University, 2005, pp. 47–51.

Authors' information

Konovalova Irina Sergeevna  — Cand. Sci. (Agriculture), Associate Professor of the Department of Silviculture and Forest management, Northern (Arctic) Federal University named after M.V. Lomonosov, i.konovalova@narfu.ru

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

Received 22.11.2022.

Approved after review 16.12.2022.

Accepted for publication 06.02.2023.

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

РОСТ И РАЗВИТИЕ ЛЕСНЫХ КУЛЬТУР СОСНЫ ОБЫКНОВЕННОЙ, СОЗДАНЫХ ПОСАДОЧНЫМ МАТЕРИАЛОМ С ЗАКРЫТОЙ И ОТКРЫТОЙ КОРНЕВОЙ СИСТЕМОЙ, В РАЗЛИЧНЫХ ЛЕСОРАСТИТЕЛЬНЫХ УСЛОВИЯХ РЕСПУБЛИКИ ТАТАРСТАН

В.В. Сахнов¹, А.П. Прокопьев¹, И.Р. Галиуллин¹, С.Г. Глушко²✉

¹Филиал ФБУ «ВНИИЛМ» «Восточно-европейская ЛОС», Россия, 420015, г. Казань, ул. Товарищеская, д. 40

²ФГБОУ ВО «Казанский государственный аграрный университет», Россия, 420015, г. Казань, ул. К. Маркса, д. 65

glushkosg@mail.ru

Приведены результаты исследований роста и развития лесных культур сосны обыкновенной (*Pinus sylvestris* L.), созданных посадочным материалом с закрытой корневой системой, и их сравнение с лесными культурами, созданными обычными саженцами с открытой корневой системой, в различных лесорастительных условиях Республики Татарстан. Проведены замеры биометрических параметров растений в количестве, обеспечивающем точность среднестатистических показателей 5 %. Установлено, что лесные культуры сосны обыкновенной, созданные на более легких почвах в лесорастительных условиях В₁₋₃, значительно отстают в развитии от лесных культур, созданных на более богатых по агрохимическим характеристикам почвах — С₁₋₃. Выявлено существенное снижение интенсивности роста саженцев при создании лесных культур саженцами с закрытой корневой системой в лесорастительных условиях Д₂₋₃ на почвах с тяжелым гранулометрическим составом (черноземы обыкновенный и выщелоченный). Сделан вывод о том, что применение посадочного материала, выращенного в условиях закрытой корневой системы, для создания лесных культур сосны обыкновенной в условиях Республики Татарстан требует дальнейшего научного обоснования, а результаты использования посадочного материала с закрытой корневой системой носят неоднозначный характер и нуждаются в проведении соответствующей опытно-производственной проверки.

Ключевые слова: лесные культуры, саженцы, почвенные условия, корневая система

Ссылка для цитирования: Сахнов В.В., Прокопьев А.П., Галиуллин И.Р., Глушко С.Г. Рост и развитие лесных культур сосны обыкновенной, созданных посадочным материалом с закрытой и открытой корневой системой, в различных условиях Республики Татарстан // Лесной вестник / Forestry Bulletin, 2023. Т. 27. № 2. С. 38–48. DOI: 10.18698/2542-1468-2023-2-38-48

Хвойное хозяйство Татарстана характеризуется истощением ресурсов и преобладанием лесов искусственного происхождения. Для воспроизводства хвойных ресурсов большое значение имеет создание лесных культур сосны. В настоящее время, в лесном хозяйстве, активно используется посадочный материал, выращенный в условиях закрытой корневой системы. Исследование эффективности применения различного посадочного материала, при производстве лесных культур в условиях Республики Татарстан, заслуживает дальнейшего исследования и достаточно актуально.

Цель работы

Цель работы — оценка состояния лесных культур сосны обыкновенной (*Pinus sylvestris* L.), созданных посадочным материалом с закрытой корневой системой, в условиях Республики Татарстан.

Решаемые задачи: на основании полевых исследований выявить состояние лесных культур

сосны обыкновенной, созданных в различных физико-географических районах Республики Татарстан саженцами с закрытой корневой системой (ЗКС) и их сравнение с лесными культурами, созданными традиционным способом и саженцами с открытой корневой системой (ОКС).

Материалы и методы исследования

Исследование лесных культур сосны, перспектив их создания и дальнейшего выращивания относится к актуальным вопросам ведения лесного хозяйства в лесах различных регионов России [1–5]. Нами проведен сравнительный анализ лесных культур, созданных различным посадочным материалом, в условиях Среднего Поволжья [6, 7]. Посадочный материал был представлен однолетними саженцами сосны, выращенными в лесном селекционном семеноводческом центре Сабинского лесхоза Республики Татарстан, с ЗКС и ОКС.

Основной критерий — установка на отбор объектов, представляющих интерес для изучения особенностей роста и развития лесных культур сосны в различных условиях произрастания [8–13].

Замеры биометрических параметров растений сосны проводились в количестве, обеспечивающем точность среднестатистических показателей до 5 %. У каждого растения замерялись высота, годичный прирост осевого побега в высоту, диаметр стволика у шейки корня, длина главного и боковых корней. Закладка пробных площадей проводилась с использованием общепринятой методики [14–16].

Стандартизация сеянцев, саженцев, лесных культур, динамика роста текущих побегов изучалась по методике П.И. Мелешина и др. [17]. Учет посадочных мест и растений проводился на пробных площадях, с определением состояния, высоты, приростов в высоту и других характерных показателей в соответствии с методикой Г.К. Незабудкина [9]. Постановка полевого опыта выполнялась по известной методике Б.А. Доспехова [18].

Измерение биометрических показателей объектов осуществлялось в полевых условиях общепринятыми методами [19]. Высота надземной части измерялась линейкой с точностью до 1 мм, диаметр ствола у корневой шейки — штангенциркулем, с точностью до 0,1 мм; длина корневых систем — с помощью мерной линейки, с точностью до 1 мм. По каждому варианту опыта вычислялись средние значения измеряемых показателей. Обработка данных осуществлялась в среде Excel.

Исследованные лесные культуры сосны обыкновенной расположены в трех лесорастительных зонах Республики Татарстан на участках сплошных вырубок с дренированными и периодически переувлажняемыми почвами. Основная часть их представлена лесными культурами, находящимися в фазе приживаемости и индивидуального роста [20]. Перечень лесничеств с объектами наших исследований в разрезе геоморфологического районирования района работ [21] представлен ниже:

Предволжский физико-геоморфологический район — ГКУ «Тетюшское лесничество», ГКУ «Буинское лесничество»;

Предкамский физико-геоморфологический район — ГКУ «Зеленодольское лесничество», ГКУ «Мамадышское лесничество», ГКУ «Лубянский лесничества», ГКУ «Камское лесничество», ГКУ «Кзыл-Юлдузское лесничество», ГКУ «Арское лесничество»;

Закамский физико-геоморфологический район — ГКУ «Билярское лесничество», ГКУ «Нижнекамское лесничество», ГКУ «Мензелинское лесничество», ГКУ «Нурлатское лесничество».

Результаты и обсуждение

Результаты исследований приведены отдельно по физико-географическим районам, выделяемым на территории Татарстана.

Предволжский физико-географический район. Исследования проводились в Буинском и Тетюшском лесничествах. Преобладающими почвами исследуемых участков в этих лесничествах являются выщелоченные и обыкновенные черноземы, тип лесорастительных условий (ТЛУ) — D_2 и D_3 (свежие и влажные рамени).

Перед посадкой сеянцы сосны в среднем имели высоту 15,5...16,8 см, диаметр стволика у корневой шейки 2,5...3,1 мм, длину корневой системы 9,0...10,0 см. Сеянцы были высажены вместе с торфяным субстратом в открытый грунт агрегатом МТЗ-82 + МЛУ-1А. В качестве контрольных лесных культур были взяты культуры, созданные саженцами с ОКС, одного возраста, в сходных почвенных условиях. Сеянцы сосны обыкновенной с открытой корневой системой (как правило, местного производства и двухлетние) имели высоту 20,0...25,5 см, диаметр стволика у корневой шейки 2,5...3,0 мм, длину корневой системы 18,9...22,5 см.

Лесные культуры сосны обыкновенной с ЗКС, как правило, в первый и второй год после посадки дают больший годовой прирост, чем лесные культуры сосны с ОКС [22–24]. Это объясняется адаптацией саженцев с ОКС к новым почвенным условиям (как правило, саженцы с ОКС при пересадке теряют вследствие выкопки до 20...35 % корневой системы). В дальнейшем на 3–4-й год отставание нивелируется, и разница в развитии этих культур очень незначительна либо отсутствует (табл. 1, табл. 2).

Лесные культуры сосны обыкновенной с ЗКС на более тяжелых почвах в лесорастительных условиях (ТЛУ) — D_{1-3} отстают в развитии от аналогичных культур с ОКС. Это объясняется адаптацией саженцев с ЗКС в новых условиях, которая в ТЛУ C_{1-3} происходит значительно быстрее, чем в ТЛУ D_{1-3} . Различия достоверны на 5%-м уровне значимости ($F_p > F_d$).

В табл. 2 представлены данные по развитию корневой системы у лесных культур сосны обыкновенной с ЗКС.

Развитие корневой системы у лесных культур сосны обыкновенной с ЗКС зависит от типа лесорастительных условий [25, 26]. Так, более тяжелые по механическим свойствам почвы в условиях D_{1-3} угнетают развитие главного и боковых корней. Более развитая корневая система оказалась у сеянцев сосны обыкновенной с ОКС, поскольку на момент посадки они имели более развитую корневую систему (рис. 1–3).

Как отмечалось ранее, лесорастительные условия оказывают значительное влияние на диаметр стволика у корневой шейки (табл. 3).

Как видно из табл. 3, лесные культуры, высаженные на относительно более тяжелых почвах (ТЛУ — D_{1-3}), значительно отстают в развитии от

Т а б л и ц а 1

**Рост саженцев сосны обыкновенной в открытом грунте
в различных типах лесорастительных условий**
Growth of Scots pine seedlings in open ground in various types of forest conditions

Показатели (средние)		Вид посадочного материала / тип лесорастительных условий			Коэффициенты Фишера		Наименьшая существенная разница
		саженцы с ОКС (контроль)	саженцы с ЗКС / ТЛУ С ₁₋₃	саженцы с ЗКС / ТЛУ Д ₁₋₃	расчетный F_p	табличный F_t	
Рост после посадки, см	1-й год	16,1	20,3	18,6	8,61	5,19	1,0
	2-й год	35,4	39,8	36,2	5,87		0,51
	5-й год	51,8	55,7	50,4	65,2		0,65
Прирост, см	за один год	6,9	10,5	6,5	–	–	–
	по сравнению с контролем	–	+3,6	–0,4	–	–	–

Т а б л и ц а 2

Влияние лесорастительных условий на корневую систему саженцев сосны обыкновенной
Influence of forest conditions on the length of the root system of Scotch pine seedlings

Показатели (средние)		Вид посадочного материала / тип лесорастительных условий			Коэффициенты Фишера		Наименьшая существенная разница
		саженцы с ОКС (контроль)	саженцы с ЗКС / ТЛУ С ₁₋₃	саженцы с ЗКС / ТЛУ Д ₁₋₃	расчетный F_p	табличный F_t	
Длина корневой системы, см	1-й год	25,6	13,5	13,4	4,12	3,24	0,45
	3-й год	35,8	17,2	17,0	3,33		1,81
	5-й год	50,3	27,5	26,1	4,87		1,11
Развитие боковых корней, см	1-й год	18,3	10,2	10,0	16,9	3,24	0,36
	3-й год	22,4	15,1	13,2	5,4		1,02
	5-й год	35,6	25,6	22,5	9,16		0,94

Т а б л и ц а 3

**Диаметр корневой шейки саженцев сосны произрастающих в посадках
с различными лесорастительными условиями**
The diameter of the root collar of pine seedlings growing in plantations with different forest conditions

Показатели (средние)		Вид посадочного материала / тип лесорастительных условий			Коэффициенты Фишера		Наименьшая существенная разница
		саженцы с ОКС (контроль)	саженцы с ЗКС / ТЛУ С ₁₋₃	саженцы с ЗКС / ТЛУ Д ₁₋₃	расчетный F_p	табличный F_t	
Диаметр стволика у корневой, шейки, мм	1-й год	3,5	2,8	2,5	10,9	5,19	0,76
	3-й год	4,5	3,8	3,2	37,3		0,35
	5-й год	7,3	5,4	4,8	14,1		0,2
Прирост, мм	за один год	1,5	1,1	0,9	10,1	–	0,45
	по срав- нению с контролем	–	–0,4	–0,6	–	–	–

культур, созданных на более легких почвах. Прирост оказался максимальным у лесных культур сосны обыкновенной с ОКС, что объясняется более развитыми сеянцами, поскольку у этих сеянцев лучше развита корневая система, в отличие от сеянцев сосны с ЗКС. В дальнейшем с возрастом разница между культурами созданными саженцами с ОКС и ЗКС нивелировалась, биометрические показатели постепенно выравнивались.

Предкамский физико-географический район. Исследования проводились в Арском, Мамдышском, Кзыл-Юлдузском, Камском, Зеленодольском и Лубянском лесничествах Республики Татарстан.

Лесные культуры сосны обыкновенной созданные саженцами с ОКС, как правило, в первый и второй год после посадки дают несколько больший годовой прирост, чем лесные культуры



Рис. 1. Корневая система сосны обыкновенной (саженцы, выращенные с ОКС), ТЛУ D₂, чернозем обыкновенный тяжелого гранулометрического состава (на фото видно хорошее развитие скелетных корней)

Fig. 1. Scots pine root system (seedlings grown with BRS), TLU D₂, ordinary chernozem of heavy granulometric composition (the photo shows a good development of skeletal roots)



Рис. 2. Корневая система сосны обыкновенной (саженцы, выращенные с ЗКС), ТЛУ D₂, чернозем обыкновенный тяжелого гранулометрического состава (на фото видно отсутствие скелетных корней)

Fig. 2. Scots pine root system (seedlings grown with BRS), TLU D₂, ordinary chernozem of heavy granulometric composition (the photo shows the absence of skeletal roots)

сосны с ОКС. На более богатых почвах (ТЛУ — С₁₋₃) разница в биометрических показателях наименьшая по сравнению с контролем (табл. 4).

В первые годы после создания лесные культуры сосны обыкновенной созданные из посадочного материала с открытой корневой системой оказались в целом более развиты, чем аналогичные культуры с закрытой корневой системой, разница в росте постепенно сравнивается в культурах



Рис. 3. Сеянцы сосны обыкновенной с ЗКС, в ТЛУ D₂, чернозем обыкновенный тяжелого гранулометрического состава (на фото виден возврат корней в субстрат торфяного горшочка, хемотропизм корней)

Fig. 3. Seedlings of Scots pine with RBS, in TLU D₂, ordinary chernozem of heavy granulometric composition (the photo shows the return of the roots to the substrate of the peat pot, root chemotropism)

старших возрастов. В лесорастительных условиях В₁₋₃ биометрические показатели оказались хуже, чем в лесных культурах в условиях С₁₋₃.

В табл. 5 представлены данные по развитию корневой системы у лесных культур сосны обыкновенной с ЗКС и ОКС в зависимости от лесорастительных условий.

Богатые по агрохимическим свойствам почвы в условиях (С₂ и С₃) более благоприятны для развития главного и боковых корней сосны обыкновенной. Более развитая корневая система оказалась у сеянцев сосны обыкновенной с ОКС, но с увеличением возраста культур разница в развитии корневых систем у ОКС и ЗКС постепенно выравнивается.

Как отмечалось ранее, лесорастительные, в том числе почвенные условия, также оказывают немаловажное влияние и на диаметр стволика у корневой шейки (табл. 6).

Как видно из табл. 6, лесные культуры, созданные на более легких почвах в ТЛУ В₁₋₃, значительно отстают в развитии от лесных культур, созданных на более богатых по агрохимическим

Т а б л и ц а 4

**Рост саженцев сосны обыкновенной в открытом грунте
в различных лесорастительных условиях**
Growth of Scots pine seedlings in the open ground in various forest conditions

Показатели (средние)		Вид посадочного материала / тип лесорастительных условий			Коэффициенты Фишера		Наименьшая существенная разница
		саженцы с ОКС (контроль)	саженцы с ЗКС / ТЛУ В ₁₋₃	саженцы с ЗКС / ТЛУ С ₁₋₃	расчетный F_p	табличный F_t	
Рост саженцев сосны, см	1-й год	16,1	15,9	17,7	50,3	5,29	1,01
	3-й год	33,6	31,1	32,4	9,38		1,5
	5-й год	48,3	32,4	43,7	26,7		1,39
Прирост, см	за один год	6,7	4,1	6,3	13,7		0,36
	по сравнению с контролем	–	–2,6	–0,4	–	–	–

Т а б л и ц а 5

**Влияние лесорастительных условий на длину корневой системы
саженцев сосны обыкновенной**
Influence of forest conditions on the length of the root system of Scotch pine seedlings

Показатели (средние)		Вид посадочного материала / тип лесорастительных условий			Коэффициенты Фишера		Наименьшая существенная разница
		саженцы с ОКС (контроль)	саженцы с ЗКС / ТЛУ В ₁₋₃	саженцы с ЗКС / ТЛУ С ₁₋₃	расчетный F_p	табличный F_t	
Длина корневой системы, см	1-й год	22,5	13,3	15,9	34,6	1,39	0,68
	3-й год	30,1	19,2	25,7	12,4		1,12
	5-й год	44,6	27,5	41,4	36,1		0,91
Развитие боковых корней, см	1-й год	12,2	10,2	12,1	13,4	1,39	1,10
	3-й год	20,5	15,0	17,7	22,1		0,89
	5-й год	31,2	29,9	30,2	26,7		0,61

Т а б л и ц а 6

**Диаметр корневой шейки саженцев сосны с закрытой корневой системой
в различных типах лесорастительных условий**

Diameter of the root collar of pine seedlings with a root-balled system in various types of forest conditions

Показатели (средние)		Вид посадочного материала / тип лесорастительных условий			Коэффициенты Фишера		Наименьшая существенная разница
		саженцы с ОКС (контроль)	саженцы с ЗКС / ТЛУ В ₁₋₃	саженцы с ЗКС / ТЛУ С ₁₋₃	расчетный F_p	табличный F_t	
Диаметр стволика у корневой шейки, мм	1 год	3,5	2,0	2,5	3,58	3,24	0,68
	3 год	3,7	3,0	3,7	10,03		0,42
	5 год	6,5	5,9	6,1	29,6		0,54
Прирост, мм	за 1 год	1,3	1,2	1,3	6,86		0,46
	по сравнению с контролем	–	–0,1	–	–	–	–

характеристикам почвах в ТЛУ С₁₋₂ и С₃. Максимальный диаметр стволика оказался у сеянцев сосны обыкновенной с ОКС. По мере роста культур разница в диаметре стволика у корневой шейки выравнивалась и достигла данных по контрольному образцу.

Закамский физико-географический район. Исследования проводились в Нижнекамском,

Билярском, Нурлатском и Мензелинском лесничествах Республики Татарстан.

В табл. 7 представлены данные по росту лесных культур сосны обыкновенной с ЗКС в зависимости от ТЛУ.

Лесные культуры сосны обыкновенной, созданные из посадочного материала с ОКС в первые годы оказались более развиты, чем

Т а б л и ц а 7

Рост саженцев сосны обыкновенной с закрытой коревой системой в открытом грунте в различных лесорастительных условиях

Growth of Scots pine seedlings with a root-balled system in the open field in various forest conditions

Показатели (средние)		Вид посадочного материала / тип лесорастительных условий			Коэффициенты Фишера		Наименьшая существенная разница
		саженцы с ОКС (контроль)	саженцы с ЗКС / ТЛУ В ₁₋₃	саженцы с ЗКС / ТЛУ С ₁₋₃	расчетный F_p	табличный F_t	
Рост саженцев сосны, см	1-й год	20,5	15,4	16,1	11,3	6,31	0,5
	3-й год	31,3	18,7	22,3	7,5		0,87
	5-й год	45,8	48,8	45,2	6,5		0,94
Прирост, см	за один год	6,8	7,4	6,6	6,4		0,33
	по сравнению с контролем	–	+0,6	–0,2	–	–	–

Т а б л и ц а 8

Влияние лесорастительных условий на длину корневой системы лесных культур сосны обыкновенной

Influence of forest conditions on the length of the root system of forest plantations of Scots pine

Показатели (средние)		Вид посадочного материала / тип лесорастительных условий			Коэффициенты Фишера		Наименьшая существенная разница
		саженцы с ОКС (контроль)	саженцы с ЗКС / ТЛУ В ₁₋₃	саженцы с ЗКС / ТЛУ С ₁₋₃	расчетный F_p	табличный F_t	
Длина корневой системы, см.	1-й год	25,4	13,6	13,9	25,6	11,9	0,4
	3-й год	36,1	21,3	20,1	51,4		1,03
	5-й год	47,7	48,3	35,4	41,2		0,54
Развитие боковых корней, см.	1-й год	15,6	10,4	9,5	13,3	11,9	0,66
	3-й год	23,5	15,8	13,7	19,5		0,9
	5-й год	32,4	32,2	27,6	28,6		1,2

аналогичные культуры с ЗКС в ТЛУ С₁₋₃. Для ТЛУ Д₁₋₃ разница в росте в первые три года — минимальная, а в возрасте 3–5 лет она выровнялась и на некоторых участках (с более тяжелым механическим составом почв) отставала от контрольного образца в культурах с ОКС. Максимальный прирост за один год у культур сосны обыкновенной с ЗКС в ТЛУ С₁₋₃, т. е. на относительно более легких почвах. Это серые лесные, дерново- средне- и сильно-подзолистые почвы (рис. 4).

В табл. 8 представлены данные по развитию корневой системы у лесных культур сосны обыкновенной с ЗКС.

Более тяжелые по механическим свойствам почвы, распространенные в ТЛУ Д₁₋₃, менее благоприятны для развития главного и боковых корней. Это преимущественно дерново-средне- и сильно-подзолистые почвы, бурые лесные почвы и черноземы обыкновенные (среднемощные и мощные), более богатые по содержанию подвижных форм питательных веществ. Однако корневая система на этих почвах развивается хуже, чем на более легких серых лесных и дерново-подзолистых почвах в ТЛУ С₁₋₃.



Рис. 4. Лесные культуры сосны обыкновенной в возрасте 5 лет, созданные посадочным материалом с ЗКС в ТЛУ С₂, на серых лесных почвах среднесуллинистого гранулометрического состава

Fig. 4. Forest plantations of Scots pine at the age of 5, created by planting material with RBS in TLU C₂, on gray forest soils of medium loamy granulometric composition

Почвенные условия существенно влияют на диаметр стволика у корневой шейки сосны обыкновенной в лесных культурах (табл. 9).

Как видно из табл. 9, лесные культуры, созданные на более легких почвах, хотя и более бедных по агрохимическим показателям, в первый год посадки незначительно отстают в развитии от

**Диаметр корневой шейки сосны обыкновенной в культурах
с различными лесорастительными условиями**

Diameter of the Scots pine root neck in crops with different forest conditions

Показатели (средние)		Вид посадочного материала / тип лесорастительных условий			Коэффициенты Фишера		Наименьшая существенная разница
		саженцы с ОКС (контроль)	саженцы с ЗКС / ТЛУ С ₁₋₃	саженцы с ЗКС / ТЛУ Д ₁₋₃	расчетный F_p	табличный F_t	
Диаметр ство- лика у корневой шейки, мм	1-й год	3,2	2,2	2,5	14,6	2,25	0,9
	3-й год	3,6	3,5	3,1	8,44		0,6
	5-й год	6,3	6,1	6,0	6,1		0,9
Прирост, мм	за один год	0,8	1,2	0,7	3,7		0,3
	по сравнению с контролем	–	+0,3	–0,1	–	–	–

лесных культур, созданных на более тяжелых и более богатых по агрохимическим показателям почвах. В дальнейшем рост этих культур усиливается и достигает максимальных значений. Максимальный прирост зафиксирован у лесных культур сосны обыкновенной пятого года посадки, с ЗКС на почвах с легким гранулометрическим составом (серые лесные и дерново-подзолистые почвы).

Обобщая полученные по физико-географическим районам Республики Татарстан результаты, считаем необходимым отметить следующее.

Предволжский физико-географический район

1. Лесные культуры сосны обыкновенной с ЗКС при создании в ТЛУ С₁₋₃ и Д₀ характеризуются максимальным ростом и развитием корневой системы.

2. При создании лесных культур саженцами сосны с ЗКС в условиях ТЛУ Д₂₋₃ на почвах с тяжелым гранулометрическим составом (черноземы обыкновенный и выщелоченный) получены минимальные показатели роста и развития культур.

Предкамский физико-географический район

1. Лесные культуры сосны обыкновенной, созданные на более легких почвах в ТЛУ В₁₋₃, значительно отстают в развитии от лесных культур, созданных на более богатых по агрохимическим характеристикам почвах в ТЛУ С₁₋₃. Создание лесных культур на таких почвах желательно совмещать с использованием удобрений в первые годы после создания.

2. Богатые по агрохимическим свойствам почвы в ТЛУ С₁₋₃ более благоприятны для развития главного и боковых корней саженцев сосны обыкновенной.

Закамский физико-географический район

1. Лесные культуры сосны обыкновенной, созданные посадочным материалом с ОКС оказались более развиты, чем аналогичные культуры с ЗКС в ТЛУ С₁₋₃ и Д₁₋₃, разница в росте в первые три года была минимальной, а в возрасте 3–5 лет она выравнялась, однако на некоторых участках

биометрические показатели не достигали показателей по контрольным вариантам в лесных культурах с ОКС.

2. Максимальный прирост за год у культур сосны обыкновенной с ЗКС был отмечен при ТЛУ С₁₋₃, т. е. на относительно бедных серых лесных, дерново-средне- и сильно- подзолистых почвах.

В целом для района исследований характерно значительное участие культур сосны обыкновенной в составе лесного фонда. Воспроизводство хвойных лесов путем создания данных культур весьма актуально для условий Республики Татарстан и ряда других регионов [28].

Выводы

1. При создании лесных культур корневая система посадочного материала, выращенного с закрытой корневой системой, полностью сохраняется, тем не менее наряду с этим наблюдается и существенное снижение его темпов роста. Снижение темпов роста вызвано резким изменением условий окружающей среды при пересадке саженцев с ЗКС из питомника в культуры.

2. В первые годы после создания лесных культур сосны саженцами с ЗКС необходимо проводить агротехнические приемы: окашивание не менее трех раз и удаление нежелательной древесной растительности.

3. Полученные экспериментальные данные позволяют сделать предварительные выводы о неоднозначных результатах использования посадочного материала, полученного в условиях выращивания с ЗКС, при производстве лесных культур сосны в Республике Татарстан, которые требуют уточнения в ходе дальнейшей опытно-производственной проверки.

Список литературы

- [1] Рекомендации по ведению лесного хозяйства Татарской АССР на зонально-типологической основе. М.: Изд-во ВНИИЛМ, 1985. 45 с.

- [2] Мерзленко М.Д., Бабич Н.А. Теория и практика выращивания сосны и ели в культурах. Архангельск: Изд-во АГТУ, 2002. 220 с.
- [3] Мерзленко М.Д., Глазунов Ю.Б., Мельник П.Г. Результаты выращивания провениенций сосны обыкновенной в географических посадках Серебряноборского опытного лесничества // Лесоведение, 2017. № 3. С. 176–182.
- [4] Мерзленко М.Д., Бабич Н.А. Теория и практика выращивания сосны и ели в культурах. Архангельск: Изд-во АГТУ, 2002. 220 с.
- [5] Тишков А.С., Мерзленко М.Д., Мельник П.Г. Рост и производительность культур ели разной густоты посадки в условиях северо-западного Подмосковья // Лесное хозяйство. Материалы докл. 84-й науч.-техн. конф., посвященной 90-летию юбилею БГТУ и Дню белорусской науки (с международным участием), Минск, 03–14 февраля 2020 г. Минск: Изд-во Белорусского государственного технологического университета, 2020. С. 150–151.
- [6] Прокопьев А.П. Лесокультурное направление исследований Восточно-европейской лесной опытной станции // Лесохозяйственная информация, 2016. № 4. С. 22–30.
- [7] Ильин Ф.С., Гарипов Н.Р., Петров В.А. 95 лет содружеству науки и практики в лесах Среднего Поволжья // Лесохозяйственная информация, 2021. № 4. С. 5–25.
- [8] Огиевский В.В. Энергия и интенсивность роста, как показатели состояния культур // Лесовосстановление: Материалы науч.-техн. конф. Ленинград, 25 мая 1968 г. Л.: Изд-во ЛТА., 1968. С. 31–32.
- [9] Незабудкин Г.К. Обследование и исследование лесных и плантационных культур. Йошкар-Ола: [Б. и.], 1971. 52 с.
- [10] Незабудкин Г.К. Типы лесных культур и их применение в лесхозах и леспромхозах МАССР // Сб. тр. ПЛТИ им. М. Горького, 1965. № 57. Вып. 2. С. 25–37.
- [11] Маслаков Е.Л., Извекова И.М., Петрова Е.С. Рост семян сосны и ели в контейнерах различного размера // Сб. науч. тр. ЛенНИИЛХ, 1976. Вып. 24. С. 83–87.
- [12] Прохоренко Н.Б., Глушко С.Г. Характеристика сосняков сложных на волжских террасах Татарстана // Сибирский лесной журнал, 2017. № 2. С. 40–51.
- [13] Сахнов В.В., Прокопьев А.П., Пуряев А.С. Рекомендации по созданию лесных культур с использованием посадочного материала с закрытой и открытой корневой системой в условиях Республики Татарстан. Казань: Редакционно-издательский центр «Школа», 2018. 40 с.
- [14] Прокопьев А.П., Сахнов В.В. Влияние стимуляторов роста на рост и развитие семян сосны обыкновенной (*Pinus sylvestris* L.) // Лесное хозяйство и рациональное использование природных ресурсов: Матер. Региональной науч.-практ. конф., Казань, 12–13 апреля 2018 года. Казань: Изд-во Казанского государственного аграрного университета, 2018. С. 56–60.
- [15] Мельник Л.П. Динамика породного состава в условиях простой свежей субори Никольской лесной дачи // Леса Евразии — Леса Поволжья: Материалы XVII Международ. конф. молодых ученых, посвященной 150-летию со дня рождения проф. Г.Ф. Морозова, 95-летию Казанского государственного аграрного университета и Году экологии в России, Казань, 22–28 октября 2017 г. М.: Маска, 2017. С. 79–81.
- [16] ОСТ 56-69-83. Пробные площади лесоустроительные. Метод закладки. Введен 01.07.85. М.: Издательство стандартов, 1985. 8 с.
- [17] Мелешин П.И., Белостоцкий Н.Н., Козлов В.А. Совершенствование технологии выращивания саженцев с закрытой корневой системой в производственных условиях // Выращивание и формирование высокопродуктивных насаждений в южной подзоне тайги. Л.: Изд-во ЛенНИИЛХ, 1984. С. 34–41.
- [18] Доспехов Б.А. Методика полевого опыта. М.: Агропромиздат, 1985. 351 с.
- [19] Демидова Н.А., Дуркина Т.М., Гоголева Л.Г. Изменчивость биометрических показателей семян сосны скрученной широкохвойной с закрытой корневой системой на севере Архангельской области // Лесоведение, 2020. № 5. С. 466–473.
- [20] Мерзленко М.Д. Лесокультурное дело. М.: МГУЛ, 2009. 124 с.
- [21] Винокуров М.А., Гришин П.В. Лесные почвы Татарии. Казань: Издательство Казанского университета, 1962. 71 с.
- [22] Вологович А.А., Поплавская Л.Ф., Ребко С.В., Тупик П.В. Сравнительные показатели роста сортовых семян сосны обыкновенной с ЗКС // Лесное хозяйство: Тез. 82-й науч.-техн. конф. с междунар. участием, Минск, 01–14 февраля 2018 г. Минск: Изд-во БГТУ, 2018. С. 56.
- [23] Гладинов А.Н., Коновалова Е.В., Содбоева С.Ч. Сравнительные результаты использования семян сосны обыкновенной с открытой и закрытой корневой системой при искусственном лесовосстановлении в условиях Западного Забайкалья // Успехи современного естествознания, 2021. № 11. С. 7–12.
- [24] Еросланова А.В., Заболотских П.В. Влияние биометрических показателей семян сосны (*Pinus sylvestris* L.) с закрытой корневой системой на рост лесных культур // Инженерные кадры — будущее инновационной экономики России, 2022. № 1. С. 271–274.
- [25] Галдина Т.Е., Самошин С.Е. Влияние нетрадиционных удобрений на выращивание посадочного материала в лесных питомниках // Успехи современного естествознания, 2018. № 11. С. 24–29.
- [26] Гоф А.А., Жигулин Е.В., Залесов С.В. Причины низкой приживаемости семян сосны обыкновенной с закрытой корневой системой в ленточных борах Алтая // Успехи современного естествознания, 2019. № 12–1. С. 9–13.
- [27] Galiullin I.R., Glushko S.G., Prokhorenko N.B. Features of forest dynamics in developed regions // IOP Conference Series: Earth and Environmental Science: 6, Politics, Industry, Science, Education. St. Petersburg, 2021, p. 012029.
- [28] Черненко Т.В., Пузаченко М.Ю., Беляева Н.Г. Характеристика и перспективы сохранения сосновых лесов Московской области // Лесоведение, 2019. № 5.

С. 449–464.

Сведения об авторах

Сахнов Владимир Васильевич — канд. биол. наук, руководитель группы лесных культур Филиала ФБУ «ВНИИЛМ» «Восточно-европейская ЛОС», vlsahnov@yandex.ru

Прокопьев Александр Павлович — канд. биол. наук, ст. науч. сотр. Филиала ФБУ «ВНИИЛМ» «Восточно-европейская ЛОС», prokorev0369@mail.ru

Галиуллин Ильфир Равилович — канд. с.-х. наук, директор Филиала ФБУ «ВНИИЛМ» «Восточно-европейская ЛОС», ilfir.79@mail.ru

Глушко Сергей Геннадьевич  — канд. с.-х. наук, доцент кафедры таксации и экономики лесной отрасли ФГБОУ ВО «Казанский государственный аграрный университет», glushkosg@mail.ru

Поступила в редакцию 28.11.2022.

Одобрено после рецензирования 16.12.2022.

Принята к публикации 03.02.2023.

SCOTS PINE GROWTH AND DEVELOPMENT CREATED BY PLANTING MATERIAL WITH ROOT-BALLED AND BAREROOT SYSTEMS IN VARIOUS FORESTGROWING CONDITIONS OF TATARSTAN REPUBLIC

V.V. Sakhnov¹, A.P. Prokop'ev¹, I.R. Galiullin¹, S.G. Glushko² 

¹Branch of FBU VNIILM East-European VOC, 40, Tovariskaya st., 420015, Kazan, Russia

²Kazan State Agrarian University, 25, K. Marx st., 420015, Kazan, Russia

glushkosg@mail.ru

The results of studies concerning the growth and development of Scots pine (*Pinus sylvestris* L.) forest plantations created by using seedlings with a root-balled system (RBS) and their comparison with forest plantations created by using ordinary seedlings with a bareroot system (BRS) in various forest-growing conditions in the Republic of Tatarstan are presented. Measurements of biometric parameters of plants were carried out in an amount that ensures the accuracy of average statistical indicators within 5 %. For each plant, the height, the annual growth of the axial shoot in height, the diameter at the root neck, the length of the main and lateral roots were measured. Research materials have established that forest plantations of Scots pine, created on lighter soils in forest conditions B₁₋₃, are significantly behind in development from forest plantations created on soils richer in agrochemical characteristics C₁₋₃. The creation of forest plantations on such soils requires the use of fertilizers and other measures of agrotechnical care for plantings. When creating forest crops with seedlings with BRS in forest conditions D₂₋₃, on soils with a heavy granulometric composition (ordinary and leached chernozems), a significant decrease in the growth rate of seedlings was revealed. The use of planting material grown under the conditions of a closed root system (BRS) for the creation of forest plantations of Scots pine in the conditions of the Republic of Tatarstan requires further scientific justification. The results of using planting material with a root-balled system are ambiguous and require an appropriate pilot test.

Keywords: forest plantations, seedlings, soil conditions, root system

Suggested citation: Sakhnov V.V., Prokop'ev A.P., Galiullin I.R., Glushko S.G. *Rost i razvitie lesnykh kul'tur sosny obyknovnoy, sozdannykh posadochnym materialom s zakrytoy i otkrytoy kornevoy sistemoy, v razlichnykh usloviyakh Respubliki Tatarstan* [Scots pine growth and development created by planting material with root-balled and bareroot systems in various forestgrowing conditions of Tatarstan Republic]. *Lesnoy vestnik / Forestry Bulletin*, 2023, vol. 27, no. 2, pp. 38–48. DOI: 10.18698/2542-1468-2023-2-38-48

References

- [1] *Rekomendatsii po vedeniyu lesnogo khozyaystva Tatarskoy ASSR na zonal'no-tipologicheskoy osnove* [Recommendations for the management of forestry in the Tatar ASSR on a zonal-typological basis]. Moscow: VNIILM, 1985, 45 p.
- [2] Merzlenko M.D., Babich N.A. *Teoriya i praktika vyrashchivaniya sosny i eli v kul'turakh* [Theory and practice of growing pine and spruce in crops]. Arkhangelsk: AGTU, 2002, 220 p.
- [3] Merzlenko M.D., Glazunov Yu.B., Mel'nik P.G. *Rezul'taty vyrashchivaniya provenientsiy sosny obyknovnoy v geograficheskikh posadkakh Serebryanoborskogo opytnogo lesnichestva* [The results of the cultivation of provinces of Scots pine in the geographical plantings of Serebryanoborsky experimental forestry]. *Lesovedenie* [Russian Journal of Forest Science], 2017, no. 3, pp. 176–182.

- [4] Merzlenko M.D., Babich N.A. *Teoriya i praktika vyrashchivaniya sosny i eli v kul'turakh* [Theory and practice of artificial reforestation]. Arkhangel'sk: SAFU, 2011, 239 p.
- [5] Tishkov A.S., Merzlenko M.D., Mel'nik P.G. *Rost i proizvoditel'nost' kul'tur eli raznoy gustoty posadki v usloviyakh severo-zapadnogo Podmoskov'ya* [Growth and productivity of spruce crops of different planting densities in the conditions of the northwestern suburbs]. *Lesnoe khozyaystvo. Materialy dokladov 84-y nauch.-tekhn. konf., posvyashchennoy 90-letnemu yubileyu BGTU i Dnyu belorusskoy nauki (s mezhdunarodnym uchastiem)* [Forestry. Materials of reports of the 84th scientific and technical. Conf. dedicated to the 90th anniversary of BSTU and the Day of Belarusian Science (with international participation)], Minsk, 03–14 February 2020. Minsk: Belarusian State Technological University, 2020, pp. 150–151.
- [6] Prokop'ev A.P. *Lesokul'turnoe napravlenie issledovaniy Vostochno-evropeyskoy lesnoy opytnoy stantsii* [Forest culture research direction of the East European Forest Experimental Station]. *Lesokhozyaystvennaya informatsiya* [Forestry information], 2016, no. 4, pp. 22–30.
- [7] Il'in F.S., Garipov N.R., Petrov V.A. *95 let sodruzhestvu nauki i praktiki v lesakh Srednego Povolzh'ya* [95th Anniversary of the Commonwealth of Science and Practice in the Forests of the Middle Volga Region]. *Lesokhozyaystvennaya informatsiya* [Forestry Information], 2021, no. 4, pp. 5–25.
- [8] Ogievskiy V.V. *Energiya i intensivnost' rosta, kak pokazateli sostoyaniya kul'tur* [Energy and intensity of growth as indicators of the state of crops]. *Materialy nauchn.-tekhn. konf.* [Materials of scientific and technical. conf.] Leningrad: LTA, 1968, pp. 31–32.
- [9] Nezabudkin G.K. *Obsledovanie i issledovanie lesnykh i plantatsionnykh kul'tur* [Inspection and research of forest and plantation]. Yoshkar-Ola, 1971, 52 p.
- [10] Nezabudkin G.K. *Tipy lesnykh kul'tur i ikh primeneniye v leskhozakh i lespromkhozakh MASSR* [Types of forest crops and their use in forestries and timber industry enterprises of the MASSR]. *Collection of works of the PLTI im. M. Gorky*, 1965, iss. 57, pp. 83–87.
- [11] Maslakov E.L., Izvekova I.M., Petrova E.S. *Rost seyantsev sosny i eli v konteynerakh razlichnogo razmera* [The growth of pine and spruce seedlings in containers of various sizes]. *Collection of scientific papers of LenNIILKh*, 1976, iss. 24, pp. 83–87.
- [12] Prokhorenko N.B., Glushko S.G. *Kharakteristika sosnyakov slozhnykh na volzhskikh terrasakh Tatarstana* [Characteristics of complex pine forests on the Volga terraces of Tatarstan]. *Sibirskiy lesnoy zhurnal* [Siberian Forest Journal], 2017, no. 2, pp. 40–51.
- [13] Sakhnov V.V., Prokop'ev A.P., Puryaev A.S. *Rekomendatsii po sozdaniyu lesnykh kul'tur s ispol'zovaniem posadochnogo materiala s zakrytoy i otkrytoy kornevoy sistemoy v usloviyakh Respubliki Tatarstan* [Recommendations for the creation of forest plantations using planting material with a closed and open root system in the conditions of the Republic of Tatarstan]. Kazan': Redaktsionno-izdatel'skiy tsentr «Shkola», 2018, 40 p.
- [14] Prokop'ev A.P., Sakhnov V.V. *Vliyaniye stimulyatorov rosta na rost i razvitiye seyantsev sosny obyknovennoy (Pinus sylvestris L.)* [Influence of growth stimulants on the growth and development of seedlings of Scots pine (*Pinus sylvestris L.*)]. *Lesnoe khozyaystvo i ratsional'noye ispol'zovanie prirodnykh resursov: mater. Regional'noy nauchno-prakticheskoy konferentsii* [Forestry and rational use of natural resources: mater. Regional Scientific and Practical Conference], Kazan, April 12–13, 2018. Kazan': Kazan State Agrarian University, 2018, pp. 56–60.
- [15] Mel'nik L.P. *Dinamika porodnogo sostava v usloviyakh prostoy svezhey subori Nikol'skoy lesnoy dachi* [Melnik L.P. The dynamics of the species composition in the conditions of a simple fresh subori of the Nikolskaya forest dacha], *Lesa Evrazii — Lesa Povolzh'ya: Materialy XVII Mezhdunar. konf. molodykh uchenykh, posvyashchennoy 150-letiyu so dnya rozhdeniya prof. G.F. Morozova, 95-letiyu Kazanskogo gosudarstvennogo agrarnogo universiteta i Godu ekologii v Rossii* [Forests of Eurasia — Forests of the Volga region: Proceedings of the XVII Intern. conf. young scientists, dedicated to the 150th anniversary of the birth of prof. G.F. Morozov, on the 95th anniversary of Kazan State Agrarian University and the Year of Ecology in Russia]. Kazan, October 22–28, 2017. Moscow: Maska, 2017, pp. 79–81.
- [16] OST 56-69-83 *Probnyye ploshchadi lesoustroitel'nye* [Trial forest management areas. Bookmark method. Introduction 07/01/85]. Moscow: Publishing house of standards, 1985, 8 p.
- [17] Meleshin P.I., Belostotskiy N.N., Kozlov V.A. *Sovershenstvovanie tekhnologii vyrashchivaniya sazhentsev s zakrytoy kornevoy sistemoy v proizvodstvennykh usloviyakh* [Improving the technology of growing seedlings with a closed root system under production conditions]. *Vyrashchivaniye i formirovaniye vysokoproduktivnykh nasazhdeniy v yuzhnoy podzone taygi* [Cultivation and formation of highly productive plantations in the southern subzone of the taiga]. Leningrad: LenNIILKh, 1984, pp. 34–41.
- [18] Dospekhov B.A. *Metodika polevogo opyta* [Methods of field experience]. Moscow: Agropromizdat, 1985, 351 p.
- [19] Demidova N.A., Durkina T.M., Gogolev L.G. *Izmenchivost' biometricheskikh pokazateley seyancev sosny skruchennoy shirokohvoynoy s zakrytoy kornevoy sistemoy na severe Arhangel'skoy oblasti* [Variability of biometric indicators of seedlings of lodgepole pine with a closed root system in the north of the Arkhangelsk region]. *Lesovedeniye* [Russian J. of Forest Science], 2020, no. 5, pp. 466–473.
- [20] Merzlenko M.D. *Lesokul'turnoe delo* [Silvicultural Business]. Moscow: MSFU, 2009, 124 p.
- [21] Vinokurov M.A., Grishin P.V. *Lesnye pochvy Tatarii* [Forest soils of Tataria]. Kazan': Izdatel'stvo Kazanskogo universiteta [Publishing house of Kazan University], 1962, 71 p.
- [22] Volotovich A.A., Poplavskaya L.F., Rebko S.V., Tupik P.V. *Sravnitel'nye pokazateli rosta sortovykh seyantsev sosny obyknovennoy s ZKS* [Comparative growth rates of varietal seedlings of Scots pine with ball-rooted planting stock]. *Lesnoe khozyaystvo: Tezisy 82-y nauch.-tekhn. konf. s mezhdunar. uchastiem* [Forestry. Thesis of the 82 scientific technical conference (with international participation)], Minsk, 01–14 February 2018. Minsk: Belarusian State Technological University, 2020, p. 56.

- [23] Gladinov A.N., Konovalova E.V., Sodboeva S.Ch. *Sravnitel'nye rezul'taty ispol'zovaniya seyancev sosny obyknovennoy s otkrytoy i zakrytoy kornevoy sistemoy pri iskusstvennom lesovosstanovlenii v usloviyah Zapadnogo Zabaykal'ya* [Comparative results of the use of Scotch pine seedlings with open and closed root systems in artificial reforestation in the conditions of Western Transbaikalia]. *Uspekhi sovremennogo estestvoznaniya* [Successes of modern natural science], 2021, no. 11, pp. 7–12.
- [24] Eroslanova A.V., Zabolotskikh P.V. *Vliyaniye biometricheskikh pokazateley seyancev sosny (Pinus sylvestris L.) s zakrytoy kornevoy sistemoy na rost lesnykh kul'tur* [Influence of Biometric Parameters of Seedlings of Pine (*Pinus sylvestris* L.) with a Closed Root System on the Growth of Forest Plantations]. *Inzhenernye kadry — budushchee innovacionnoy ekonomiki Rossii* [Engineering personnel is the future of Russia's innovative economy], 2022, no. 1, pp. 271–274.
- [25] Galdina T.E., Samoshin S.E. *Vliyaniye netraditsionnykh udobreniy na vyrashchivaniye posadochnogo materiala v lesnykh pitomnikakh* [Influence of non-traditional fertilizers on cultivation of planting stock in forest nurseries]. *Uspekhi sovremennogo estestvoznaniya* [Advances in Current Natural Science], 2018, no. 11, pp. 24–29.
- [26] Gof A.A., Zhigulin E.V., Zalesov S.V. *Prichiny nizkoy prizhivamosti seyancev sosny obyknovennoy s zakrytoy kornevoy sistemoy v lentochnykh borah Altaya* [Reasons for the low survival rate of Scotch pine seedlings with a closed root system in the belt pine forests of Altai]. *Uspekhi sovremennogo estestvoznaniya* [Successes of modern natural science], 2019, no. 12–1, pp. 9–13.
- [27] Galiullin I.R., Glushko S.G., Prokhorenko N.B. Features of forest dynamics in developed regions // IOP Conference Series: Earth and Environmental Science: 6, Politics, Industry, Science, Education. St. Petersburg, 2021, p. 012029.
- [28] Chernenkova T.V., Puzachenko M.Yu., Belyaeva N.G. *Harakteristika i perspektivy sohraneniya sosnovykh lesov Moskovskoy oblasti* [Characteristics and prospects for the conservation of pine forests in the Moscow region]. *Lesovedenie* [Russian J. of Forest Science], 2019, no. 5, pp. 449–464.

Authors' information

Sakhnov Vladimir Vasil'evich — Cand. Sci. (Biology), Head of the Group of Forest Plantations of the Branch of the FBU «VNIILM» East European VOC, vlsahnov@yandex.ru

Prokop'ev Aleksandr Pavlovich — Cand. Sci. (Biology), Senior Researcher, Branch of the FBU «VNIILM» East European VOC, prokopev0369@mail.ru

Galiullin Il'fir Ravilovich — Cand. Sci. (Agriculture), Director of the Branch of the FBU «VNIILM» East European VOC, ilfir.79@mail

Glushko Sergey Gennad'evich✉ — Cand. Sci. (Agriculture), Associate Professor of the Department of Taxation and Economics of the Forest Industry, Kazan State Agrarian University, glushkosg@mail.ru

Received 28.11.2022.

Approved after review 16.12.2022.

Accepted for publication 03.02.2023.

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

ОСОБЕННОСТИ ФЕНОЛОГИИ ДРЕВЕСНЫХ ВИДОВ НА СЕВЕРНОМ И ЮЖНОМ ПРЕДЕЛЕ ИХ АРЕАЛОВ В УСЛОВИЯХ ИНТРОДУКЦИОННОГО СТРЕССА

Н.Р. Сунгурова^{1✉}, Г.А. Солтани², С.Р. Страдаускене¹

¹ФГАОУ ВО «Северный (Арктический) федеральный университет имени М.В. Ломоносова» (САФУ), Россия, 163002, г. Архангельск, ул. Набережная Северной Двины, д. 17

²ФГБУ «Сочинский национальный парк», Россия, 354002, г. Сочи, Курортный проспект, д. 74

n.sungurova@narfu.ru

Приведен анализ процессов роста и фенологического развития растений. Рассмотрены древесные и кустарниковые виды, произрастающие на северном и южном пределе их ареалов: ель колючая (*Picea pungens* Engelm.), туя западная (*Thuja occidentalis* L.), липа американская (*Tilia Americana* L.), сирень венгерская (*Syringa josikaea* J. Jacq. ex Rchb.) в дендрологических садах Архангельска и Сочи. Зафиксированы фенологические даты сезонного развития данных видов и предложены рекомендации по использованию изучаемых интродуцентов в системе озеленения городов. Установлено, что сирень венгерская успешно растет и плодоносит на северной границе интродукции и имеет балл зимостойкости I, в то время как в субтропическом климате этот вид хотя и формирует генеративные органы, однако находится в угнетенном состоянии. Выявлено, что туя западная в условиях Архангельска цветет очень редко, не образует доброкачественных семян, вымерзает в суровые зимы, а в субтропиках широко используется в системе озеленения городов и в топиарном искусстве.

Ключевые слова: интродуценты, озеленение, фенология, наблюдения, вегетационный период, фазы роста и развития, древесные виды

Ссылка для цитирования: Сунгурова Н.Р., Солтани Г.А., Страдаускене С.Р. Особенности фенологии древесных видов на северном и южном пределе их ареалов в условиях интродукционного стресса // Лесной вестник / Forestry Bulletin, 2023. Т. 27. № 2. С. 49–58. DOI: 10.18698/2542-1468-2023-2-49-58

Древесные растения в городах выполняют множество функций: эстетическую — оформление населенных мест, где деревья и кустарники являются частью объекта или самим объектом садово-паркового искусства, санитарно-гигиеническую — защита урбанистической среды от пыли, шума, солнечной радиации, фитонцидного обогащения, поглощения диоксида углерода и оксида серы, выделения кислорода и т. п., микроклиматическую — регулирование влажности воздуха и почвы, изменение температурного режима, уменьшение скорости ветра и т. д. [1–8].

Для анализа адаптационных возможностей высаживаемых видов и сортов к новым условиям обитания, определения возможности планомерного использования растений в системе озеленения городов используют интродукционную фенологию с фиксацией фенодат при визуальном наблюдении [9, 10].

Фенология является составной частью программы исследуемых интродукционных видов, разработанной Советом ботанических садов России.

Для понимания сущности процессов адаптации изучаемых интродуцентов к новым лесоводственно-экологическим условиям необходимо исследование закономерностей их сезонного ритма,

так как реакция растений при переносе их в эти новые условия оказывается различной для отдельных видов и сказывается на габитусе и сезонном развитии, например на календарных датах начала и окончания вегетационного периода [11–14].

Поэтому очень важно изучить возможность произрастания инорайонных пород в конкретных почвенно-климатических условиях и провести отбор перспективных видов для озеленения, что позволит создавать ценнейшие интродукционные объекты.

Цель работы

Цель работы — сравнительное изучение особенностей развития древесных и кустарниковых видов в зависимости от географического местоположения — в умеренно-континентальной и субтропической климатических зонах (северном и южном направлениях).

Материалы и методы

Для изучения фенологических особенностей подобраны древесные растения, отличающиеся по жизненной форме, виду и продолжительности жизни листвы: ель колючая (*Picea pungens* Engelm.), туя западная (*Thuja occidentalis* L.), липа американская (*Tilia Americana* L.), сирень венгерская (*Syringa josikaea* J. Jacq. ex Rchb.),

произрастающие в дендрологических садах Архангельска (умеренно-континентальный климат) и Сочи (субтропическая климатическая зона). Благодаря ступенчатой интродукции именно эти виды являются связующим звеном данных дендрариев.

Ель колючая (*Picea pungens* Engelm.). Родина — скалистые горы Северной Америки. Успешно растет на севере и юге России, достигает в дендрологическом саду Архангельска к 20 годам высоты 5 м, в дендрологическом саду Сочи в этом же возрасте — 8 м. Созревание семян в зоне умеренно континентального климата начинается с 25 лет, в субтропиках — с 20 лет. Обильные урожаи повторяются через 3–4 года. После суровых зим может наблюдаться покраснение хвои, что положительно сказывается на декоративности вида. Устойчива к стресс-факторам города — пыли, дыму и газу. На юге страдает от недостатка влаги, поэтому требуется регулярный обмыв крон. Летучие фитонциды и выделяемые эфирные масла растения оказывают успокаивающее действие, способствуют снятию стрессовых состояний [15]. Ель колючая способна поглощать тяжелые металлы из почвы. Согласно исследованиям Н.А. Бабича и др. [1] в ассимиляционном аппарате данного интродуцента содержится свинец 0,63 мг/кг, кадмия 0,06, цинка 74,69. Поэтому вид включают в основной ассортимент древесно-кустарниковой растительности и высаживают у парадных входов в административные здания, на театральные и привокзальные площадях, у лечебных учреждений, на приусадебных участках, а также включают в придорожные лесополосы.

Туя западная (*Thuja occidentalis* L.). Родина — восточные районы Северной Америки. В культуре растет в виде кустарника или деревца, достигает в дендрологическом саду Архангельска в 15 лет высоты 2,2 м, в дендрологическом саду Сочи в 10 лет — 7 м. Туя западная в условиях Севера цветет очень редко, не образует доброкачественных семян, потому как развитие этого интродуцента не укладывается в изменившийся вегетационный период в связи с недостаточным количеством солнечной радиации, необходимым для прохождения генеративного цикла [16]. В свою очередь, на юге нашей страны наблюдается ежегодное цветение туи западной, она здесь к тому же хорошо переносит городские условия. При создании парков и скверов тую высаживают в виде живых изгородей, группами или одиночно. Тую западную широко используют в топиарном искусстве, включают в декоративный (редкого использования) ассортимент древесно-кустарниковой растительности. В садово-парковом строительстве Архангельска туя практически не применяется.

Липа американская (*Tilia Americana* L.). Родина — восток Северной Америки. В дендроло-

гическом саду Архангельска в возрасте 45 лет высота деревьев достигает 7 м, в дендрологическом саду Сочи в возрасте 15 лет — 10 м. В дендрологическом саду Архангельска в отличие от субтропического климатического пояса имеет семена низкого качества. Хорошие и обильные урожаи наблюдаются через 5 лет и более. Липа американская отличается высокой декоративностью и устойчивостью к городским стресс-факторам, хотя в суровую зиму могут подмерзать молодые побеги. Поздневесенние и раннелетние заморозки повреждают тронувшиеся в рост побеги, отрицательно влияют на бутонизацию растения, поэтому применение данного вида в системе озеленения Архангельской обл. можно рекомендовать для ее южных районов в качестве обогащения основного ассортимента древесно-кустарниковой растительности.

Сирень венгерская (*Syringa josikaea* J. Jacq. ex Rchb.). Естественно произрастает в горных смешанных лесах, Украине и Румынии. Это кустарник высотой до 5 м с направленными вверх густо разветвленными коричнево-серыми ветвями. Как в дендрологическом саду Архангельска, так и в дендрологическом саду Сочи начинает плодоносить с 3–4 лет. Семена отличаются хорошим качеством. Обильные урожаи повторяются через 2–3 года. Сирень венгерская благодаря компактной форме кроны, обильному цветению, высокой фитонцидности, устойчивости к городским условиям можно успешно применять в системе озеленения Архангельска в виде одиночных или групповых посадок на газонах, либо живой изгороди и т. д. В дендрологическом саду Сочи сирень венгерская хотя и проходит весь цикл развития, однако не развивается должным образом — у нее малое количество листы, недоразвита крона, слабое цветение и плодоношение (1 балл по шкале В.Г. Каппера). Соцветия мелкие. Растения ослаблены и часто повреждаются тлей. С наступлением фенологической фазы — появления первых листьев — у данного интродуцента активизируется пылефильтрующая способность. По шкале пылеулавливания [17] сирень венгерская относится ко второй категории с пылефильтрующей способностью, адсорбирующей 0,3...0,6 г/м². Сирень венгерская обладает способностью поглощать тяжелые металлы. Данные Н.А. Бабича, О.С. Залывской и Г.И. Травниковой [1] свидетельствуют о том, что в фотосинтезирующем аппарате данного интродуцента, произрастающего в урбанизированных зонах, присутствует свинец в количестве 0,97 мг/кг, кадмий — 0,03, цинк — 55,14 мг/кг.

Краткая характеристика природных условий района расположения дендрариев приведена в табл. 1.

Т а б л и ц а 1
**Природные условия дендрологических садов
 Сочи и Архангельска**

Natural conditions of the arboretum gardens of Sochi and Arkhangelsk

Характеристика	Дендрологический сад	
	Сочи	Архангельск
Температура воздуха, °С		
среднегодовая	+14,2	+0,8
абсолютный минимум	-13,4	-49,1
абсолютный максимум	+39,4	+34,0
среднемесячная в январе	+6,0	-12,5
среднемесячная в июле	+23,2	+15,6
Годовое количество осадков, мм	1684	494
Продолжительность вегетационного периода, дней	317	110

Приоритетным методом исследования инорайонных видов считается сравнительное изучение ритмов сезонного роста, которое направлено на определение сроков прохождения различных фаз развития растений, оценку декоративности, устойчивости, продуктивности в условиях урбанизированной среды. При проведении фенологических наблюдений пользовались методиками Главного ботанического сада имени Н.В. Цицина Российской академии наук

(ГБС РАН) [18], П.М. Малаховца и В.А. Тисовой [19], а также учитывали другие методические рекомендации [20–23]. Сумму накопленных эффективных температур рассчитывали согласно практическим рекомендациям А.П. Лосева [24]. Суммировали среднесуточные температуры воздуха выше +5 С (для древесно-кустарниковых видов) за определенный промежуток времени для установления прохождения растениями определенной фенологической фазы.

В ходе изучения роста побегов фиксировали начало и окончание роста, закладку верхушечной почки. С южной стороны растения подбирали и помечали 5...10 модельных побегов. На каждом побеге краской делали отметку у основания верхушечной почки, от которой с точностью до 1 мм с интервалом 5 сут линейкой измеряли длину побега в течение всего периода роста.

Для определения зимостойкости исследуемых интродуцентов использована шкала ГБС РАН [18].

Обилие цветения и плодоношения устанавливали по шкале В.Г. Каппера [25].

Весь диапазон данных, полученных за три вегетационных периода, обработан с помощью пакета программ Microsoft Excel с 95%-м уровнем надежности.

Фазы сезонного развития изучаемых пород наглядно представлены на рисунке.



Фазы сезонного развития изучаемых пород: а — Ель колючая; б — Липа американская; в — Туя западная; з — Сирень венгерская; 1 — зимний покой; 2 — набухание почек; 3 — распускание почек; 4 — разворачивание листьев; 5 — цветение (пыление у ели и туи)

Phases of seasonal development of the studied breeds: а — *Picea pungens* Engelm.; б — *Tilia Americana* L.; в — *Thuja occidentalis* L.; з — *Syringa josikaea* J. Jacq. ex Rechb.; 1 — winter rest; 2 — bud swelling; 3 — bud budding; 4 — leaf unfolding; 5 — flowering (dusting in spruce and thuja)

Средние сроки наступления фенологических фаз изучаемых видов и суммы эффективных температур в дендрологических садах Сочи и Архангельска

The average timing of the onset of the phenological phases of the studied species and the sum of the effective temperatures in the arboretum gardens of Sochi and Arkhangelsk

Параметр	Дендрологический сад							
	Сочи				Архангельск			
	1	2	3	4	1	2	3	4
Набухание почек календарная дата сумма эффективных температур, °С	12.04	13.04	26.03	28.03	21.05	24.05	11.05	10.05
	836	852	633	649	257	294	97	81
Конус листьев календарная дата сумма эффективных температур, °С	14.04	15.04	01.04	01.04	24.05	26.05	14.05	11.05
	872	885	682	682	294	323	150	97
Появление первых листьев календарная дата сумма эффективных температур, °С	15.04	17.04	04.04	05.04	01.06	30.05	18.05	16.05
	885	909	705	720	375	367	219	180
Цветение начало календарная дата сумма эффективных температур, °С конец календарная дата сумма эффективных температур, °С	15.04	05.05	17.05	14.05	10.06	–	11.07	25.06
	885	1170	1399	1328	447	–	1034	692
	20.04	16.05	26.05	29.05	16.06	–	20.07	02.07
	939	1373	1579	1646	523	–	1194	795
Созревание плодов календарная дата сумма эффективных температур, °С	30.08	28.08	14.09	16.08	29.09	–	01.11	08.10
	3940	3889	4291	3581	2284	–	2369	2306
Появление осенней окраски листьев календарная дата сумма эффективных температур, °С	–	–	02.11	30.10	–	–	01.10	03.10
	–	–	5190	5158	–	–	2292	2292
Листопад начало календарная дата сумма эффективных температур, °С конец календарная дата сумма эффективных температур, °С	–	–	09.11	10.11	–	–	03.10	18.10
	–	–	5311	5329	–	–	2299	2357
	–	–	20.11	19.11	–	–	18.10	20.10
	–	–	5488	5474	–	–	2357	2357

Примечание: 1 — Ель колючая *Picea pungens* Engelm.; 2 — Туя западная *Thuja occidentalis* L.; 3 — Липа американская *Tilia Americana* L.; 4 — Сирень венгерская *Syringa josikaea* J. Jacq. ex Rchb.

Результаты и обсуждение

Сроки наступления фенологических фаз исследуемых видов варьируют в различные вегетационные периоды в зависимости от погодных условий текущего года. Средние показатели наступления фенофаз и суммы эффективных температур (начиная с набухания почек и заканчивая массовым опадением листьев) за три вегетационных периода 2017–2019 гг. приведены в табл. 2.

Анализ результатов фенологических наблюдений показал, что в зоне умеренно-континентального климата вегетационный период изучаемых голосеменных интродуцентов наступает 21–24 мая при сумме накопленных эффективных температур 257...294 °С. В зоне субтропиков эти виды начинают вегетацию 12–13 апреля, когда сумма эффективных температур составляет 836...852 °С.

Исследуемые покрытосеменные виды начинают выходить из стадии зимнего покоя раньше

хвойных на 11...13 сут, когда показатель накопленных эффективных температур варьирует от 81 до 97 °С (Архангельск) и от 633 до 649 °С (Сочи). Отметим, что за полярным кругом — в г. Мурманске — развертывание почек у сирени венгерской начинается 23.05–01.06 при сумме положительных температур 81,8...236 °С [26].

Точно также у покрытосеменных интродуцентов раньше в среднем на две недели наступает фенологическая фаза появления первых листьев. На южном пределе их ареала данная фаза фиксируется в первой декаде апреля, на северном — во второй декаде мая. При этом сумма эффективных температур составляет соответственно 705...720 °С и 180...219 °С. В целях понимания биоэкологических особенностей интродуцентов для последующего использования их в озеленении городов необходимо изучение их сезонных ритмов.

У древесных видов побеги начинают расти в зависимости от биологических особенностей расте-

Генеративное развитие исследуемых древесных видов и оценка их зимостойкости

Generative development of the studied tree species and assessment of their winter hardiness

Название вида	Вегетирует		Цветет		Плодоносит		Признаки зимостойкости	Зимостойкость в баллах
	А	С	А	С	А	С		
Ель колючая <i>Picea pungens</i> Engelm.	+	+	+	–	+	–	не обмерзает	I
Туя западная <i>Thuja occidentalis</i> L.	+	+	+	+	–	+	однолетние побеги обмерзают на 50...100 % длины	III
Липа американская <i>Tilia Americana</i> L.	+	+	+	+	+	+	однолетние побеги обмерзают не более 50 % длины	II
Сирень венгерская <i>Syringa josikaea</i> J. Jacq. ex Rchb.	+	+	+	+	+	+	не обмерзает	I

Примечание. А — Архангельск, дендрологический сад; С — Сочи, дендрологический сад.

ний и суммы эффективных весенних температур. Например, побеги сирени на Севере трогаются в рост в среднем 21–25 мая при сумме эффективных температур 235 °С (к примеру, в Красноярске — 6 мая [27], в Карелии — 20 мая [28]); побеги липы — при сумме эффективных температур 263 °С — 6–10 июня.

Активный рост побегов ели колючей в дендрологическом саду Архангельска длится в среднем 14 ± 4 сут (например, в Республике Адыгея — 53 сут [29]), липы — 40 ± 7 сут. Причем в сутки интенсивность роста побегов у ели колючей составляет $1,8 \pm 0,20$ мм, у липы — $4,2 \pm 0,31$, у сирени — $4,8 \pm 0,34$ мм.

Цветение туи западной в условиях Севера наблюдается очень редко, один раз в 10–12 лет, иногда реже [19]. Массовое пыление туи западной в дендрологическом саду Сочи наблюдается в среднем в период с 25 апреля по 06 мая, а в Республике Адыгея, например, по данным Е.А. Кучинской [29], с 19 марта по 9 апреля.

Пыление ели колючей в дендрологическом саду Сочи наблюдается во второй половине апреля при накоплении суммы эффективных температур 885 °С, а в дендрологическом саду Архангельска — в середине июня при достижении суммы эффективных температур 447 °С. В Республике Адыгея [29] данная фенологическая фаза рассматриваемого вида укладывается в период 30 апреля — 6 мая. В Дендрарии Поволжского государственного технологического университета ель колючая начинает пыление 29 мая [30].

Цветение липы американской и сирени венгерской на северной границе интродукции менее продолжительно (9 и 8 сут соответственно), чем на южной (10 и 16 сут). Для прохождения данной фенологической фазы в районах с умеренно континентальным климатом требуется сумма эффективных температур 692...1034 °С; в субтропических — 1328...1399 °С. Продолжительность

цветения сирени венгерской в Южно-Уральском ботаническом саду-институте Уфимского федерального исследовательского центра РАН (УФИЦ РАН) составляет $12,6 \pm 2,44$ сут [31], в парках Мурманска 7–16 сут [26].

Одной из первых пород, у которой начинают созревать плоды, является сирень венгерская. Массовое созревание плодов у данного интродукта на южном пределе своего ареала отмечается во второй декаде августа. В то время как на Севере наступление данной фенофазы у сирени зафиксировано 8 октября. Следующими видами, примерно одновременно вступающими в эту фенологическую фазу, являются ель колючая и туя западная в дендрологическом саду Сочи. У липы американской созревание плодов происходит позднее по сравнению с другими интродуктами, выбранными для исследований: на южном пределе ее ареала — 14.09, на северном — 01.11.

Листопад у покрытосеменных видов в дендрологическом саду Архангельска протекает в более короткие сроки и наблюдается при сумме эффективных температур в пределах 2299...2357 °С, Сочи — 5311...5488 °С.

Проведенные исследования показывают приспособленность исследуемых пород к экстремальным условиям как Севера, так и субтропиков при интродукционном стрессе. У всех интродуктов наблюдается полный цикл развития, за исключением туи западной, произрастающей в дендрологическом саду Архангельска. Здесь она не формирует репродуктивные органы (табл. 3). Самым главным лимитирующим фактором выступает тепло.

Одним из основных биологических признаков, устанавливающих успешность интродукции на Севере, является зимостойкость растений (см. табл. 3). Зимостойкость, оцененная наивысшим баллом 1, характерна для ели колючей и сирени венгерской. Это свидетельствует о том, что ель и сирень перезимовывают без повреждений.

Фенологический календарь изучаемых видов по декадам месяца

Phenological calendar of the studied species by a third of the month

Место исследования	Март			Апрель			Май			Июнь			Июль			Август			Сентябрь			Октябрь			Ноябрь	
	3	1	2	3	1	2	3	1	2	3	1	2	3	1	2	3	1	2	3	1	2	3	1	2		
<i>Ель колючая Picea pungens Engelm.</i>																										
Архангельск																										
Сочи																										
<i>Туя западная Thuja occidentalis L.</i>																										
Архангельск																										
Сочи																										
<i>Липа американская Tilia Americana L.</i>																										
Архангельск																										
Сочи																										
<i>Сирень венгерская Syringa josikaea J. Jacq. ex Rchb.</i>																										
Архангельск																										
Сочи																										
Набухание почек	Цветение (пыление)						Созревание плодов																			
Конус листьев	Появление осенней окраски листьев						Период вегетации растения																			
Появление первых листьев	Листопад						Период покоя																			

Анализ фенологических наблюдений показывает, что прохождение всего цикла вегетации от фазы набухания почек до созревания плодов у голосеменных и окончания листопада у покрытосеменных наиболее растянут в субтропическом поясе. Например, у сирени венгерской продолжительность вегетационного периода в дендрологическом саду Архангельска составляет 164 сут, сумма накопленных эффективных температур — 2276 °С, в то время как в дендрологическом саду Сочи у сирени венгерской период вегетации длится 237 сут, сумма накопленных эффективных температур за это промежуток времени составляет 4825 °С. Для сравнения, например, в Мурманске продолжительность вегетационного периода сирени венгерской составляет 123–136 сут [26], в Тюмени — 175–225 сут [31].

Что касается голосеменных, то здесь различия в вегетации не такие явные. Календарный период прохождения всех фенологических фаз у ели колючей на Севере равен 132 сут, на юге — 141 сут, сумма эффективных температур за это время составила соответственно 2027 и 3104 °С.

В условиях влажных субтропиков России стресс-факторами для сирени венгерской и ели колючей являются переувлажнение почв в зимний период и их пересыхание в летний. Эти виды, хотя и произрастают в условиях юга нашей страны, но лучше развиваются в северных широтах. Два других исследуемых интродуцента, родиной происхождения которых является восточная часть Северной Америки (липа американская и туя западная), наоборот, «успешнее» растут на юге, чем на севере России. Туя западная в условиях Архангельска не цветет и не плодоносит, в суровые

зимы вымерзает. На южной границе интродукции туя широко используется в системе озеленения городов и в топиарном искусстве.

Все проанализированные фенофазы представлены в табл. 4 в виде фенологического календаря, где каждая фенофаза имеет свое цветовое обозначение. Календарь охватывает полный период вегетации растений и период покоя.

Такие календари можно использовать при подборе деревьев и кустарников для проектирования объектов ландшафтной архитектуры, чтобы добиться эстетической привлекательности сада. Например, включая в проект виды, цветущие в различные календарные периоды, отличающиеся тональностью и сроками осеннего расцветивания листвы, получают постоянно изменяющиеся живописные картины пейзажа. Можно установить периодичность плодоношения декоративных пород. Материалы фенологических наблюдений находят применение и в пчеловодстве при выборе пород-медоносов.

Выводы

Анализ фенологических наблюдений показывает, что прохождение всего цикла вегетации от фазы набухания почек до созревания плодов у голосеменных и окончания листопада у покрытосеменных наиболее растянут в субтропическом поясе. У сирени венгерской продолжительность вегетационного периода в дендрологическом саду Сочи составляет 237 сут, сумма накопленных эффективных температур — 4825 °С, в дендрологическом саду Архангельска — 164 сут, сумма накопленных эффективных температур 2276 °С.

Определение календарных дат сезонного развития инорайонных видов, а именно начала и окончания вегетации, начала цветения и плодоношения всех изученных видов принесет практическую пользу организациям, занимающимся озеленением городов и населенных пунктов. Результаты исследований помогут при планировании и проведении работ по посадке, уходу и сбору плодов, а также по борьбе с болезнями растений.

Список литературы

- [1] Бабич Н.А., Зальвская О.С., Травникова Г.И. Интродуценты в зеленом строительстве северных городов. Архангельск: Изд-во АГТУ, 2008. 144 с.
- [2] Ivanova E.E., Bibich N.A. Evaluation of main parameters for the growth model of pine crops in the european north of Russia // *Journal of Agriculture and Environment*, 2022, no. 1 (21), at. no. 12.
- [3] Barrio I.C., Hik D.S. Herbivory in Arctic Ecosystems. *Encyclopedia of the World's biomes*. Oxford, Elsevier, 2020, pp. 446–456.
DOI: <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-409548-9.11791-9>
- [4] Duan M., House J., Chang S.X. Understory Plant Communities Vary with Tree Productivity in Two Reclaimed Boreal Upland Forest Types in Canada // *Forest Ecology and Management*, 2019, v. 453, art. 117577.
DOI: <https://doi.org/10.1016/j.foreco.2019.117577>
- [5] Cowett F., Bassuk N. Street Tree Diversity in Three Northeastern U.S. States // *Arboriculture & Urban Forestry*, 2017, v. 43, iss. 1, pp. 1–14.
<https://doi.org/10.48044/jauf.2017.001>
- [6] Dover J.W. Introduction to Urban Sustainability Issues: Urban Ecosystem. Nature Based Strategies for Urban and Building Sustainability / Eds. G. Pérez, K. Perini. Butterworth-Heinemann, 2018, pp. 3–15.
DOI: <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-812150-4.00001-X>
- [7] Ghafari S., Kaviani B., Sedaghatthoor Sh., Allahyari M.S. Ecological Potentials of Trees, Shrubs and Hedge Species for Urban Green Spaces by Multi Criteria Decision Making // *Urban Forestry & Urban Greening*, 2020, v. 55, art. 126824. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.ufug.2020.126824>
- [8] Hedayat K.M., Lapraz J.-C. Chapter 16 – Introduction to the Usage of Medicinal Plants. *The Theory of Endobiogeny. Vol. 1: Global Systems Thinking and Biological Modeling for Clinical Medicine* // Academic Press, 2019, pp. 255–266. DOI: <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-816903-2.00016-1>
- [9] Sjöman H., Hirons A.D., Bassuk N.L. Urban Forest Resilience through Tree Selection – Variation in Drought Tolerance in Acer // *Urban Forestry & Urban Greening*, 2015, v. 14, iss. 4, pp. 858–865.
<https://doi.org/10.1016/j.ufug.2015.08.004>
- [10] Strimbeck G.R., Schaberg P.G., Fossdal C.G., Schröder W.P., Kjellsen T.D. Extreme Low Temperature Tolerance in Woody Plants // *Frontiers in Plant Science*, 2015, v. 6, art. 884. <https://doi.org/10.3389/fpls.2015.00884>
- [11] Лапин П.И., Сиднева С.В. Определение перспективности растений для интродукции по данным фенологии // Бюл. ГБС АН СССР, 1988. Вып. 69. С. 14–21.
- [12] Kiehl K. Plant Species Introduction in Ecological Restoration: Possibilities and Limitations // *Basic and Applied Ecology*, 2010, v. 11, iss. 4, pp. 281–284.
DOI: <https://doi.org/10.1016/j.baae.2010.02.008>
- [13] Łopucki R., Klich D., Kitowski I., Kiersztyn A. Urban Size Effect on Biodiversity: The Need for a Conceptual Framework for the Implementation of Urban Policy for Small Cities // *Cities*, 2020, v. 98, art. 1002590.
DOI: <https://doi.org/10.1016/j.cities.2019.1002590>
- [14] Maiti R., Rodriguez H.G., Ivanova, N.S. *Autecology and Ecophysiology of Woody Shrubs and Trees: Concepts and Applications*. UK, Wiley Blackwell, 2016, 352 p.
<https://doi.org/10.1002/9781119104452>
- [15] Малаховец П.М., Тисова В.А. Декоративные деревья и кустарники на Севере. Архангельск: Арханг. гос. техн. ун-т, 2002. 127 с.
- [16] Малаховец П.М., Тисова В.А. Краткое руководство по озеленению северных городов и поселков. Архангельск: Арханг. гос. техн. ун-т, 2002. 108 с.
- [17] Наквасина Е.Н., Побирашкина Е.А. Комплексная оценка озеленительных полос вдоль транспортных магистралей г. Архангельска // *Экологические проблемы Севера: межвуз. сб. науч. тр.* Архангельск: Изд-во АГТУ, 2005. № 8. С. 93–98.
- [18] Методика фенологических наблюдений в Ботанических садах СССР // Бюл. ГБС АН СССР, 1979. Вып. 113. С. 3–8.
- [19] Малаховец П.М., Тисова В.А. Фенологические наблюдения за сезонным развитием деревьев и кустарников. Архангельск: АГТУ, 1999. 48 с.
- [20] Булыгин Н.Е. Фенологические наблюдения над древесными растениями. Л.: Наука, 1979. 97 с.
- [21] Булыгин Н.Е., Ярмишко В.Т. Дендрология. М.: МГУЛ, 2001. 528 с.
- [22] Буторова О.Ф. Интродукция растений рода *Fraxinus* в Ботаническом саду им. В.М. Крутовского // *Плодоводство, семеноводство, интродукция древесных растений*. 2021. Т. 24. С. 15–16.
- [23] Холявко В.С., Глоба-Михайленко Д.А. Дендрология и основы зеленого строительства. М.: Высш. школа, 1980. 248 с.
- [24] Лосев А.П. Практикум по агрометеорологическому обеспечению растениеводства. СПб.: Гидрометеоздат, 1994. 246 с.
- [25] Редько Г.И., Мерзленко М.Д., Бабич Н.А. Лесные культуры. В 2 ч. Часть 1: учебник для академического бакалавриата / отв. ред. Г.И. Редько. 2-е изд., испр. и доп. М.: Издательство Юрайт, 2018. 197 с.
- [26] Василевская Н.В., Морозова Д.А. Мониторинг роста и развития *Syringa josikaea* Jacq. Fil. в условиях Евро-Арктического региона (на примере г. Мурманска) // *Принципы экологии*. 2020. № 2. С. 4–16.
- [27] Козик Е.В., Сунцова Л.Н., Иншаков Е.М. Сезонное развитие древесных интродуцентов в урбозооэкосистемах // *Хвойные бореальной зоны*, 2009. Т. 26. № 2. С. 217–220.
- [28] Кищенко И.Т., Потапова М.Н. Развитие интродуцированных видов *Syringa (Oleaceae)* в условиях Карелии // *Ученые записки Петрозаводского государственного университета*. 2014. № 2 (139). С. 15–18.
- [29] Кучинская Е.А. Влияние экологических факторов на сезонный ритм развития голосеменных интродуцентов Адыгеи // *Политематический сетевой электронный научный журнал Кубанского государственного аграрного университета*, 2006. № 23. С. 303–311.
- [30] Лазарева С.М. Фенология видов рода *Picea (Pinaceae)* Ботанического сада-института // *SCI-ARTICLE.RU*, 2013. № 1. URL: <http://sci-article.ru/> (дата обращения 20.03.2021).
- [31] Видякина А.А., Семенова М.В. Фенологические наблюдения за развитием вегетативных и генеративных органов *Syringa josikaea* Jacq. в различных районах г. Тюмени // *Вестник экологии, лесоведения и ландшафтноведения*, 2009. № 9. С. 142–145.

Сведения об авторах

Сунгурова Наталья Рудольфовна[✉] — д-р с.-х. наук, доцент кафедры ландшафтной архитектуры и искусственных лесов Высшей школы естественных наук и технологий, ФГАОУ ВО «Северный (Арктический) федеральный университет имени М.В. Ломоносова» (САФУ), n.sungurova@narfu.ru

Солтани Галина Александровна — канд. с.-х. наук, вед. науч. сотр. ФГБУ «Сочинский национальный парк», soltany2004@yandex.ru

Страздаускене Светлана Рудольфовна — аспирант кафедры ландшафтной архитектуры и искусственных лесов Высшей школы естественных наук и технологий, ФГАОУ ВО «Северный (Арктический) федеральный университет имени М.В. Ломоносова» (САФУ), svsun@bk.ru

Поступила в редакцию 24.11.2022.

Одобрено после рецензирования 10.01.2023.

Принята к публикации 01.02.2023.

TREE SPECIES PHENOLOGY AT NORTHERN AND SOUTHERN BORDERS OF THEIR HABITAT UNDER CONDITIONS OF INTRODUCTION STRESS

N.R. Sungurova^{1✉}, G.A. Soltani², S.R. Strazdauskene¹

¹Northern (Arctic) Federal University named after M.V. Lomonosov, 17, Naberezhnaya Severnoy Dviny, 163002, Arkhangelsk, Russia

²FGBU «Sochi national Park», 74, Kurortny Prospekt, 354002, Sochi, Russia

n.sungurova@narfu.ru

Decorative types and varieties of trees and shrubs have long been widely used in the practice of gardening and landscape construction. Significant enrichment of the range of urban green spaces is possible due to the introduction of introduced plants. The arboretum garden is studying the possibility of growing non-district rocks in specific soil and climate conditions and selecting promising species for gardening, which will create valuable introduced objects. The processes of plant growth and phenological development are analyzed in detail. In this paper, tree and shrub species that grow on the Northern and southern borders of their introduction within the Russian Federation are selected. Observations were made in dendrological gardens in the cities of Arkhangelsk and Sochi. The phenological dates of seasonal development of these species are established and recommendations are given for the use of the studied introduced species in the urban greening system. It is established, for example, that Hungarian lilac grows successfully and bears fruit on the Northern border of introduction and has a winter hardiness score of I, while in subtropical climate this species, although it forms generative organs, has a depressed state. Western thuja in the conditions of Arkhangelsk does not bloom and does not bear fruit, it dies out in severe winters. On the southern border of its introduction, it is widely used in the urban greening system and in topiary art. The correct selection of species on the introduction site will allow you create a highly decorative, aesthetically charming, recreational-attractive, health-improving plantings.

Keywords: introduced species, gardening, phenology, observations, vegetation period, growth and development phases, tree species

Suggested citation: Sungurova N.R., Soltani G.A., Strazdauskene S.R. *Osobennosti fenologii drevesnyh vidov na sevenom i uznom predele ih arealov v usloviyah introduktsionnogo stressa* [Tree species phenology at northern and southern borders of their habitat under conditions of introduction stress]. *Lesnoy vestnik / Forestry Bulletin*, 2023, vol. 27, no. 2, pp. 49–58. DOI: 10.18698/2542-1468-2023-2-49-58

References

- [1] Babich N.A., Zalyvskaya O.S., Travnikova G.I. *Introducenty v zelyonom stroitel'stve severnykh gorodov* [The exotic species in green building in Northern cities]. Arkhangelsk: AGTU, 2008, 144 p.
- [2] Ivanova E.E., Bibich N.A. Evaluation of main parameters for the growth model of pine crops in the european north of Russia // *Journal of Agriculture and Environment*, 2022, no. 1 (21), at. no. 12.
- [3] Barrio I.C., Hik D.S. Herbivory in Arctic Ecosystems. *Encyclopedia of the World's biomes*. Oxford, Elsevier, 2020, pp. 446–456. DOI: <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-409548-9.11791-9>
- [4] Duan M., House J., Chang S.X. Understory Plant Communities Vary with Tree Productivity in Two Reclaimed Boreal Upland Forest Types in Canada. *Forest Ecology and Management*, 2019, v. 453, art. 117577. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.foreco.2019.117577>

- [5] Cowett F., Bassuk N. Street Tree Diversity in Three Northeastern U.S. States. *Arboriculture & Urban Forestry*, 2017, v. 43, iss. 1, pp. 1–14. <https://doi.org/10.48044/jauf.2017.001>
- [6] Dover J.W. Introduction to Urban Sustainability Issues: Urban Ecosystem. *Nature Based Strategies for Urban and Building Sustainability*. Eds. G. Pérez, K. Perini. Butterworth-Heinemann, 2018, pp. 3–15. DOI: <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-812150-4.00001-X>
- [7] Ghafari S., Kaviani B., Sedaghatoor Sh., Allahyari M.S. Ecological Potentials of Trees, Shrubs and Hedge Species for Urban Green Spaces by Multi Criteria Decision Making. *Urban Forestry & Urban Greening*, 2020, v. 55, art. 126824. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.ufug.2020.126824>
- [8] Hedayat K.M., Lapraz J.-C. Chapter 16 – Introduction to the Usage of Medicinal Plants. *The Theory of Endobiogeny. Vol. 1: Global Systems Thinking and Biological Modeling for Clinical Medicine*. Academic Press, 2019, pp. 255–266. DOI: <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-816903-2.00016-1>
- [9] Sjöman H., Hiron A.D., Bassuk N.L. Urban Forest Resilience through Tree Selection – Variation in Drought Tolerance in Acer. *Urban Forestry & Urban Greening*, 2015, v. 14, iss. 4, pp. 858–865. <https://doi.org/10.1016/j.ufug.2015.08.004>
- [10] Strimbeck G.R., Schaberg P.G., Fosdall C.G., Schröder W.P., Kjellsen T.D. Extreme Low Temperature Tolerance in Woody Plants. *Frontiers in Plant Science*, 2015, v. 6, art. 884. <https://doi.org/10.3389/fpls.2015.00884>
- [11] Lapin P.I., Sidneva S.V. *Opredelenie perspektivnosti rasteniy dlya introduksii po dannym fenologii* [Determining the prospects of plants for introduction according to the data of phenology]. *Byulleten' Glavnogo botanicheskogo sada* [Bulletin of the Main Botanical Garden], 1988, v. 69, pp. 14–21.
- [12] Kiehl K. Plant Species Introduction in Ecological Restoration: Possibilities and Limitations. *Basic and Applied Ecology*, 2010, v. 11, iss. 4, pp. 281–284. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.baae.2010.02.008>
- [13] Łopucki R., Klich D., Kitowski I., Kiersztyn A. Urban Size Effect on Biodiversity: The Need for a Conceptual Framework for the Implementation of Urban Policy for Small Cities. *Cities*, 2020, v. 98, art. 1002590. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.cities.2019.102590>
- [14] Maiti R., Rodriguez H.G., Ivanova, N.S. *Autoecology and Ecophysiology of Woody Shrubs and Trees: Concepts and Applications*. UK, Wiley Blackwell, 2016, 352 p. <https://doi.org/10.1002/9781119104452>
- [15] Malahovec P.M., Tisova V.A. *Dekorativnye derev'ya i kustarniki na Severe* [Decorative trees and shrubs in the North]. Arhangelsk, 2002, p. 127.
- [16] Malahovec P.M., Tisova V.A. *Kratkoe rukovodstvo po ozeleneniyu severnykh gorodov i poselkov* [Brief guide to greening Northern cities and towns]. Arhangelsk, 2002, p. 108.
- [17] Nakvasina E.N., Pobirashkina E.A. *Kompleksnaya otsenka ozelenitel'nykh polos vdol' transportnykh magistraley g. Arkhangel'ska* [Comprehensive assessment of landscaping strips along the transport highways of Arkhangelsk]. *Ekologicheskie problemy Severa: mezhvuz. sb. nauch. tr.* [Ecological problems of the North: interuniversity collection of scientific proceedings] Arhangel'sk: Izd-vo AGTU, 2005, no. 8, pp. 93–98.
- [18] *Metodika fenologicheskikh nablyudeniy v Botanicheskikh sadakh SSSR* [Methods of Phenological Observations in the Botanical Gardens of the USSR]. *Byull. GBS AN SSSR*, 1979, v. 113, pp. 3–8.
- [19] Malakhovets P.M., Tisova V.A. *Fenologicheskie nablyudeniya za sezonnym razvitiem derev'ev i kustarnikov* [Phenological observations of seasonal development of trees and shrubs]. Arhangelsk: AGTU, 1999, 48 p.
- [20] Bulygin N.E. *Fenologicheskie nablyudeniya nad drevesnymi rasteniyami* [Phenological observations on woody plants]. Leningrad: Nauka, 1979, 97 p.
- [21] Bulygin N.E., Yarmishko V.T. *Dendrologiya* [Dendrology]. Moscow: MSFU, 2001, 528 p.
- [22] Butorova O.F. *Introduktsiya rasteniy roda Fraxinus v Botanicheskom sadu im. V.M. Krutovskogo* [Introduction of plants of the genus Fraxinus in the Botanical Garden V.M. Krutovskiy]. *Plodovodstvo, semenovodstvo, introduktsiya drevesnykh rasteniy* [Fruit growing, seed production, introduction of woody plants], 2021, v. 24, pp. 15–16.
- [23] Kholyavko V.S., Globa-Mikhaylenko D.A. *Dendrologiya i osnovy zelenogo stroitel'stva* [Dendrology and fundamentals of green construction]. Moscow: Vyssh. shkola, 1980, 248 p.
- [24] Losev A.P. *Praktikum po agrometeorologicheskomu obespecheniyu rastenievodstva* [Practicum on agrometeorological support of crop production]. St. Petersburg: Gidrometeoizdat, 1994, 246 p.
- [25] Red'ko G.I., Merzlenko M.D., Babich N.A., Danilov Yu.I. *Lesnye kul'tury i zashchitnoe lesorazvedenie* [Forest cultures and protective afforestation]. Moscow: Akademiya, 2008, 400 p.
- [26] Vasilevskaya N.V., Morozova D.A. *Monitoring rosta i razvitiya Syringa josikaea Jacq. Fil. v usloviyakh Evro-Arkticheskogo regiona (na primere g. Murmanska)* [Monitoring of growth and development of Syringa josikaea Jacq. Fil. in the conditions of the Euro-Arctic region (on the example of Murmansk)]. *Principy ekologii*, 2020, no. 2, pp. 4–16.
- [27] Kozik E.V., Suntsova L.N., Inshakov E.M. *Sezonnoe razvitie drevesnykh introdutsentov v urboekosistemakh* [Seasonal development of wood introducents in urban ecosystems]. *Khvoynye boreal'noy zony* [Coniferous boreal zone]. 2009, t. 26, no. 2, pp. 217–220.
- [28] Kishchenko I.T., Potapova M.N. *Razvitie introdutsirovannykh vidov Syringa (Oleaceae) v usloviyakh Karelii* [Development of introduced Syringa (Oleaceae) species in Karelia]. *Uchenye zapiski Petrozavodskogo gosudarstvennogo universiteta* [Uchenye zapiski Petrozavodskogo gosudarstvennogo universiteta], 2014, no. 2 (139), pp. 1518.
- [29] Kuchinskaya E.A. *Vliyanie ekologicheskikh faktorov na sezonnyy ritm razvitiya golosemnykh introdutsentov Adygei* [Influence of environmental factors on the seasonal rhythm of development of gymnosperms introduced in Adygea]. *Politematicheskii setevoy elektronnyy nauchnyy zhurnal Kubanskogo gosudarstvennogo agrarnogo universiteta* [Polythematic network electronic scientific journal of the Kuban State Agrarian University]. 2006, no. 23, pp. 303–311.
- [30] Lazareva S.M. *Fenologiya vidov roda Picea (Pinaceae) Botanicheskogo sada-instituta* [Phenology of species of the genus Picea (Pinaceae) Botanic Garden-Institute]. *SCI-ARTICLE.RU*, 2013, no. 1. Available at: <http://sci-article.ru/> (accessed 20.03.2021).

- [31] Vidyakina A.A., Semenova M.V. *Fenologicheskie nablyudeniya za razvitiem vegetativnykh i generativnykh organov Syringa josikaea Jacq. v razlichnykh rayonakh g. Tyumeni* [Phenological observations of the development of vegetative and generative organs *Syringa josikaea* Jacq. in various districts of Tyumen]. *Vestnik ekologii, lesovedeniya i landshaftnovedeniya* [Bulletin of Ecology, Forest Science and Landscape Science], 2009, no. 9, pp. 142–145.

Authors' information

Sungurova Natal'ya Rudol'fovna [✉] — Dr. Sci. (Agriculture), Associate Professor of the Northern (Arctic) Federal University named after M.V. Lomonosov, n.sungurova@narfu.ru

Soltani Galina Aleksandrovna — Cand. Sci. (Biology), Senior Researcher of the Sochi national Park, soltany2004@yandex.ru

Strazdauskene Svetlana Rudol'fovna — pg. of the Northern (Arctic) Federal University named after M.V. Lomonosov, svsun@bk.ru

Received 24.11.2022.

Approved after review 10.01.2023.

Accepted for publication 01.02.2023.

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

САНИТАРНОЕ И ЛЕСОПАТОЛОГИЧЕСКОЕ СОСТОЯНИЕ ХВОЙНО-ШИРОКОЛИСТВЕННЫХ (СМЕШАННЫХ) ЛЕСОВ КАЛИНИНГРАДСКОЙ ОБЛАСТИ

С.В. Бутока[✉], Л.Н. Скрыпник

ФГБОУ ВО «Балтийский федеральный университет имени Иммануила Канта», Россия, 236041, Калининградская обл., г. Калининград, ул. Александра Невского, д. 14

stas-ek@mail.ru

Приведены данные мониторинга санитарно-лесопатологического состояния лесного фонда Калининградской обл. Рассмотрено влияние на санитарно-лесопатологическое состояние насаждений за период с 2019 по 2021 гг. таких основных факторов, как лесные пожары, неблагоприятные погодные и почвенно-климатические условия, распределение очагов вредителей и болезней, а также влияние антропогенных и непатогенных факторов. Проанализирована возможная угроза лесным насаждениям, исходящая от перечисленных факторов. Определены основные причины гибели насаждений лесного фонда Калининградской обл. — негативные погодные и почвенно-климатические условия (70 % общей площади поврежденных насаждений) и болезни. Представлены материалы распределения лесного фонда соответственно по площадям с ослаблением и гибелью насаждений, очагам вредителей и болезней. Установлен основной вид насекомого-вредителя — это короед-типограф (*Ips typographus*). Зафиксировано отсутствие насекомых — вредителей леса, занесенных в Красную книгу Российской Федерации и Красную книгу Калининградской обл. и отнесенных к карантинным видам. Дан анализ воздействию негативных факторов, вызывающих ослабление (усыхание) насаждений лесного фонда Калининградской обл. Рекомендуются проведение лесопатологического мониторинга и санитарно-оздоровительных мероприятий, выполнение мелиоративных работ, усиление контроля за сроками и качеством проведения лесозащитных мероприятий, и в особенности санитарных рубок, со стороны органа исполнительной власти субъекта и подведомственных ему учреждений.

Ключевые слова: мониторинг санитарно-лесопатологического состояния, лесные пожары, погодные и почвенно-климатические факторы, очаги вредителей и болезней леса, антропогенные факторы, непатогенные факторы

Ссылка для цитирования: Бутока С.В., Скрыпник Л.Н. Санитарное и лесопатологическое состояние хвойно-широколиственных (смешанных) лесов Калининградской области // Лесной вестник / Forestry Bulletin, 2023. Т. 27. № 2. С. 59–66. DOI: 10.18698/2542-1468-2023-2-59-66

Леса являются не только важной составляющей жизнедеятельности общества, источником энергии, строительных материалов и продуктов питания [1], но и неотъемлемым компонентом окружающей природной среды, несущим в себе функции хранения углерода, сохранения биоразнообразия и регулирования климата [2–4]. Определение состояния леса предусматривает проведение утилитарных и экосистемных мер оценки функций леса в различных пространственных масштабах [5, 6]. Согласно исследованиям [7, 8] леса частично адаптировались к воздействию негативных факторов, однако в настоящее время они сталкиваются с новыми стрессами, в частности с изменением климата, загрязнением атмосферного воздуха и инвазивными вредителями [9, 10]. Важной причиной изменений, происходящих в окружающей природной среде, является распределение очагов насекомых-вредителей и связанные с ними вспышки инфекционных болезней деревьев. Это приводит к потере лесных площадей [11].

Следовательно, понимание и своевременное устранение угроз лесным ресурсам имеет большое социально-экономическое, эстетическое и природоохранное значение [12]. Для поддержания, восстановления и сохранения жизнеспособности и устойчивости лесов необходимо собирать информацию о санитарном и лесопатологическом состоянии лесов [13–15].

Воздействие биотических и абиотических факторов на леса усиливает современное изменение климата [16], которое может привести к увеличению темпов роста лесных насаждений и изменить продуктивность лесных экосистем, повлияет на характер видового распределения, уровень смертности видов и их взаимодействие [17, 18]. В результате усилится негативное воздействия комплекса таких неблагоприятных факторов, как лесные пожары, аномальные погодные явления и изменения почвенно-климатических условий, распределение очагов вредителей и болезней леса, а также антропогенных факторов и др. [19]. Выявление последствий этих стрессов для развития лесов составляет важную научную задачу разработки системы оценивания состояния лесов на региональном и глобальном уровнях [20–25].

Цель работы

Цель работы — изучение санитарного и лесопатологического состояния лесных насаждений и определение возможных угроз лесному фонду Калининградской обл.

Материалы и методы исследования

Основой для проведения настоящего исследования послужили данные, полученные в ходе полевых работ в период с 2019 по 2021 гг. в лесном фонде Калининградской обл., который в настоящее время составляет 270,6 тыс. га, в том числе лесопокрытая площадь — 236,5 тыс. га, лесистость — 18,7 % [26]. В ходе полевых работ была заложена биоиндикационная сеть постоянных пунктов регистрации по лесничествам с учетом основных страт (рис. 1).

При оценке санитарного и лесопатологического состояния использовали методику организации и проведения работ по мониторингу лесов европейской части России по программе ICP Forests (методика Европейской экономической комиссии ООН — ЕЭК ООН) [27].

Исследования по мониторингу санитарного и лесопатологического состояния лесов на территории лесничеств Калининградской обл. проводились ежегодно в III квартале (июль–август) до начала естественного листопада и сезонной дехромации листвы, по возможности, в один и тот же период. Обследование всех экспериментальных участков было организовано таким образом, чтобы период исследований отдельных участков составлял не более двух недель. Для более точной оценки изменений санитарного и лесопатологического состояния натурные работы проводились в одинаковой очередности.

Выбор местоположения пунктов постоянного наблюдения (ППН), включающий в себя их привязку к местности и закладку, осуществлялся с соблюдением следующих правил. Пункт должен был располагаться на пересечении координат так называемой биоиндикаторной сети на расстоянии не более 500 м от данного пересечения, но не ближе 30 м от края таксационного выдела. Привязка ППН проводилась к однозначно фиксируемым лесным ориентирам (например, квартальным столбам или просекам). Местоположение ориентиров замеряли дальномером, а место, от которого замеряли расстояние, обозначали краской при обязательной отметке векторного направления. В полевой карточке регистрировали положение ориентира, отмечая расстояние до ППН и азимут. При отсутствии модельного дерева в центре ППН вкапывали столб для возможности последующего обнаружения при повторных исследованиях.

На ППН закладывали четыре учетные точки (УТ) в соответствии с розой ветров на расстоянии 20 м от центрального дерева, которым присваивался соответствующий номер учетной точки: 1-С (север), 2-В (восток), 3-Ю (юг), 4-З (запад). В середине точки учета вкапывали кол определенной высоты. Дальномером высокой точности измеряли расстояние от центра УТ до центра диаметра стволовой части первого и шестого деревьев учета. Модельные деревья в количестве шести штук на каждой из четырех УТ представляли собой деревья удовлетворительной жизнеспособности первого яруса 1-го, 2-го и 3-го классов развития по Крафту. Суммарное число модельных деревьев в каждой ППН составляло 24 шт. На деревьях в числителе указывали краской номер дерева учета (1–6), в знаменателе номер УТ (1–4). Для деревьев высотой ниже 15 см проводили специальную маркировку полосами, количество и ширина которых зависели от номера модельного дерева. Деревья с диаметром ствола менее 15 см отмечали бирками с порядковым номером. В случае если на следующий год исследований была выявлена потеря устойчивости дерева или оно было вырублено, для исследований выбирали новые деревья, присваивая им номера нарастающим порядком.

При проведении исследований фиксировали размеры дерева и выполняли описание модельных деревьев, указывая в карточке-макете их основные показатели. Если в результате натурных исследований деревья были определены как «угнетенные или сильно остолбленные» (4-й класс по Крафту) или как «усыхающие или полностью угнетенные» (5-й класс по Крафту), то при новом учете их исключали из списка мониторинга. Основными критериями оценки санитарного состояния кроны деревьев в ППН служили степень опадения листвы и хвои (дефолиация) и изменение их окраса (дехромация). Результаты натурных исследований были обработаны и представлены в форме таблиц, рисунков и карт. Построение карт проводили в программе QGIS-Documentation [27].

Результаты и обсуждение

Проведение мониторинга санитарного и лесопатологического состояния лесного фонда позволило установить, что особенности климатического и гидрологического режимов и некоторые неблагоприятные факторы оказали негативное влияние на насаждения лесного фонда Калининградской обл.

По данным рис. 2 видно, что за период наблюдений 2019–2021 гг. была выявлена годичная последовательность изменений общей площади насаждений с нарушенной и утраченной устойчивостью установлена динамика изменения площадей по основным негативным факторам,

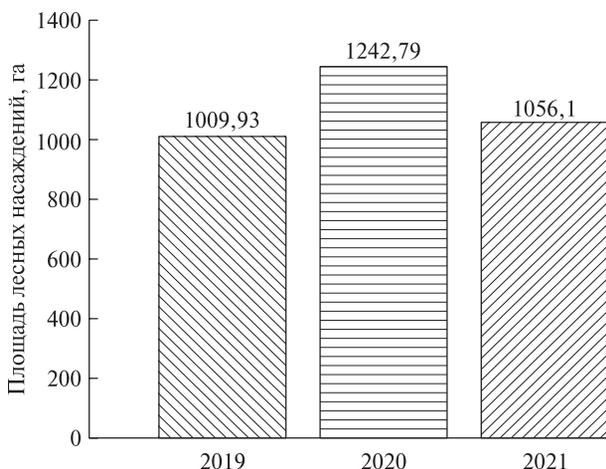


Рис. 2. Площадь лесных насаждений Калининградской обл. с неудовлетворительным санитарным состоянием за период 2019–2021 гг.

Fig. 2. Change in the area of forest plantations in the Kaliningrad region, characterized by unsatisfactory sanitary conditions, for the period 2019–2021

оказывающим воздействие на санитарное и лесопатологическое состояние насаждений. Показатель общей площади насаждений, утративших устойчивость в 2021 г. (1056,01 га) уменьшился на 4,4 % относительно 2019 г. (1009,93 га).

По результатам проведенных в 2019 г. исследований установлена общая площадь лесных насаждений, характеризующихся нарушенной и утраченной устойчивостью — 1009,93 га. Основными причинами ослабления, частичной или полной гибели лесных насаждений региона служили неблагоприятные погодные явления, изменения почвенно-климатических условий и болезни леса. Доля площади угнетенных лесных насаждений под действием аномальных погодных явлений и почвенно-климатических факторов увеличилась в 2019 г. на 30,36 %. Площадь насаждений, поврежденных болезнями, в 2019 г. составила 211,60 га. Очагов карантинных и инвазивных видов вредителей на территории Калининградской обл. в 2019 г. не зарегистрировано.

Общая выявленная площадь лесных насаждений, характеризующихся нарушенной и утраченной устойчивостью на территории Калининградской обл., по результатам проведенных исследований за 2020 г., составила 1242,79 га. По сравнению с 2019 г. площадь усыхающих насаждений увеличилась на 232,86 га (23,05 %), а площадь погибших насаждений — на 4,36 га (19,50 %). Такое увеличение не является следствием негативного воздействия каких-либо отдельных факторов окружающей среды, а вызвано комплексом причин и соответствует нормальному состоянию устойчивой экосистемы, для которой характерны колебания численности биологических видов. По сравнению с 2019 г. соотношение

указанных выше показателей практически не изменилось. Аномальные погодные явления и изменения почвенно-климатических факторов, а также болезни леса стали основными причинами ослабления и гибели лесных насаждений региона. Влияние неблагоприятных погодных явлений и почвенно-климатических факторов увеличилось в 2020 г. на 36,40 % по сравнению с 2019 г. Площади, оказавшиеся в сфере этого влияния, составили 933,27 га, а в 2020 г. площади насаждений, поврежденных болезнями, составили 180,40 га (показатель снизился на 14,74 % по сравнению с 2019 г.). Очагов карантинных и инвазивных видов вредителей на территории Калининградской обл. в 2020 г., как и в 2019 г., не зарегистрировано.

По результатам проведенных исследований за 2021 г. выявленная общая площадь насаждений с нарушенной и утраченной устойчивостью на территории Калининградской области составила 1056,01 га, данный показатель уменьшился на 15 % от площади данного показателя в 2020 г., а площадь погибших насаждений уменьшилась на 8,28 га (8,73 %). По сравнению с 2020 г. соотношение причин ослабления и гибели лесных насаждений практически не изменилось. Основные причины ослабления и гибели лесных насаждений региона — это неблагоприятные погодные явления и изменения почвенно-климатических факторов, наличие болезней леса. Влияние аномальных погодных явлений и изменения почвенно-климатических условий в 2021 г. уменьшилось на 15 % по сравнению с 2020 г., площади, оказавшиеся в сфере влияния этих факторов, составили 792,61 га — площадь насаждений, поврежденных болезнями, в 2021 г. составила 152,80 га (показатель снизился на 15,3 % по сравнению с 2020 г.). Очагов карантинных и инвазивных видов вредителей на территории Калининградской обл. в 2021 г., как и в 2020 г., не зарегистрировано.

Период 2019–2022 г. характеризуется сильным пагубным влиянием неблагоприятных факторов на санитарное состояние древостоя Калининградской обл. Основные причины ослабления и гибели лесных насаждений региона — это аномальные погодные явления, изменение почвенно-климатических условий и болезни леса, усилившиеся в 2021 г. на 13,6 % по сравнению с 2019 годом (684,21 га) и составившие 792,61 га (рис. 3).

Площадь поврежденных болезнями насаждений в 2021 г. составила 152,80 га (показатель снизился на 27,9 % по сравнению с 2019 г.). Очагов карантинных и инвазивных видов вредителей на территории Калининградской обл. в 2021 г., как и в 2019 г., не зарегистрировано. Установлена динамика изменения площадей, как в общем, так и по основным факторам, регулирующим устойчивость (рис. 4).

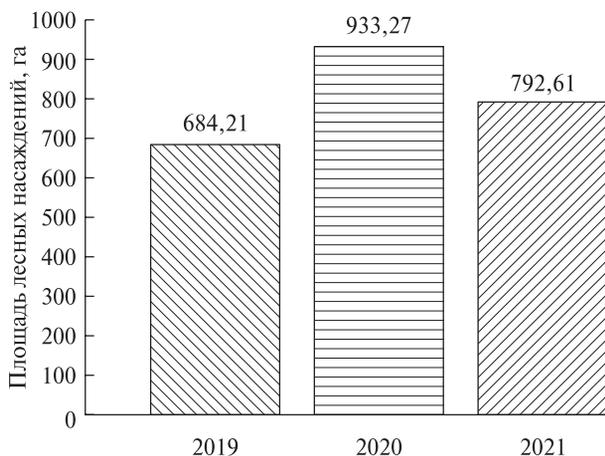


Рис. 3. Площадь лесных насаждений Калининградской обл., с неудовлетворительным санитарным состоянием вследствие неблагоприятных погодных явлений и изменения почвенно-климатических условий, за период 2019–2021 гг.

Fig. 3. Change in the area of forest plantations in the Kaliningrad region, characterized by poor sanitary conditions due to adverse weather conditions and soil and climatic factors, for the period 2019–2021

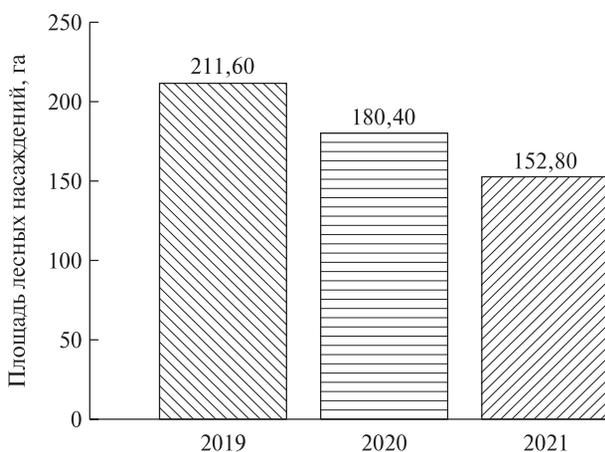


Рис. 4. Площадь лесных насаждений Калининградской обл., с неудовлетворительным санитарным состоянием вследствие болезней за период 2019–2021 гг.

Fig. 4. Change in the area of forest plantations in the Kaliningrad region, characterized by poor sanitary conditions due to forest diseases, for the period 2019–2021

Исследование состояния лесов представляет собой одну из актуальных и очевидных задач для определения их жизнеспособности и сохранения ресурсного и экологического потенциала, повышения продуктивности и устойчивости древесных насаждений [28–31].

Леса имеют исключительно широкий спектр древесно-кустарниковой растительности разных лесоводственно-таксационных характеристик, ежегодно подвергаются воздействию комплекса неблагоприятных факторов абиотического и биотического характера, что приводит к ослаблению и гибели деревьев. В насаждениях повышается

отпад (патологический) и ухудшается санитарное состояние, поэтому для своевременного выявления и предотвращения потенциальной угрозы в дальнейшем необходимо проводить мониторинг санитарного и лесопатологического состояния насаждений [32]. Проведение исследований необходимо для управления лесами и разработки рекомендаций по экологии [33].

Выводы

За период наблюдений 2019–2021 гг. установлены основные причины ослабления (усыхания) насаждений на территории государственного лесного фонда Калининградской обл., в частности, аномальные погодные явления, изменения почвенно-климатических условий и болезни леса, наличие основного стволового вредителя — короеда-типографа (*Ips typographus* L.).

Максимальная площадь с поврежденными и погибшими насаждениями, очагами вредителей и болезней леса в регионе зарегистрирована в 2019 г. При этом зафиксировано снижение площадей с насаждениями, утратившими устойчивость к 2021 г.

По полученным данным, в последующие после изученного периода годы, резкого ухудшения состояния лесных насаждений области не ожидается, за исключением увеличения площади поврежденных насаждений вследствие воздействия аномальных погодных явлений и изменения почвенно-климатических условий.

Список литературы

- [1] Edmonds R.L., Agee J.K., Gara R.I. Forest Health and Protection. New York, USA: McGraw-Hill, 2000, 630 p.
- [2] Gauthier S., Bernier P., Kuuluvainen T., Shvidenko A., Schepaschenko D. Boreal forest health and global change // Science, 2015, v. 349, iss. 6250, pp. 819–822.
- [3] Lewis S., Edwards D., Galbraith D. Increasing human dominance of tropical forests // Science, 2015, v. 349, iss. 6250, pp. 827–832.
- [4] Millar C.I., Stephenson, N.L. Temperate forest health in an era of emerging megadisturbance // Science, 2015, v. 349, iss. 6250, pp. 823–826.
- [5] Canadell J.G., Raupach M.R. Managing forests for climate change mitigation // Science, 2008, v. 320, pp. 1456–1457.
- [6] Streck C., Scholz S. The role of forests in global climate change: Whence we come and where we go // International Affairs, 2006, v. 82(5), pp. 861–879. DOI: <https://doi.org/10.1111/j.1468-2346.2006.00575.x>
- [7] Pautasso M., Schlegel M., Holdenrieder O. Forest Health in a Changing World // Microbial Ecology, 2015, v. 69(4), pp. 826–842.
- [8] Sturrock R. N., Frankelb S. J., Brown A. V. Climate change and forest diseases // Plant Pathology, 2011, v. 60(1), pp. 133–149.
- [9] Ghazoul J. Forests: A Very Short Introduction. Oxford, UK: Oxford University Press, 2015, 150 p.
- [10] Le Roux D., Ikin K., Lindenmayer D. Single large or several small? Applying biogeographic principles to tree-level conservation and biodiversity offsets // Biological Conservation, 2015, v. 191, pp. 558–566.

- [11] Wingfield M., Brockerhoff E., Wingfield B., Slippers B. Planted forest health: The need for a global strategy // *Science*, 2015, v. 349, iss. 6250, pp. 832–836.
- [12] Boyd I.L., Freer-Smith P.H., Gilligan C.A. The consequence of tree pests and diseases for ecosystem services // *Science*, 2013, v. 342, p. 1235773.
- [13] Кубасов А.В., Гаврилина О.М., Гурский А.А. Общая оценка санитарного и лесопатологического состояния лесных насаждений департамента лесного хозяйства Оренбургской области // *Известия Оренбургского государственного аграрного университета*, 2010. № 3(27). С. 34–37.
- [14] Thomsen I.M. Precipitation and temperature as factors in *Gremmeniella abietina* epidemics // *Forest Pathology*, 2009, v. 39, pp. 56–72.
- [15] Woods A., Coates K., Hamann A. Is an unprecedented dothistroma needle blight epidemic related to climate change? // *BioScience*, 2005, v. 55, pp. 761–769. DOI:10.1641/0006-3568(2005)055[0761:IAUDNB]2.0.CO;2
- [16] Linnakoski R., Forbes K. Pathogens – The Hidden Face of Forest Invasions by Wood-Boring Insect Pests // *Frontiers in Plant Science*, 2019, no. 10, no. at. 90. DOI: <https://doi.org/10.3389/fpls.2019.00090>
- [17] Britton K.O., Liebhold A.M. One world, many pathogens! // *New Phytol*, 2013, v. 197, pp. 9–10. DOI: 10.1111/nph.12053
- [18] Pautasso M., Aas G., Queloz V., Holdenrieder O. European ash (*Fraxinus excelsior*) dieback — A conservation biology challenge // *Biological Conservation*, 2013, v. 158, pp. 37–49. DOI:10.1016/j.biocon.2012.08.026
- [19] Jepsen J., Kapari L., Hagen S. Rapid northwards expansion of a forest insect pest attributed to spring phenology matching with sub-Arctic birch // *Global Change Biology*, 2011, v. 17, pp. 2071–2083. DOI: 10.1111/j.1365-2486.2010.02370.x
- [20] Adams H., Guardiola-Claramonte M., Barron-Gaord G., Villegas J., Breshears D., Zou C., Troch P., Huxman T. Temperature sensitivity of drought-induced tree mortality portends increased regional die-off under global-change-type drought // *Proc. Natl. Acad. Sci. USA*, 2009, v. 106, pp. 7063–7066. DOI: 10.1073/pnas.0901438106
- [21] Allen C., Macalady A., Chenchouni H., Bachelet D. A global overview of drought and heat-induced tree mortality reveals emerging climate change risks for forests // *Forest Ecology and Management*, 2010, v. 259, pp. 660–684. DOI:10.1016/j.foreco.2009.09.001
- [22] McDowell N., Beerling D., Breshears D., Fisher R.A., Raffa K., Stitt M. The interdependence of mechanisms underlying climate-driven vegetation mortality // *Trends Ecol. Evol.*, 2011, v. 26, pp. 523–532. DOI: 10.1016/j.tree.2011.06.003
- [23] Pautasso M. Forest ecosystems and global change: The case study of Insubria // *Annali di Botanica*, 2013, v. 3, pp. 1–29. DOI:10.4462/annbotrm-10092
- [24] Trumbore S., Brando P., Hartmann H. Forest health and global change // *Science*, 2015, v. 349, iss. 6250, pp. 814–818. DOI: 10.1126/science.aac6759
- [25] Ikegami M., Jenkins T. Estimate global risks of a forest disease under current and future climates using species distribution model and simple thermal model—pine wilt disease as a model case // *For. Ecol. Manag.*, 2018, v. 409, pp. 343–352. DOI:10.1016/j.foreco.2017.11.005
- [26] Обзор санитарного и лесопатологического состояния лесов Калининградской области и прогноз лесопатологической ситуации. Калининград: Изд-во Филиала ФБУ «Рослесозащита» — «ЦЗЛ Калининградской области», 2019. 134 с.
- [27] Методика организации и проведения работ по мониторингу лесов европейской части России по программе ICP Forests (методика ЕЭК ООН). М.: Изд-во Федеральной службы лесного хозяйства России, 1995. 39 с.
- [28] László R. Researches of forestry sanitary in the region of Ivan // *Eurasian Forests — Serbian Forests: Materials of the XVIII International Conference of Young Scientists, dedicated to the academician Prof. Žarko Miletić (1891–1968)*. Belgrade: University of Belgrade Faculty of Forestry, 2019. pp. 227–228.
- [29] Стороженко В.Г., Чеботарев П.А., Чеботарева В.В. Структура древостоев естественного формирования на вырубках дубовых лесов XIX в. (Филиал Теллермановское опытное лесничество ИЛАН РАН) // *Лесной вестник / Forestry Bulletin*, 2021. Т. 25. № 3. С. 14–23. DOI: 10.18698/2542-1468-2021-3-14-23
- [30] Кищенко И.Т. Рост и развитие интродуцированных видов *Larix Mill.* в таежной зоне (Карелия) // *Журнал Сибирского федерального университета. Серия: Биология*, 2021. Т. 14. № 1. С. 61–83.
- [31] Волокитина А.В., Софронова Т.М., Корец М.А. Контролирование пожаров растительности на особо охраняемых природных территориях // *География и природные ресурсы*, 2019. № S5 (159). С. 59–65.
- [32] Приказ от 5 апреля 2017 года № 156 Об утверждении Порядка осуществления государственного лесопатологического мониторинга. URL: <http://docs.cntd.ru/document/456058836> (дата обращения 20.12.2021).
- [33] Экологические аспекты глобального взаимодействия живых систем / под ред. М.В. Даниловой. Калининград: Изд-во БФУ им. И. Канта, 2020. 67 с.

Сведения об авторах

Бутока Станислав Веславович  — аспирант института живых систем, БФУ им. И. Канта, stas-ek@mail.ru

Скрыпник Любовь Николаевна — канд. биол. наук, доцент института живых систем, БФУ им. И. Канта, LSkrypnik@kantiana.ru

Поступила в редакцию 23.11.2022.

Одобрено после рецензирования 10.01.2023.

Принята к публикации 12.01.2023.

SANITARY AND FOREST PATHOLOGY STATE OF CONIFEROUS-BROAD-LEAVED (MIXED) STANDS IN KALININGRAD REGION

S.V. Butoka✉, L.N. Skrypnik

IKBFUI Kant, 14, Aleksandr Nevsky st., 236041, Kaliningrad, Kaliningrad reg., Russia

stas-ek@mail.ru

The monitoring data of the sanitary and forest pathology state of the forest resources in the Kaliningrad region are presented. The influence of such main factors on the sanitary and forest pathology state of stands for the period from 2019 to 2021 is considered, namely forest fires, unfavorable weather and soil-climatic conditions, the distribution of pests and diseases foci, as well as anthropogenic and non-pathogenic factors. Their threat to forest plantations is analyzed. The main reasons for the plantations death of the forest fund of the Kaliningrad region are highlighted, they are negative weather and soil-climatic conditions (70 % of the total damaged area) and diseases. The results of the distribution of the forest fund areas for reasons with the established weakening and destruction of plantations, the distribution of pests and diseases foci are presented. The main species of insect pest — typographer bark beetle (*Ips typographus*) — has been determined. The absence of insects — forest pests, listed in the Red Data Books of the Russian Federation and the Kaliningrad region, and classified as quarantine species — was recorded. The impact of negative factors causing the weakening (drying out) of forest plantations in the Kaliningrad region has been analyzed, it is recommended to conduct forest pathological monitoring, sanitary and recreational activities, perform reclamation work, strengthen control over the timing and quality of forest protection measures, and in particular sanitary cuttings, by the authority executive power of the subject and its subordinate institutions.

Keywords: monitoring of sanitary and forest pathological state, forest fires, weather and soil-climatic factors, foci of forest pests and diseases, anthropogenic factors, non-pathogenic factors

Suggested citation: Butoka S.V., Skrypnik L.N. *Sanitarnoe i lesopatologicheskoe sostoyanie khvoynno-shirokolistvennykh (smeshannykh) lesov Kaliningradskoy oblasti* [Sanitary and forest pathology state of coniferous-broad-leaved (mixed) stands in Kaliningrad region]. *Lesnoy vestnik / Forestry Bulletin*, 2023, vol. 27, no. 2, pp. 59–66. DOI: 10.18698/2542-1468-2023-2-59-66

References

- [1] Edmonds R.L., Agee J.K., Gara R.I. *Forest Health and Protection*. New York, USA: McGraw-Hill, 2000, 630 p.
- [2] Gauthier S., Bernier P., Kuuluvainen T., Shvidenko A.Z., Schepaschenko D.G. Boreal forest health and global change. *Science*, 2015, v. 349, iss. 6250, pp. 819–822.
- [3] Lewis S.L., Edwards D.P., Galbraith D. Increasing human dominance of tropical forests. *Science*, 2015, v. 349, iss. 6250, pp. 827–832.
- [4] Millar C.I.; Stephenson, N.L. Temperate forest health in an era of emerging megadisturbance. *Science*, 2015, v. 349, iss. 6250, pp. 823–826.
- [5] Canadell J.G.; Raupach M.R. Managing forests for climate change mitigation. *Science*, 2008, v. 320, pp. 1456–1457.
- [6] Streck C., Scholz S.M. The role of forests in global climate change: Whence we come and where we go. *International Affairs*, 2006, v. 82(5), pp. 861–879. DOI: <https://doi.org/10.1111/j.1468-2346.2006.00575.x>
- [7] Pautasso M., Schlegel M., Holdenrieder O. Forest Health in a Changing World. *Microbial Ecology*, 2015, v. 69(4), pp. 826–842.
- [8] Sturrocka R. N., Frankelb S. J., Brownc A. V. Climate change and forest diseases. *Plant Pathology*, 2011, v. 60(1), pp. 133–149.
- [9] Ghazoul J. *Forests: A Very Short Introduction*. Oxford, UK: Oxford University Press, 2015, 150 p.
- [10] Le Roux D.S., Ikin K., Lindenmayer D.B. Single large or several small? Applying biogeographic principles to tree-level conservation and biodiversity offsets. *Biological Conservation*, 2015, v. 191, pp. 558–566.
- [11] Wingfield M. J., Brockerhoff E. G., Wingfield B. D., Slippers B. Planted forest health: The need for a global strategy. *Science*, 2015, v. 349, iss. 6250, pp. 832–836.
- [12] Boyd I.L., Freer-Smith P.H., Gilligan C.A. The consequence of tree pests and diseases for ecosystem services. *Science*, 2013, v. 342, p. 1235773.
- [13] Kubasov A.V., Gavrilina O.M., Gurskiy A.A. *Obshchaya otsenka sanitarnogo i lesopatologicheskogo sostoyaniya lesnykh nasazhdeniy departamenta lesnogo khozyaystva Orenburgskoy oblasti* [General assessment of the sanitary and forest pathological state of forest plantations of the Department of Forestry of the Orenburg Region]. *Izvestiya Orenburgskogo gosudarstvennogo agrarnogo universiteta* [News of the Orenburg State Agrarian University], 2010, no. 3 (27), pp. 34–37.
- [14] Thomsen I.M. Precipitation and temperature as factors in Gremmeniella abietina epidemics. *Forest Pathology*, 2009, v. 39, pp. 56–72.
- [15] Woods A., Coates K.D., Hamann A. Is an unprecedented dothistroma needle blight epidemic related to climate change? *BioScience*, 2005, v. 55, pp. 761–769. DOI: 10.1641/0006-3568(2005)055[0761:IAUDNB]2.0.CO;2
- [16] Linnakoski R., Forbes K.M. Pathogens – The Hidden Face of Forest Invasions by Wood-Boring Insect Pests. *Frontiers in Plant Science*, 2019, no. 10, no. at. 90. DOI: <https://doi.org/10.3389/fpls.2019.00090>
- [17] Britton K.O., Liebhold A.M. One world, many pathogens! *New Phytol*, 2013, v. 197, pp. 9–10. DOI: 10.1111/nph.12053
- [18] Pautasso M., Aas G., Queloz V., Holdenrieder O. European ash (*Fraxinus excelsior*) dieback — A conservation biology challenge. *Biological Conservation*, 2013, v. 158, pp. 37–49. DOI: 10.1016/j.biocon.2012.08.026
- [19] Jepsen J.U., Kapari L., Hagen S.B. Rapid northwards expansion of a forest insect pest attributed to spring phenology matching with sub-Arctic birch. *Global Change Biology*, 2011, v. 17, pp. 2071–2083. DOI: 10.1111/j.1365-2486.2010.02370.x

- [20] Adams H.D., Guardiola-Claramonte M., Barron-Gaord G.A., Villegas J.C., Breshears D.D., Zou C.B., Troch P.A., Huxman T.E. Temperature sensitivity of drought-induced tree mortality portends increased regional die-off under global-change-type drought. *Proc. Natl. Acad. Sci. USA*, 2009, v. 106, pp. 7063–7066. DOI: 10.1073/pnas.0901438106
- [21] Allen C.D., Macalady A.K., Chenchouni H., Bachelet D. A global overview of drought and heat-induced tree mortality reveals emerging climate change risks for forests. *Forest Ecology and Management*, 2010, v. 259, pp. 660–684. DOI: 10.1016/j.foreco.2009.09.001
- [22] McDowell N.G., Beerling D.J., Breshears D.D., Fisher R.A., Raffa K.F., Stitt M. The interdependence of mechanisms underlying climate-driven vegetation mortality. *Trends Ecol. Evol.*, 2011, v. 26, pp. 523–532. DOI: 10.1016/j.tree.2011.06.003
- [23] Pautasso M. Forest ecosystems and global change: The case study of Insubria. *Annali di Botanica*, 2013, v. 3, pp. 1–29. DOI: 10.4462/annbotrm-10092
- [24] Trumbore S., Brando P., Hartmann H. Forest health and global change. *Science*, 2015, v. 349, iss. 6250, pp. 814–818. DOI: 10.1126/science.aac6759
- [25] Ikegami M., Jenkins T.A. Estimate global risks of a forest disease under current and future climates using species distribution model and simple thermal model—pine wilt disease as a model case. *For. Ecol. Manag.*, 2018, v. 409, pp. 343–352. DOI: 10.1016/j.foreco.2017.11.005
- [26] *Obzor sanitarnogo i lesopatologicheskogo sostoyaniya lesov Kaliningradskoy oblasti i prognoz lesopatologicheskoy situatsii* [Review of the sanitary and forest pathological state of the forests of the Kaliningrad region and the forecast of the forest pathological situation]. Kaliningrad: Branch of FBU «Roslesozashchita» — «Central Protection Center of the Kaliningrad Region», 2019, 134 p.
- [27] *Metodika organizatsii i provedeniya rabot po monitoringu lesov evropeyskoy chasti Rossii po programme ICP Forests (metodika EEK OON)* [Methodology for organizing and conducting work on monitoring forests in the European part of Russia under the ICP Forests program (UNECE Methodology)]. Moscow: Federal Forestry Service of Russia, 1995, 39 p.
- [28] László R. Researches of forestry sanitary in the region of Ivan // *Eurasian Forests — Serbian Forests: Materials of the XVIII International Conference of Young Scientists, dedicated to the academician Prof. Žarko Miletić (1891–1968)*. Belgrade: University of Belgrade Faculty of Forestry, 2019. pp. 227–228.
- [29] Storozhenko V.G., Chebotarev P.A., Chebotareva V.V. *Struktura drevostoev estestvennogo formirovaniya na vyrubkakh dubovykh lesov XIX v. (Tellermanovskoe opytnoe lesnichestvo ILAN RAN)* [Natural formation stands composition in clearings of XIX century oak forests (Tellermanovskoe experimental forestry IFS RAS)]. *Lesnoy vestnik / Forestry Bulletin*, 2021, vol. 25, no. 3, pp. 14–23. DOI: 10.18698/2542-1468-2021-3-14-23
- [30] Kishchenko I.T. *Rost i razvitiye introdutsirovannykh vidov Larix Mill. v taezhnoy zone (Kareliya)* [Growth and development of introduced species of Larix mill. in the taiga zone (Karelia)]. *Zhurnal Sibirskogo federal'nogo universiteta. Seriya: Biologiya* [Journal of the Siberian Federal University. Series: Biology], 2021, v. 14, no. 1, pp. 61–83.
- [31] Volokitina A.V., Sofronova T.M., Korets M.A. *Kontrolirovaniye pozharov rastitel'nosti na osobo okhranyaemykh prirodnykh territoriyakh* [Controlling fires of vegetation in specially protected natural areas]. *Geografiya i prirodnye resursy* [Geography and Natural Resources], 2019, no. S5 (159), pp. 59–65.
- [32] *Prikaz ot 5 aprelya 2017 goda № 156 Ob utverzhdenii Poryadka osushchestvleniya gosudarstvennogo lesopatologicheskogo monitoringa* [Order of April 5, 2017 No. 156 On approval of the Procedure for the implementation of state forest pathological monitoring]. Available at: <http://docs.cntd.ru/document/456058836> (accessed 20.12.2021)
- [33] *Ekologicheskie aspekty global'nogo vzaimodeystviya zhivyykh sistem* [Environmental aspects of the global interaction of living systems]. Ed. M.V. Danilova. Kaliningrad: IKBFU Publishing House I. Kant, 2020, 67 p.

Authors' information

Butoka Stanislav Veslavovich ✉ — pg., Institute of Living Systems, IKBFU, stas-ek@mail.ru

Skrypnik Liubov Nikolaevna — Cand. Sci. (Biology), Associate Professor, Institute of Living Systems, IKBFU, LSkrypnik@kantiana.ru

Received 23.11.2022.

Approved after review 10.01.2023.

Accepted for publication 12.01.2023.

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

ТАКСОНОМИЧЕСКАЯ СТРУКТУРА ВИДОВ ДЕНДРОФЛОРЫ В УРБАНОСИСТЕМАХ АРХАНГЕЛЬСКОЙ ОБЛАСТИ

О.С. Залывская¹✉, Н.А. Бабич¹, Р.С. Хамитов²

¹ФГАОУ ВО «Северный (Арктический) федеральный университет имени М.В. Ломоносова» (САФУ), Россия, 163002, г. Архангельск, ул. Набережная Северной Двины, д. 17

²ФГАОУ ВО «Вологодская государственная молочнохозяйственная академия имени Н.В. Верещагина», Россия, 160555, г. Вологда, с. Молочное, ул. Шмидта, д. 2

o.zalvskaya@narfu.ru

Приведены результаты инвентаризационной оценки дендрофлоры Архангельской агломерации. Охарактеризован ассортимент древесных и кустарниковых пород городов и поселков Архангельской области. Проанализирован таксономический состав имеющихся древесных насаждений в городах Архангельске, Новодвинске, Северодвинске. Выявлено, что в Архангельской агломерации насчитывается 53 вида дендрофлоры, из них древесных — 24, кустарников — 29. Указано, что в городских условиях ассортимент пород более разнообразен, чем в сельских, где количество видов составляет 10–15. Бедность ассортимента пород в насаждениях сельской местности обусловлена отсутствием питомников по выращиванию посадочного материала. Показано, что значительное обогащение ассортимента зеленых насаждений северных урбаносистем возможно благодаря введению в них новых видов — интродукции. Определено, что интродуцированные породы составляют более половины всего ассортимента и являются представителями отечественной и зарубежной флоры. Около 20 видов инорайонных пород входят в состав насаждений в малом количестве, некоторые породы насчитывают лишь десятки особей. Установлено, что крупные районные центры Архангельской области поселки Карпогоры, Октябрьский, Пинега, Коноша и др., а также города Вельск, Каргополь, Нянда, Шенкурск в своем ассортименте не имеют широкого представительства инорайонных пород, но необходимые условия и предпосылки для их появления имеются. Изложено, что развитие региона должно идти по направлению увеличения площади насаждений, прилегающих к селитебным и промышленным зонам территорий, в том числе с использованием инорайонных пород, которые обладают целым комплексом ценных свойств: адаптационных, биологических, санитарно-гигиенических, эстетических, социальных.

Ключевые слова: биоразнообразие, видовой состав, интродуценты древесной флоры

Ссылка для цитирования: Залывская О.С., Бабич Н.А., Хамитов Р.С. Таксономическая структура видов дендрофлоры в урбаносистемах Архангельской области // Лесной вестник / Forestry Bulletin, 2023. Т. 27. № 2. С. 67–75. DOI: 10.18698/2542-1468-2023-2-67-75

Материалы и методы

Обзор литературы показывает, что интродукционная работа проводилась целенаправленно и успешно на протяжении длительного времени. Основополагающими в данном вопросе являются труды таких авторов, как И.С. Мелехов [1–3], Ф.Б. Орлов [4, 5], А.Л. Лыпа [6], П.И. Лапин, С.В. Сиднева [7], П.М. Малаховец [8, 9], А.П. Царев [10], Гельмут Е. Ландсберг [11], В.Н. Нилов [12, 13], И.И. Дроздов [15], Н.А. Демидова [16, 17].

По нашему мнению, поддерживаемому и другими учеными-интродукторами [18–20] посадка интродуцируемых растений в городские насаждения и установление особенностей их роста и развития является информативным элементом при интродукционных испытаниях.

Работа по введению древесных пород в северные широты проводится на базе архангельских дендросадов: дендросада имени И.М. Страто-

новича Северного (Арктического) федерального университета имени М.В. Ломоносова (САФУ) и дендросада Северного научно-исследовательского института лесного хозяйства (СевНИИЛХ).

В течение длительного времени в озеленении на Севере применяли виды местной флоры. В настоящее время накоплен опыт по применению инорайонных пород, а также выявлен перспективный ассортимент для урбанизированной среды в северных условиях.

Цель работы

Цель работы — определить и проанализировать видовой состав дендрофлоры урбаносистем Архангельской агломерации и области.

Результаты и обсуждение

Обзор литературы [21–23] и проведенные нами исследования свидетельствуют о том, что ассортимент пород для использования в северных условиях может быть увеличен за счет видов-интродуцентов.



Структура видового разнообразия дендрофлоры Архангельской агломерации

The species diversity structure of the dendroflora of the Arkhangelsk agglomeration

По данным инвентаризации в Архангельской агломерации насчитывается 53 вида, из них древесных — 24, кустарников — 29. На одного жителя в среднем приходится 4,8 м² зеленых насаждений. По государственным стандартам, для крупных и больших городов, к которым относятся Архангельск и Северодвинск, рекомендуется 10 м²/чел., а для малых (Новодвинск) — 7 м²/чел. [24].

Большую часть ассортимента северных городов составляют интродуценты (рисунок, табл. 1), родиной которых являются различные регионы России (Сибирь, Кавказ, Европейская часть РФ). Некоторые из интродуцентов представляют зарубежную флору (Северная Америка, Китай, Европа, Балканский п-ов).

Около 20 видов инорайонных пород входят в состав насаждений в малом количестве, некоторые породы встречаются единично. Научный интерес представляют коллекции частных садов и городских насаждений, в которых интродуцируемые деревья и кустарники находятся в нескольких экземплярах, но способны давать потомство и перспективны для интродукционных испытаний, в частности, (к курильский чай, магония падуболистная, снежнаягодник белый, чубушник венечный, калина Бульденеж, черемуха Маака, бересклет бородавчатый, барбарис амурский, ясень обыкновенный, боярышник даурский).

Насаждения агломерации представлены в основном лиственными породами (85 %).

Т а б л и ц а 1

Ассортимент пород в Архангельской агломерации
The species range in the Arkhangelsk agglomeration

Порода	Архангельск	Северодвинск	Новодвинск
<i>Лиственные породы</i>			
Береза повислая (<i>Betula pendula</i> L.), береза пушистая (<i>Betula pubescens</i> Ehrh.)	+	+	+
Вяз шершавый (<i>Ulmus scabra</i> Mill.)	+	+	+
Вяз гладкий (<i>Ulmus laevis</i> Pall.)	+	–	–
Дуб черешчатый (<i>Quercus robur</i> L.)	+	+	–
Клен остролистный (<i>Acer platanoides</i> L.)	+	+	+
Клен татарский (<i>Acer tataricum</i> L.)	–	+	–
Ива белая (<i>Salicaceae alba</i> Lindl)	+	+	+
Липа мелколистная (<i>Tilia cordata</i> Mill.)	+	+	+
Ольха серая (<i>Alnus incana</i> L.)	+	+	+
Рябина обыкновенная (<i>Sorbus aucuparia</i> L.)	+	+	+
Тополь дрожащий (<i>Populus tremula</i> L.), тополь бальзамический (<i>P. balsamifera</i> L.)	+	+	+
Черемуха обыкновенная (<i>Padus racemose</i> L.)	+	+	+

Окончание табл. 1

Порода	Архангельск	Северодвинск	Новодвинск
<i>Лиственные породы</i>			
Черемуха Маака (<i>Padus maackii</i> Rupr.)	+	–	–
Яблоня ягодная (<i>Malus baccata</i> Borkh.)	+	+	+
Яблоня сливолистная (<i>Malus prunifolia</i> Willd.)	+	–	–
Ясень обыкновенный (<i>Fraxinus excelsior</i> L.)	+	–	–
<i>Хвойные породы</i>			
Ель колючая (<i>Picea pungens</i> Engelm), ель обыкновенная (<i>Picea abies</i> Link.)	+	+	+
Лиственница сибирская (<i>Larix sibirica</i> Dsil.)	+	+	+
Можжевельник обыкновенный (<i>Juniperus communis</i> L.)	–	+	–
Пихта сибирская (<i>Abies sibirica</i> Mill.)	+	–	+
Сосна обыкновенная (<i>Pinus silvestris</i> L.)	+	+	–
Туя западная (<i>Thuja occidentalis</i> L.)	+	+	–
Сосна кедровая сибирская (<i>Pinus sibirica</i> Rupr.)	+	+	+
<i>Кустарники</i>			
Арония черноплодная (<i>Aronia melanocarpa</i> Elliot)	+	+	+
Барбарис амурский (<i>Berberis amurensis</i> Rupr.)	–	–	–
Боярышник кроваво-красный (<i>Crataegus sanguine</i> Pall)	+	+	+
Бузина красная (<i>Sambucus racemosa</i> L.)	+	+	+
Дерен белый (<i>Cornus alba</i> L.)	+	+	+
Жимолость татарская (<i>Lonicera tatarica</i> L.)	+	+	+
Ирга обильноцветущая (<i>Amelanchier florida</i> Lindl)	+	+	+
Калина обыкновенная (<i>Viburnum opulus</i> L.)	+	–	–
Карагана древовидная (<i>Caragana arborescens</i> Lam.)	+	+	+
Кизильник блестящий (<i>Cotoneaster lucida</i> Schl.)	+	+	+
Курильский чай (<i>Pentaphylloides fruticosa</i> L.)	+	–	–
Лох серебристый (<i>Elaeagnus commutate</i> L.)	+	–	–
Пузыреплодник калинолистный (<i>Physocarpus opulifolia</i> Max.)	+	+	+
Сирень венгерская (<i>Syringa josikae</i> Jacq), сирень обыкновенная (<i>S. vulgaris</i> L.)	+	+	+
Смородина черная (<i>Ribes nigrum</i> L.), смородина красная (<i>Ribes rubrum</i> L.)	+	+	+
Снежноягодник белый (<i>Symphoricarpos albus</i> Dill)	+	–	–
Спирея иволистная (<i>Spiraea salicifolia</i> L.)	+	–	–
Роза морщинистая (<i>Rosa rugose</i> Thunb.), роза иглистая (<i>Rosa acicularis</i> L.)	+	+	+
Рябинник рябинолистный (<i>Sorbaria sorbifolia</i> L.)	+	+	+
Чубушник венечный (<i>Philadelphus coronarius</i> L.)	+	+	+
<i>Примечание.</i> Здесь и далее жирным шрифтом выделены виды-интродуценты; «+» — наличие вида, «–» — отсутствие вида.			

Хвойные — (ель колючая, лиственница сибирская, сосна кедровая сибирская, пихта сибирская, туя западная, можжевельник обыкновенный) — редки или единичны (15 %).

Для характеристики систематического разнообразия дендрофлоры применили показатель

«флористическое богатство» по С.С. Веретенникову [25]. В Архангельской агломерации число видов в одном семействе составляет 3,53, а число родов — 2,27. Родовая насыщенность (число видов, приходящееся на один род) составляет 1,56 (табл. 2).

Т а б л и ц а 2
Флористическое разнообразие дендрофлоры
Floristic diversity of dendroflora

Параметр	Значение показателя флористического богатства
Число семейств	15
родов	34
видов	53
видов в семействе	3,53
родов в семействе	2,27
Родовая насыщенность	1,56
Родовой коэффициент, %	64,1

Представительство семейств в списке применяемых в Архангельской агломерации пород следующее: Розоцветные — 10 видов, Березовые,

Сосновые, Ивовые — по 3 вида, Жимолостные, Вязовые, Маслиновые — по 2 вида, Крыжовниковые, Калиновые, Бобовые, Кизилые, Буковые, Липовые, Гортензиевые, Лоховые — по 1 виду.

Родовая принадлежность местных и интродуцированных в регионе пород следующая: Арония, Боярышник, Ирга, Кизильник, Роза, Рябина, Черемуха, Яблоня, Пузыреплодник, Спирея, Курильский чай, Береза, Ольха, Ива, Тополь, Бузина, Жимолость, Карагана, Ясень, Сирень, Дерен, Калина, Липа, Смородина, Вяз, Клен, Чубушник, Лох, Ель, Сосна, Лиственница, Пихта, Туя, Можжевельник.

Для более полного представления о таксономическом составе дендрофлоры нами исследованы зеленые насаждения городов, районных центров и поселков Архангельской обл. (табл. 3). В них имеет место стихийная интродукция — внесение новых видов без предварительного планирования.

Т а б л и ц а 3

Ассортимент пород в озеленении северных городов и поселков
The range of species in the landscaping of northern cities and towns

Порода	Города			Села		Поселки		
	Котлас	Шенкурск	Онега	Лешуконское	Верхняя Тойма	Коноша	Октябрьский	Двинской
<i>Лиственные породы</i>								
Береза повислая, береза пушистая	+	+	+	+	+	+	+	+
Вяз гладкий, вяз шершавый	–	–	–	–	–	–	–	–
Клен татарский	+	–	–	–	–	–	–	–
Ива белая, ива ушастая, ива козья и др.	–	–	–	+	–	–	–	–
Липа мелколистная	–	+	+	–	+	–	–	–
Ольха серая, ольха черная	–	–	+	–	–	–	–	–
Рябина обыкновенная	+	+	+	+	+	+	+	+
Тополь дрожащий	–	–	+	–	+	–	+	–
Тополь бальзамический, душистый	+	+	+	–	+	+	+	+
Черемуха обыкновенная	–	+	+	+	+	+	+	+
Яблоня ягодная, лесная	–	+	+	–	–	–	–	–
Ясень обыкновенный	–	–	–	–	+	–	–	–
<i>Хвойные породы</i>								
Ель колючая, ель обыкновенная	+	+	+	–	+	–	–	–
Лиственница сибирская	–	+	–	–	–	–	+	–
Можжевельник обыкновенный	–	+	–	–	–	–	–	–
Пихта сибирская	–	–	–	–	–	–	–	–
Сосна кедровая, сосна обыкновенная	–	+	–	–	–	–	–	–
Туя западная	–	+	–	–	–	–	–	–
<i>Кустарники</i>								
Арония черноплодная	–	–	+	–	–	–	–	–
Боярышник кроваво-красный (обыкновенный, сибирский)	–	–	+	–	–	–	–	–

Окончание табл. 3

Порода	Города			Села		Поселки		
	Котлас	Шенкурск	Онега	Лешуконское	Верхняя Тойма	Коноша	Октябрьский	Двинской
<i>Кустарники</i>								
Бузина красная	–	+	–	–	–	–	–	–
Дерен белый	–	–	–	–	–	–	–	–
Жимолость синяя татарская	–	–	–	–	+	–	–	–
Ирга колосистая	–	–	+	–	–	–	–	–
Карагана желтая, кустарниковая	+	+	+	–	+	+	+	+
Кизильник блестящий	–	–	–	–	–	–	–	–
Пузыреплодник калинолистный	–	–	–	–	+	–	–	–
Сирень венгерская, мохнатая, обыкновенная	–	+	+	–	–	–	–	–
Спирея иволистная	–	+	–	–	–	–	–	–
Роза морщинистая, роза колючайшая	+	+	+	+	+	–	–	–

В городских условиях ассортимент пород разнообразнее, чем в сельских, где количество видов составляет 10–15. На долю инорайонных в сельской местности приходится 30 % общей численности пород, в отдельных населенных пунктах их наличие ограничивается 1–2 видами. Бедность ассортимента пород в насаждениях северных поселков обусловлена отсутствием декоративных питомников, а также их отдаленным территориальным расположением.

В Верхнетоемском районе интродуцентами являются 10 видов из 20 имеющихся; в г. Каргополе встречается 16 видов, восемь из которых составляют инорайонные породы; в Вилегодском районе ассортимент представлен семью видами преимущественно местного происхождения; в Плесецком и Холмогорском районах видовой состав представлен 16 и 14 видами соответственно; в районном центре Пинежского района с. Карпогоры встречается 17 видов деревьев и кустарников, в поселках данного района — 13. Более детальные исследования показали, что большая часть дендроинтродуцентов сосредоточена в частных садах.

Аборигены представлены следующими породами: березы повислая и пушистая, ель обыкновенная, лиственница сибирская, ольха серая, рябина обыкновенная, сосна обыкновенная, тополь дрожащий, черемуха обыкновенная. Из интродуцентов встречаются арония черноплодная, жимолость татарская, ирга обильноцветущая, карагана древовидная, клен татарский, липа мелколистная, сирени венгерская и обыкновенная, тополь бальзамический и хвойные — ель колючая, сосна кедровая сибирская.

Таблица 4

Коэффициент сходства (K) систематического состава дендрофлор областного центра (г. Архангельск) и других городов Архангельской обл.

The similarity coefficient (K) of the dendroflora systematic composition in the regional center (Arkhangelsk) and other cities of the Arkhangelsk region

Распределение пород	Исходные данные			Коэффициент сходства K
	a	b	c	
По видовому составу	53	31	24	0,40
По родовому составу	34	30	34	1,13
По составу семейств	15	13	9	0,47

Примечание. $K = c / (a + b - c)$, где K — коэффициент сходства, c — число общих для двух дендрофлор таксонов, a и b — число таксонов в одной и другой дендрофлоре.

Научный интерес представляет характер сходства и различия дендрофлор областного центра — г. Архангельска и других населенных пунктов Архангельской обл. Для сравнения степени сходства таксономического состава рассматриваемых дендрофлор (табл. 4) использован коэффициент Жаккара [26].

Крупные районные центры Архангельской обл.: Карпогоры, Октябрьский, Пинега, Коноша и др., а также города Вельск, Каргополь, Няндома, Шенкурск в своем ассортименте не имеют широкого представительства инорайонных пород, но, как показывают наши исследования и исследования других ученых по данной тематике [27–34], необходимые условия и предпосылки для их появления в северных урбаносистемах имеются.

Выводы

1. В дендрофлоре г. Архангельска насчитывается 53 вида, из них деревьев — 24, кустарников — 29. Дендрофлора г. Новодвинска представлена 36 видами, г. Северодвинска — 42 видами.

2. Количество видов районных центров Архангельской области не превышает 10–15, а инорайонные породы составляют не более 30 %. Во многом бедность ассортимента пород в насаждениях сельской местности обусловлена отсутствием питомников по выращиванию посадочного материала.

3. На наш взгляд, регион должен развиваться в направлении увеличения площади насаждений, прилегающих к селитебным и промышленным зонам территорий, в том числе с использованием инорайонных пород.

Список литературы

- [1] Мелехов И.С. Озеленение городов и поселков в Северном крае // *Хозяйство Севера*, 1934. № 4. С. 47–50.
- [2] Мелехов И.С. Интродукция хвойных в лесном хозяйстве // *Лесоведение*, 1984. № 6. С. 72–78.
- [3] Мелехов И.С. Проблема озеленения Архангельска // *Технику — лесной промышленности*, 1932. № 27. С. 44–47.
- [4] Орлов Ф.Б. Дендрарий Архангельского лесотехнического института // *Лесное хозяйство*, 1952. № 7. С. 91.
- [5] Орлов Ф.Б. Деревья и кустарники для зеленого строительства Архангельской области. Архангельское книжное изд-во, 1955. 23 с.
- [6] Лыпа А.Л. Ступенчатая акклиматизация или метод географических ступеней. Тез. совещ. по теории и методам акклиматизации растений. М.; Л.: [Б. и.], 1953. С. 53–62.
- [7] Лапин П.И., Сиднева С.В. Оценка перспективности интродукции древесных растений по данным визуальных наблюдений // *Опыт интродукции древесных растений*. М.: Наука, 1973. С. 7–67.
- [8] Малаховец П.М. Дендрологический сад Архангельского лесотехнического института: Сб. студ. науч.-исслед. работ АЛТИ. Архангельск: Изд-во АЛТИ, 1960. Вып. III. С. 28–33.
- [9] Малаховец П.М. Опыт интродукции древесных растений в условиях Севера и его использование в зеленом строительстве // *Озеленение городов и поселков Архангельской области: Материалы науч.-практ. конф. (семинара)*. Архангельск: Архангельское областное государственное изд-во, 1999. С. 19–25.
- [10] Царев А.П. Основы сортового тополеводства: автореф. дис. ... д-ра с.-х. наук. М., 1982. 34 с.
- [11] Landsberg H.E. *The Urban Climate*. New York: Academic Press, 1981, 248 p.
- [12] Нилов В.Н. Интродукция древесных растений и вопросы озеленения северных населенных пунктов // *Материалы отчетной сессии по итогам науч.-исслед. работ в десятой пятилетке (1976–1980)*. Архангельск: Изд-во АИЛиЛХ, 1981. С. 59–60.
- [13] Нилов В.Н. Развитие работ по интродукции древесных пород на Европейском Севере. Архангельск: Изд-во АИЛиЛХ, 1988. С. 29–31.
- [14] Нилов В.Н. Рекомендации по ассортименту древесных растений для озеленения городов и поселков Севера. Архангельск: Изд-во АИЛиЛХ, 1981. 19 с.
- [15] Дроздов И.И., Дроздов Ю.И. *Лесная интродукция*. М.: МГУЛ, 2003. 135 с.
- [16] Демидова Н.А. Опыт интродукции древесных растений в дендрологическом саду СевНИИЛХ и его использование в зеленом строительстве // *Озеленение городов и поселков Архангельской области: Материалы науч.-практ. конф. (семинара)*. Архангельск, 1999. С. 15–17.
- [17] Демидова Н.А., Дуркина Т.М., Гоголева Л.Г. Некоторые итоги интродукционного испытания древесных растений на Европейском Севере // *Наука — лесному хозяйству Севера: сб. науч. тр. ФБУ «Северный научно-исследовательский институт лесного хозяйства» / под ред. Н.А. Демидовой*. Архангельск: Изд-во СевНИИЛХ, 2019. С. 171–181.
- [18] Доброхвалов В.П. Система ступенчатой акклиматизации растений как возможная основа организации акклиматизационной работы в стране // *Бюллетень ГБС АН СССР*, 1964. Вып. 55. С. 16–28.
- [19] Плотникова Л.С. *Научные основы интродукции и охраны древесных растений флоры СССР*. М.: Наука, 1983. 264 с.
- [20] Булах П.Е. *Теория и методы прогнозирования в интродукции растений*. Киев: Наукова думка, 2010. 110 с.
- [21] Бабич Н.А., Карбасникова Е.Б., Долинская И.С. *Интродуценты и экстраординарные виды в антропогенной среде (на примере г. Вологда)*. Архангельск: ИПЦ САФУ, 2012. 184 с.
- [22] Хамитов Р.С. *Интродукция сосны кедровой сибирской на генетико-селекционной основе в таежную зону Восточно-Европейской равнины: автореф. дис. ... д-ра с.-х. наук*. Архангельск, 2015. 41 с.
- [23] Андропова М.М. *Ступенчатая интродукция древесных растений на севере русской равнины: автореф. дис. ... д-ра с.-х. наук*. Архангельск, 2019. 40 с.
- [24] Боговая И.О., Теодоронский В.С. *Озеленение населенных мест*. М.: Агропромиздат, 1990. 234 с.
- [25] Веретенников С.С. *Анализ систематического состава флоры культур фитосоциозов дуба Среднего Поволжья // Биологические основы повышения продуктивности*. Горький: Изд-во ГГУ, 1982. С. 33–35.
- [26] Шмидт В.М. *Флора Архангельской области*. СПб.: Изд-во СПбГУ, 2005. 346 с.
- [27] Александрова Ю.В. *Боярышники — перспективные интродуценты для озеленения северных городов // Наука — лесному хозяйству севера: сб. научных трудов ФБУ «Северный научно-исследовательский институт лесного хозяйства» / Под ред. Н.А. Демидова*. Архангельск: Северный научно-исследовательский институт лесного хозяйства, 2019. С. 194–198.
- [28] Андропова М.М., Бабич Н.А., Хамитов Р.С. *Ступенчатая интродукция древесных растений на севере Русской равнины*. Архангельск: САФУ, 2021. 412 с.
- [29] Ivanova E.E., Bibich N.A. Evaluation of main parameters for the growth model of pine crops in the european north of Russia // *Journal of Agriculture and Environment*, 2022, no. 1 (21), at. no. 12.
- [30] Залывская О.С., Игамбердиева А. *Перспективные породы для озеленения северных городов // Сельское и лесное хозяйство: инновационные направления развития: сб. научных трудов Всероссийской научно-практической конференции с международным участием, Вологда, Молочное, 08 декабря 2020 года*. Вологда, Молочное: Вологодская государственная молочнохозяйственная академия им. Н.В. Верещагина, 2021. С. 23–27.
- [31] Карбасникова Е.Б., Бабич Н.А. *Рекомендации по ассортименту древесных и кустарниковых растений для озеленения промышленных городов Вологодской агломерации*. Архангельск: САФУ, 2021. 60 с.
- [32] Нурумбетова Х.С., Сапаров С.И. *Применение Berberis amurensis Rupr. в озеленении северных городов // Лоносовские научные чтения студентов, аспирантов и молодых ученых — 2022: сб. материалов конференции*

в 2-х томах, Архангельск, 01–30 апреля 2022 года. Архангельск: Северный (Арктический) федеральный университет имени М.В. Ломоносова, 2022. С. 356–358.

[33] Пьянкова Н.В., Залывская О.С. Ассортимент озеленения Пинежского района Архангельской области // *Ландшафтная архитектура: традиции и перспективы* — 2022: матер. I Всероссийской научно-практической

конференции, Екатеринбург, 15–16 декабря 2022 года. Екатеринбург: Уральский государственный лесотехнический университет, 2022. С. 145–150.

[34] Бабич Н.А., Карбасникова Е.Б. *Натурализация видов дендрофлоры в условиях интродукционного стресса*. Архангельск: САФУ, 2022. 236 с.

Сведения об авторах

Залывская Ольга Сергеевна [✉] — д-р с.-х. наук, доцент кафедры ландшафтной архитектуры и искусственных лесов Высшей школы естественных наук и технологий, ФГАОУ ВО «Северный (Арктический) федеральный университет имени М.В. Ломоносова» (САФУ), o.zalyvskaia@narfu.ru

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

Хамитов Ренат Салимович — д-р с.-х. наук, профессор кафедры лесного хозяйства ФГАОУ ВО «Вологодская государственная молочнохозяйственная академия им. Н.В. Верещагина», r.s.khamitov@mail.ru

Поступила в редакцию 25.11.2022.

Одобрено после рецензирования 16.12.2022.

Принята к публикации 30.01.2023.

TAXONOMIC STRUCTURE OF DENDROFLORA SPECIES IN ARKHANGELSK REGION URBAN SYSTEMS

O.S. Zalyvskaia^{1✉}, N.A. Babich¹, R.S. Khamitov²

¹Northern (Arctic) Federal University named after M.V. Lomonosov, 17, Naberezhnaya Severnoy Dviny, 163002, Arkhangelsk, Russia

²Vologda State Dairy Academy named after N.V. Vereshchagin, 2, Shmidta st.reet, 160555, Vologda, Molochnoye village, Vologda, Russia

o.zalyvskaia@narfu.ru

Conservation and increase of biological diversity are recognized as one of the priority areas of research activities. The woody vegetation of the northern forests is not rich in species composition. A review of the some research indicates that the number of ornamental species for practical use can be expanded by means of non-district woody plants. The experience of their cultivation in various regions of the North has been accumulated. A significant enrichment of the assortment of urban green spaces is possible due to the introduction of plants into new conditions — introductions. Such peculiar and specific conditions are created in urban plantings that not all local species of woody plants can grow normally in them, therefore it is especially important to study the behavior of dendro-producers. The cultivation of introduced species in the green spaces of northern cities is a basic vector for the promotion of new tree species to the north, which have a whole complex of valuable properties: adaptive, biological, sanitary-hygienic, aesthetic, social. As a result of the inventory assessment, it was revealed that there are 53 species in the Arkhangelsk agglomeration, 24 of them are woody, 29 are shrubs. Introduced breeds make up more than half of the entire assortment and are representatives of domestic and foreign flora. About 20 species of non-district breeds are included in the plantings in small numbers, some breeds number dozens of individuals. Large district centers of the Arkhangelsk region: Karpogory, Oktyabrsky, Pinega, Konosha, etc., as well as the cities of Velsk, Kargopol, Nyandoma, Shenkursk in their assortment do not have a wide representation of non-district breeds, but, as our research shows, the necessary conditions and prerequisites for their appearance are available.

Keywords: biodiversity, species composition, introductions of woody flora

Suggested citation: Zalyvskaia O.S., Babich N.A., Khamitov R.S. *Taksonomicheskaya struktura vidov dendroflory v urbanosistemakh Arkhangel'skoy oblasti* [Taxonomic structure of dendroflora species in Arkhangelsk region urban systems]. *Lesnoy vestnik / Forestry Bulletin*, 2023, vol. 27, no. 2, pp. 67–75.

DOI: 10.18698/2542-1468-2023-2-67-75

References

- [1] Melekhov I.S. *Ozelenenie gorodov i poselkov v Severnom krae* [Landscaping of cities and towns in the Northern Territory]. *Khozyaystvo Severa* [Economy of the North], 1934, no. 4, pp. 47–50.
- [2] Melekhov I.S. *Introduktsiya khvoynykh v lesnom khozyaystve* [Introduction of conifers in forestry]. *Lesovedenie* [Lesovedenie], 1984, no. 6, pp. 72–78.

- [3] Melekhov I.S. *Problema ozeleneniya Arkhangel'ska* [The problem of landscaping Arkhangel'sk]. Tekhnika — lesnoy promyshlennosti [Technique — forest industry], 1932, no. 27, pp. 44–47.
- [4] Orlov F.B. *Dendriy Arkhangel'skogo lesotekhnicheskogo instituta* [Arboretum of the Arkhangel'sk Forestry Institute]. Lesnoe khozyaystvo [Forestry], 1952, no. 7, p. 91.
- [5] Orlov F.B. *Derev'ya i kustarniki dlya zelenogo stroitel'stva Arkhangel'skoy oblasti* [Trees and shrubs for green building in the Arkhangel'sk region]. Arkhangel'sk: Arkhangel'sk book publishing house, 1955, 23 p.
- [6] Lypa A.L. *Lypa A.L. Stupenchataya akklimatizatsiya ili metod geograficheskikh stupeney. Tezisy soveshchaniy po teorii i metodam akklimatizatsii rasteniy* [Stepwise acclimatization or method of geographical steps. Abstracts of meetings on the theory and methods of acclimatization of plants]. Moscow–Leningrad, 1953, pp. 53–62.
- [7] Lapin P.I., Sidneva S.V. *Otsenka perspektivnosti introduktsii drevesnykh rasteniy po dannym vizual'nykh nablyudeniy* [Evaluation of the prospects for the introduction of woody plants according to visual observations]. Opyt introduktsii drevesnykh rasteniy [Experience of the introduction of woody plants]. Moscow: Nauka, 1973, pp. 7–67.
- [8] Malakhovets P.M. *Dendrologicheskiy sad Arkhangel'skogo lesotekhnicheskogo instituta* [Dendrological garden of the Arkhangel'sk Forestry Institute]. Sb. stud. nauch.-issled. rabot ALTI [Sat. stud. scientific research works of ALTI]. Arkhangel'sk: ALTI, 1960, iss. III, pp. 28–33.
- [9] Malakhovets P.M. *Opyt introduktsii drevesnykh rasteniy v usloviyakh Severa i ego ispol'zovanie v zelenom stroitel'stve* [Experience of the introduction of woody plants in the conditions of the North and its use in green building]. Ozelenenie gorodov i poselkov Arkhangel'skoy oblasti: materialy nauchno-prakticheskoy konferentsii (seminara) [Landscaping of cities and towns of the Arkhangel'sk region: materials of the scientific and practical conference (seminar)]. Arkhangel'sk: Arkhang. region state publishing house, 1999, pp. 19–25.
- [10] Tsarev A.P. *Osnovy sortovogo topolevedeniya* [Fundamentals of varietal poplar science]. Dis. Dr. Sci. (Agric.). Moscow, 1982, 34 p.
- [11] Landsberg H.E. *The Urban Climate*. New York: Academic Press, 1981, 248 p.
- [12] Nilov V.N. *Introduktsiya drevesnykh rasteniy i voprosy ozeleneniya severnykh naseleennykh punktov* [Introduction of woody plants and landscaping issues in northern settlements]. Materialy otchetnoy sessii po itogam nauchno-issledovatel'skikh rabot v desyatoy pyatiletke (1976–1980) [Proceedings of the reporting session on the results of research work in the tenth five-year plan (1976–1980)]. Arkhangel'sk: AILiLKh, 1981, pp. 59–60.
- [13] Nilov V.N. *Razvitiye rabot po introduktsii drevesnykh porod na Evropeyskom Severe* [Development of work on the introduction of tree species in the European North]. Arkhangel'sk: AILiLKh, 1988, pp. 29–31.
- [14] Nilov V.N. *Rekomendatsii po assortimentu drevesnykh rasteniy dlya ozeleneniya gorodov i poselkov Severa* [Recommendations on the range of woody plants for landscaping cities and towns of the North]. Arkhangel'sk: AILiLKh, 1981, 19 p.
- [15] Drozdov I.I., Drozdov Yu.I. *Lesnaya introduktsiya* [Forest introduction]. Moscow: MSFU, 2003, 135 p.
- [16] Demidova N.A. *Opyt introduktsii drevesnykh rasteniy v dendrologicheskom sadu SevNIILKh i ego ispol'zovanie v zelenom stroitel'stve* [Experience of the introduction of woody plants in the dendrological garden of SevNIILKh and its use in green building]. Ozelenenie gorodov i poselkov Arkhangel'skoy oblasti: Materialy nauchno-prakticheskoy konferentsii (seminara) [Greening of cities and towns of the Arkhangel'sk region: Materials of the scientific and practical conference (seminar)]. Arkhangel'sk, 1999, pp. 15–17.
- [17] Demidova N.A., Durkina T.M., Gogoleva L.G. *Nekotorye itogi introduktsionnogo ispytaniya drevesnykh rasteniy na Evropeyskom Severe* [Some results of the introduction test of woody plants in the European North]. Nauka — lesnomu khozyaystvu Severa: sb. nauchnykh trudov FBU «Severnyy nauchno-issledovatel'skiy institut lesnogo khozyaystva» [Science to the Forestry of the North: Sat. scientific papers of the FBU «Northern Research Institute of Forestry»]. Ed. ON THE. Demidova. Arkhangel'sk: Northern Research Institute of Forestry, 2019, pp. 171–181.
- [18] Dobrokhvalov V.P. *Sistema stupenchatoy akklimatizatsii rasteniy kak vozmozhnaya osnova organizatsii akklimatizatsionnoy raboty v strane* [The system of stepwise acclimatization of plants as a possible basis for the organization of acclimatization work in the country]. Byulleten' GBS AN SSSR [Bulletin of the GBS of the Academy of Sciences of the USSR], 1964, iss. 55, pp. 16–28.
- [19] Plotnikova L.S. *Nauchnye osnovy introduktsii i okhrany drevesnykh rasteniy flory SSSR* [Scientific basis for the introduction and protection of woody plants of the flora of the USSR]. Moscow: Nauka, 1983, 264 p.
- [20] Bulakh P.E. *Teoriya i metody prognozirovaniya v introduktsii rasteniy* [Theory and methods of forecasting in the introduction of plants]. Kyiv: Naukova Dumka, 2010, 110 p.
- [21] Babich N.A., Karbasnikova E.B., Dolinskaya I.S. *Introdutsenty i ekstrazonal'nye vidy v antropogennoy srede (na primere g. Vologda)* [Introducers and extrazonal species in the anthropogenic environment (on the example of the city of Vologda)]. Arkhangel'sk: IPTs NArFU, 2012, 184 p.
- [22] Khamitov R.S. *Introduktsiya sosny kedrovoy sibirskoy na genetiko-selektivnoy osnove v taezhnuyu zonu Vostochno-Evropeyskoy ravniny* [Introduction of Siberian stone pine on a genetic-selective basis into the taiga zone of the East European Plain]. Dis. Dr. Sci. (Agric.). Arkhangel'sk, 2015, 41 p.
- [23] Andronova M.M. *Stupenchataya introduktsiya drevesnykh rasteniy na severe russkoy ravniny* [Stepwise introduction of woody plants in the north of the Russian plain]. Dis. Dr. Sci. (Agric.). Arkhangel'sk: CPI NArFU, 2019, 40 p.
- [24] Bogovaya I.O., Teodoronskiy V.S. *Ozelenenie naseleennykh mest* [Landscaping of populated areas]. Moscow: Agropromizdat, 1990, 234 p.
- [25] Veretennikov S.S. *Analiz sistematicheskogo sostava flory kul'tur fitotsenozov duba Srednego Povolzh'ya* [Analysis of the systematic composition of the flora of oak phytocenosis cultures in the Middle Volga]. Biologicheskie osnovy povysheniya produktivnosti [Biological bases for increasing productivity]. Gorky: Izd-vo GSU, 1982, pp. 33–35.
- [26] Shmidt V.M. *Flora Arkhangel'skoy oblasti* [Flora of the Arkhangel'sk region]. St. Petersburg: Publishing house of St. Petersburg State University, 2005, 346 p.
- [27] Aleksandrova Yu.V. *Boyaryshniki — perspektivnye introdutsenty dlya ozeleneniya severnykh gorodov* [Hawthorns are promising introducers for landscaping northern cities]. Nauka — lesnomu khozyaystvu severa: sb. nauchnykh trudov FBU «Severnyy nauchno-issledovatel'skiy institut lesnogo khozyaystva» [Science — Forestry of the North: Sat. scientific papers of the FBU «Northern Research Institute of Forestry»]. Ed. N.A. Demidov. Arkhangel'sk: Northern Research Institute of Forestry, 2019, pp. 194–198.

- [28] Andronova M.M., Babich N.A., Khamitov R.S. *Stupenchataya introduktsiya drevesnykh rasteniy na severe Russkoy ravniny* [Stepwise introduction of woody plants in the north of the Russian Plain]. Arkhangelsk: NArFU, 2021, 412 p.
- [29] Ivanova E.E., Bibich N.A. Evaluation of main parameters for the growth model of pine crops in the European north of Russia. *Journal of Agriculture and Environment*, 2022, no. 1 (21), at. no. 12.
- [30] Zalyvskaya O.S., Igamberdieva A. *Perspektivnye porody dlya ozeleneniya severnykh gorodov* [Nauka — Promising breeds for landscaping northern cities]. *Sel'skoe i lesnoe khozyaystvo: innovatsionnye napravleniya razvitiya: sb. nauchnykh trudov Vserossiyskoy nauchno-prakticheskoy konferentsii s mezhdunarodnym uchastiem, Vologda, Molochnoe, 08 dekabrya 2020 goda* [Agriculture and forestry: innovative directions of development: Sat. scientific papers of the All-Russian scientific and practical conference with international participation], Vologda, Molochnoe, December 08, 2020. Vologda, Molochnoe: Vologda state dairy farming academy named after N.V. Vereshchagin, 2021, pp. 23–27.
- [31] Karbasnikova E.B., Babich N.A. *Rekomendatsii po assortimentu drevesnykh i kustarnikovykh rasteniy dlya ozeleneniya promyshlennykh gorodov Vologodskoy aglomeratsii* [Recommendations on the range of woody and shrubby plants for landscaping industrial cities of the Vologda agglomeration]. Arkhangelsk: NArFU, 2021, 60 p.
- [32] Nurumbetova Kh.S., Saparov S.I. *Primenenie Berberis amurensis Rupr. V ozelenenii severnykh gorodov* [Application of *Berberis amurensis* Rupr. in the landscaping of northern cities]. *Lomonosovskie nauchnye chteniya studentov, aspirantov i molodykh uchenykh – 2022: sb. materialov konferentsii v 2-kh tomakh* [Lomonosov scientific readings of students, graduate students and young scientists – 2022: coll. conference materials in 2 volumes], Arkhangelsk, April 01–30, 2022. Arkhangelsk: Northern (Arctic) Federal University named after M.V. Lomonosov, 2022, pp. 356–358.
- [33] P'yankova N.V., Zalyvskaya O.S. *Assortiment ozeleneniya Pinezhskogo rayona Arkhangel'skoy oblasti* [Assortment of landscaping in the Pinezhsky district of the Arkhangelsk region]. *Landshaftnaya arkhitektura: traditsii i perspektivy — 2022: mater. I Vserossiyskoy nauchno-prakticheskoy konferentsii* [Landscape architecture: traditions and prospects — 2022: mater. I All-Russian Scientific and Practical Conference], Yekaterinburg, December 15–16, 2022. Yekaterinburg: Ural State Forestry Engineering University, 2022, pp. 145–150.
- [34] Babich N.A., Karbasnikova E.B. *Naturalizatsiya vidov dendroflory v usloviyakh introduktsionnogo stressa* [Naturalization of dendroflora species under conditions of introduction stress]. Arkhangelsk: NArFU, 2022, 236 p.

Authors' information

Zalyvskaya Ol'ga Sergeevna✉ — Dr. Sci. (Agriculture), Associate Professor of the Northern (Arctic) Federal University named after M.V. Lomonosov, o.zalyvskaya@narfu.ru

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

Khamitov Renat Salimovich — Dr. Sci. (Agriculture), Professor of the Vologda State Dairy Farming Academy named after N.V. Vereshchagin, r.s.khamitov@mail.ru

Received 25.11.2022.

Approved after review 16.12.2022.

Accepted for publication 30.01.2023.

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

МИКРОРЕЛЬЕФ ПОВЕРХНОСТИ ЛИСТЬЕВ ДИКОРАСТУЩЕЙ АЙВЫ *CYDONIA OBLONGA* MILL. (ROSACEAE) ЛЕСНЫХ ФИТОЦЕНОЗОВ ПРЕДГОРИЙ ДАГЕСТАНА

Т.Х. Кумахова^{1✉}, А.В. Бабоша², А.С. Рябченко², Д.М. Анатов³

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

²ФГБУН «Главный ботанический сад им. Н.В. Цицина Российской академии наук» (ГБС РАН), Россия, 127276, Москва, Ботаническая ул., д. 4

³ФГБУН Горный ботанический сад ДФИЦ РАН, Россия, 367000, г. Махачкала, ул. М. Гаджиева, д. 45

tkumachova@yandex.ru

Представлены материалы исследования особенностей микроморфологии поверхности листьев дикорастущей айвы *Cydonia oblonga* Mill. (Rosaceae) методом криосканирующей электронной микроскопии. Единственным ареалом произрастания дикорастущей айвы в России является южная часть Дагестана. Горные лесные фитоценозы Дагестана дают уникальные площадки для изучения приспособительного потенциала растений, поскольку условия произрастания изменяются не только сообразно смене времен года, но и напрямую зависят от высоты расположения над уровнем моря. Определены микроморфологические и микроструктурные особенности адаксиальной (верхней) и абаксиальной (нижней) поверхностей исследованных образцов. Обнаружены различия эпидермы на этих поверхностях не только в структурной организации, но и в микроморфологии. Охарактеризована кутикулярная складчатость в виде микротяжей на основных клетках эпидермы как наиболее яркая черта микроморфологии адаксиальной и абаксиальной поверхностей листовой пластинки, а также выявлены околоустьичные радиальные тяжи, перистоматические кольца и выступы в области устьиц. Установлено, что листья гипостоматные с аномоцитными устьицами двух типов (первичными и вторичными), независимо от места произрастания плодовых растений, отличаются качественными и количественными показателями. Первичные устьица имели более рельефный кутикулярный орнамент, а также больший размер, по сравнению с более мелкими вторичными. Сделан вывод о том, что наличие нескольких типов кутикулярной складчатости, устьичный полиморфизм листьев дикорастущей айвы — это общие черты, свойственные другим исследованным видам подсемейства Рутинae (ранее Maloideae (Rosaceae)). Согласно полученным данным, выявленные особенности кутикулярной складчатости стабильны в пределах вида и могут быть использованы в качестве дополнительных таксономических признаков.

Ключевые слова: микрорельеф, кутикулярная складчатость, устьица, эпидерма, айва дикорастущая

Ссылка для цитирования: Кумахова Т.Х., Бабоша А.В., Рябченко А.С., Анатов Д.М. Микрорельеф поверхности листьев дикорастущей айвы *Cydonia oblonga* Mill. (Rosaceae) лесных фитоценозов предгорий Дагестана // Лесной вестник / Forestry Bulletin, 2023. Т. 27. № 2. С. 76–86. DOI: 10.18698/2542-1468-2023-2-76-86

Наблюдаемый с каждым годом все увеличивающийся антропогенный прессинг и перманентно изменяющиеся условия среды приводят к постепенному обеднению и сокращению ареалов произрастания дикорастущих видов покрытосеменных растений. Между тем многие из них несут в себе огромный потенциал генетических признаков и участвовали в происхождении современных культурных форм (сортов). Микроморфологические характеристики поверхности листьев содержат весьма полезную информацию для разработки методологических подходов к сохранению генофонда растений, в частности, при выращивании в условиях культуры, в коллекциях ботанических садов и других интродукционных центрах, а также для внедрения в зеленом хозяйстве (*ex situ*). Кроме того, сведения об особенностях микроморфологии поверхности листьев важны при проведении

селекционных мероприятий по усовершенствованию и отбору высокоустойчивых к различным фитопатогенам и хозяйственно ценных форм, а также при прогнозировании свойств полученных гибридов и определения перспектив их интродукции в зоны с климатическими рисками.

Особенности кутикулярной складчатости имеют существенное значение в формировании устойчивости к различным биотическим стрессорам, в первую очередь, грибной этиологии. Кутикулярные складки изменяют характер смачиваемости поверхности листьев. Водяные капли вследствие высокого поверхностного натяжения касаются только верхних кромок кутикулярных гребней, поэтому легко скатываются с эпидермы [1, 2]. Кутикулярные складки также участвуют в согласовании некоторых параметров роста листьев, они изменяют механические свойства, придавая жесткость и прочность на изгиб [3]. Приуроченность закономерного организованного микрорельефа



Рис. 1. Ареал распространения айвы дикорастущей (*Cydonia oblonga* Mill.) на Кавказе по Лихонос и др. (1983) [20]

Fig. 1. Distribution area of wild quince (*Cydonia oblonga* Mill.) in the Caucasus according to Likhonos et al. (1983) [20]

к клеткам устьичного комплекса позволила предположить его участие в работе устьиц [4–7]. Кроме того, особенности строения микрорельефа поверхности эпидермы листьев обладают высоким уровнем стабильности в пределах вида. Это позволяет использовать особенности микрорельефа в качестве диагностических признаков в систематике растений [8–10]. Исследователи неоднократно обращали внимание на связь между поверхностными микроструктурами и средой обитания растений. Однако, как отмечают некоторые авторы [11], условия произрастания растений крайне слабо влияют на организацию кутикулярной складчатости поверхности. Тем не менее не вызывает сомнения то, что поверхностные структуры выполняют барьерные функции, имея существенное значение для адаптации растений к тем или иным условиям произрастания. Нельзя исключить, что параметры микроструктурной организации эпидермы могут варьировать при различных сочетаниях факторов внешней среды [12, 13]. Однако до настоящего времени некоторые вопросы микроморфологической организации эпидермы листьев представителей семейства Rosaceae (подсемейство Рuginae (ранее Maloideae)) остаются недостаточно изученными [14–17].

К группе перспективных для данного исследования дикорастущих видов семейства Rosaceae относится айва дикорастущая (*Cydonia oblonga* Mill.), единственным ареалом произрастания которой в России является юг Дагестана [18]. Сведения об ареалах произрастания айвы дикорасту-

щей имеются и в более ранних работах [19–23]. Есть сведения о том, что Кавказ и примыкающие к нему районы Малой Азии, а также Ирана являются первичными центрами основного потенциала генетического разнообразия *C. oblonga* Mill. [24]. Согласно экспедиционным материалам Всероссийского института растениеводства (ВИР) и других исследовательских центров, выделено три основных района распространения айвы дикорастущей *C. oblonga* Mill.: 1) Талыш (Тетерский район Азербайджана); 2) Западный Копетдаг (Туркмения); 3) юг Дагестана с прилегающими к нему Кубинским и Девичинским районами Азербайджана. В Южно-Дагестанском ареале распространения (от р. Самур до с. Каякент), который является второй подзоной северо-восточного склона Главного Кавказского хребта, айва *C. oblonga* Mill. произрастает большими сплошными зарослями, отдельными куртинами и кустами почти повсеместно (приморская низменная зона, долины рек и редколесье на горных склонах). В Южном Дагестане дикорастущая айва *C. oblonga* Mill. встречается не только в приморской низменной полосе, но и в предгорной зоне — до высоты 500...800 м н. у. м., а в отдельных районах Закавказья и до 1200...1450 м. Айва дикорастущая в Дагестане имеет ограниченный ареал: в северном направлении она встречается значительно реже, небольшими зарослями произрастает на лесистых склонах и в районе г. Махачкалы, а также по берегам рек вблизи г. Хасавюрта и вдоль р. Терек западнее г. Грозного (рис. 1) [25].

Здесь же и проходит северная граница ареала распространения айвы дикорастущей *C. oblonga* Mill. Важно, что кавказский ареал распространения айвы дикорастущей *C. oblonga* Mill. считается вторичным. Очевидно, дикорастущая айва *C. oblonga* Mill. является единственным видом-предком южных (кавказских) сортов культурной айвы, поскольку впервые она была одомашнена и введена в культуру на Кавказе [26, 27].

Дикорастущая айва *C. oblonga* Mill. — единственный представитель монотипного рода *Cydonia* Mill., подсемейства Pyrinae (раннее Maloideae) семейства Rosaceae [28–30], кустарник или небольшое деревце высотой 1,5 м и более, произрастает в сообществе с боярышником, мушмулой, терном, алычой, шиповником, грушей кавказской и др. Как отмечено выше, распространена до высоты 700...800 м н. у. м. Это светолюбивое жароустойчивое растение с одиночными бледно-розовыми цветками на коротких опушенных цветоножках. Листья яйцевидные или овальные, цельнокрайние, на адаксиальной поверхности темно-зеленые голые, на абаксиальной — сероволочные с опушенным черешком. Плод — яблоко, ребристое, груше- или яблочковидный, либо почти шаровидный, созревает в октябре. На ранних стадиях формирования — плоды с войлочным опушением, при созревании — с лимонно- или темно-желтым сползающим волосковым покрытием. Плоды богаты многими ценными веществами: витаминами, органическими кислотами, микроэлементами, пектинами, полифенолами, а также жирными кислотами [31–32]. *C. oblonga* Mill. хороший медонос, обладает лекарственными свойствами, имеет прекрасные декоративные качества: крупные белые слегка розоватые цветки имеют нежный аромат и ярко-желтые плоды. Она скороплодна, ежегодно плодоносит, устойчива к вредителям и болезням, легко размножается (прививкой, черенками, порослью и семенами). Наряду с этим, *C. oblonga* Mill. обладает хорошими экологическими качествами, солевынослива, пыле- и газоустойчива. Особая ценность в том, что айва дикорастущая *C. oblonga* Mill. является лучшим подвоем для груши, ее можно использовать для создания высокоинтенсивных пальметтных садов большой экономической эффективности.

Цель работы

Цель работы — сравнительное изучение микроморфологии адаксиальной и абаксиальной поверхностей эпидермы листьев дикорастущей айвы *C. oblonga* Mill., произрастающей на юге Дагестана.

Материалы и методы

Объектом исследования были закончившие рост листья *C. oblonga* Mill. Материал собрали в контрастных экологических зонах высотой (–6, 212 и 750 м н. у. м.). Образцами были зрелые листья средних размеров, которые отбирали из средней части кроны трех модельных деревьев в 3-кратной повторности.

Места сбора образцов (рис. 2):

1) г. Махачкала, Эльтавский лес — высота –6 м н. у. м.; координаты 42°59'42,3" с. ш.; 47°26'16,6" в. д.; почвы глинисто-песчаные; низины в окрестностях г. Махачкалы сезонно заболачиваемые; заросли айвы находятся в искусственных насаждениях тополя с участием боярышника, терна, тамарикса, ясеня, ивы;

2) Дербентский район, дорога между селами Геджух и Дюбек — высота 212 м н. у. м.; координаты 42°04'4,2" с. ш.; 47°59'49,7" в. д.; северные и северо-восточные пологие склоны; крутизна склонов 0...10°; почвы лесные и луговые каштановые; айва произрастает на обочинах дорог и опушках буково-грабовых лесов;

3) Табасаранский район, дорога между селами Дюбек и Хапиль — высота 740 м н. у. м.; координаты 42°00'6,3" с. ш.; 47°58'37,8" в. д.; крутизна склонов 5...25°; почвы лесные и луговые каштановые; северные и северо-восточные пологие склоны; леса широколиственные буково-грабовые с участием мушмулы, терна, черешни, боярышника, шиповника, груши кавказской, алычи растопыренной.

Исследования проводили с помощью сканирующего электронного микроскопа (СЭМ) LEO 1430 VP (*Carl Zeiss*) экспресс-методом криоСЭМ. Фрагменты (1 см²) живых листьев вырезали из средней части и края пластинки, помещали на столик замораживающей приставки *Deben CoolStage*, охлаждали до –30 °С и изучали в режиме высокого вакуума. Для детализации элементов микроструктурной организации поверхности листьев при больших увеличениях в работе использовали образцы, подготовленные по методу криоСЭМ с последующим напылением металлом в камере вакуумной ионно-распылительной установки [33].

Результаты и обсуждение

Независимо от условий произрастания листья дикорастущей айвы *C. oblonga* Mill. были гипостоматного типа, устьица присутствовали только в абаксиальной (нижней) эпидерме (рис. 3).

Эпидерма на адаксиальной (верхней) и абаксиальной поверхностях различалась не только структурной организацией, но и спецификой микроморфологии.



а



б



в



г

Рис. 2. Места сбора образцов айвы дикорастущей: а — окрестность г. Махачкалы, Эльтавский лес; б — Дербентский район, дорога между селами Геджух и Дюбек; в, г — Табасаранский район, дорога между селами Дюбек и Хапиль

Fig. 2. Places of wild quince samples: а — the vicinity of the city of Makhachkala, Eltavsky forest; б — Derbent region, the road between the villages of Gedzhukh and Dyubek; в, г — Tabasaran district, the road between the villages of Dubek and Khapil

Адаксиальная поверхность листовой пластинки была представлена тканью, составленной из однотипных клеток эпидермы, покрытых кутикулой в виде складок. Мощные длинные и извилистые с анастомозами складки кутикулярной природы, переплетаясь между собой, образовывали сетчатую структуру — специфический микрорельеф по всей поверхности листовой пластинки (см. рис. 3, а, б). В СЭМ антиклинальные стенки (почти прямые либо слабоволнистые) клеток адаксиальной эпидермы плохо просматривались вследствие многочисленных складок, которые располагались густыми параллельными микротяжами не только на поверхности самой эпидермы, но и поверх границы стенок нескольких соседних клеток, соединяя их в единую систему (см. рис. 3, а).

Особенности абаксиальной поверхности листовой пластинки — это гетерогенность и полифункциональность, вхождение в ее состав клеток разных типов: клеток основной эпидермы, клеток устьиц и трихом, или волосков (см. рис. 3, в, г, рис. 4, а–в). Антиклинальные стенки основных клеток абаксиальной эпидермы в очертаниях извилистые. Кроме того, для абаксиальной поверхности характерна сильная опушенность с равномерным распределением трихом (см. рис. 4, а). Трихомы простые, очень длинные, несколько извилистые, без определенной ориентации. Они либо сохранялись на протяжении всей жизни листа, либо опадали на ранней стадии развития или по окончании роста пластинки (см. рис. 4, в).

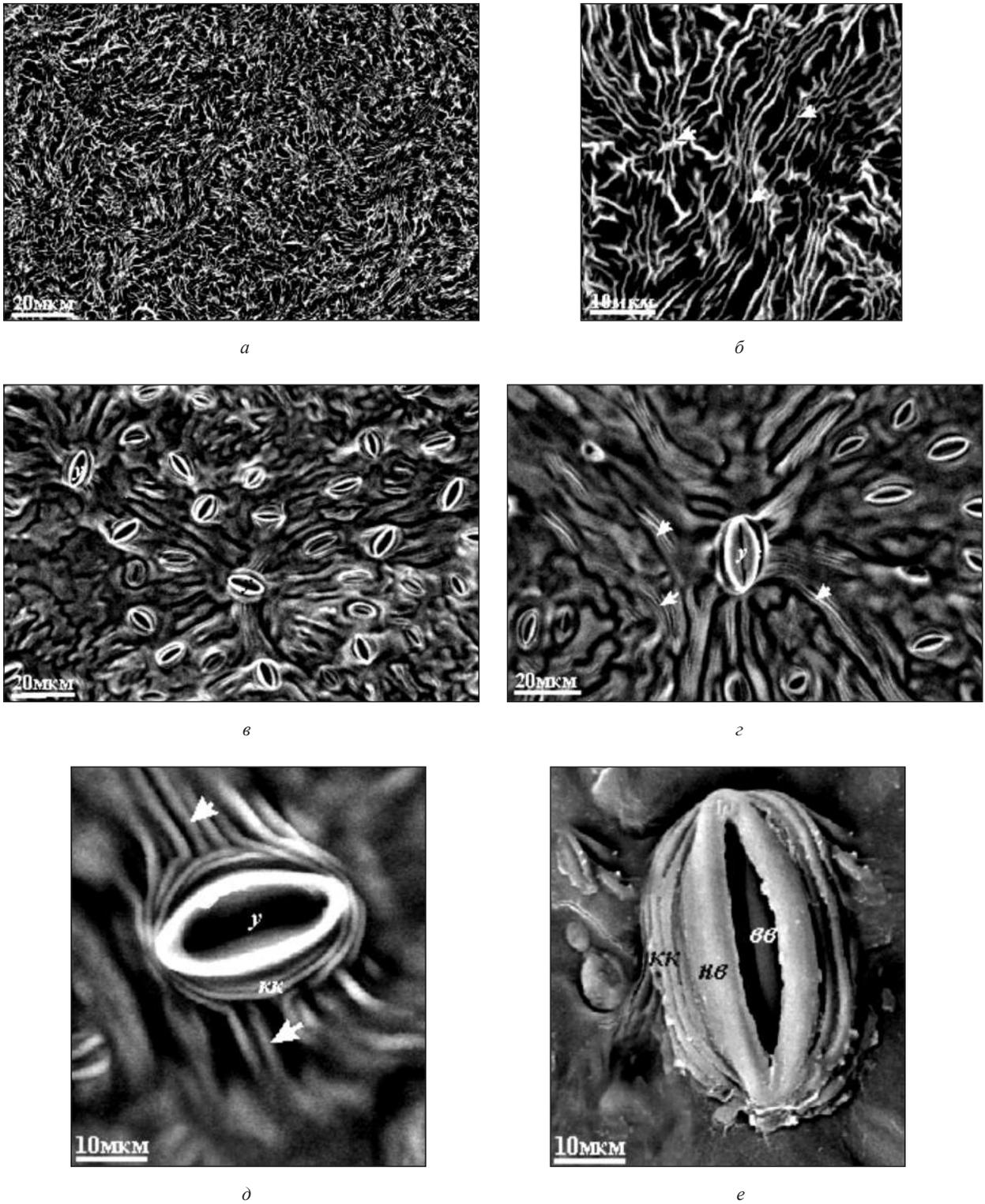


Рис. 3. Фрагменты адаксиальной (*а, б*) и абаксиальной (*д-з*) поверхностей листа *C. oblonga* Mill. (Rosaceae): *а* — общий вид кутикулярной складчатости; *б* — увеличенный фрагмент, специфика расположения микроотражений; *в* — общий вид абаксиальной поверхности; *з* — специфика расположения первичных и вторичных устьиц; *д* — околоустьичные радиальные микроотражения; *е* — перистоматические кольца и выступы; обозначения: *вв* — внутренний выступ, *кк* — концентрические перистоматические кольца, *нв* — наружный выступ, *у* — устьица; стрелкой показаны микроотражения

Fig. 3. Fragments of the adaxial (*a, б*) and abaxial (*д-з*) leaf surfaces of *Cydonia oblonga* Mill. (Rosaceae): *a* — general view of cuticular folding; *б* — enlarged fragment, specific location of microstrands; *в* — general view of the abaxial surface; *з* — specific location of primary and secondary stomata; *д* — stomatal radial microstriations; *е* — peristomatic rings and protrusions; designations: *вв* — internal protrusion, *кк* — peristomatic rings, *нв* — external protrusion; *у* — stomata; the arrow shows microstrands

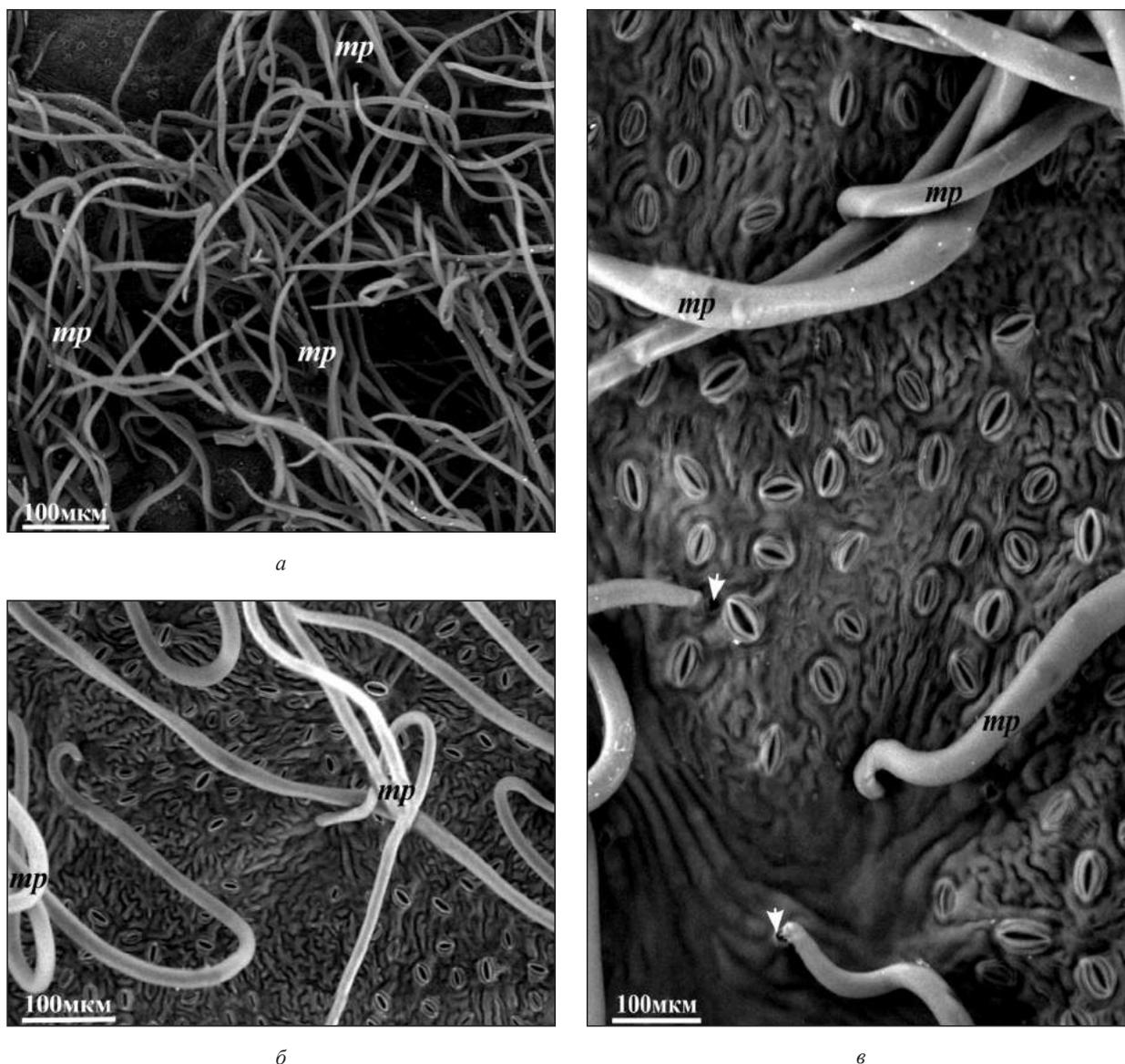


Рис. 4. Трихомы на абаксиальной стороне поверхности листа *C. oblonga* Mill. (Rosaceae): *a* — общий вид; *б, в* — фрагменты поверхности с трихомами и устьицами; обозначения: *тр* — трихома; стрелкой показано основание опадающей трихомы
Fig. 4. Trichomes on the abaxial side of the leaf surface of *Cydonia oblonga* Mill. (Rosaceae): *a* — general view; *б, в* — fragment of the surface with trichomes and stomata; designations: *тр* — trichome; the arrow shows the base of fallen trichomes

Устьица многочисленные, аномоцитного типа, окружающие их клетки почти не отличаются от основных клеток эпидермы. На некоторых участках листовой пластинки выделяются крупные одиночные «первичные» устьица, которые располагаются в центре основной массы на довольно большом расстоянии от остальных «вторичных» более мелких либо ювенильных или недоразвитых (см. рис. 3, *в, г*).

Наряду с этими особенностями на абаксиальной поверхности листьев наблюдали два типа кутикулярных складок, ассоциированных с устьицами: в первом случае перистоматические кольца опоясывали обе замыкающие клетки целиком и от них отходили микротяжи, расходящиеся в радиальном

направлении; во втором — тяжи от устьиц расхо-дились в разных направлениях, соединя замы-кающие и примыкающие к ним основные клетки эпидермы в единый структурно-функциональный комплекс. Кольца располагались либо непосредственно на покровных клеточных стенках вокруг наружных выступов (краевые устьичные кольца), либо на самих наружных выступах (см. рис. 3, *г-е*).

В проявлении структурного разнообразия абаксиальной эпидермы участвует множество факторов, влияющих на процессы дифференциации клеток. Основными факторами считаются механические напряжения и деформации, возникающие в ювенильной ткани при делении и растяжении клеток [34–37]. Первичные устьица

закладываются раньше вторичных, они намного быстрее заканчивают рост, чем окружающие их клетки, а также начинают функционировать при разном состоянии покровной ткани. Для эпидермы листьев типичным является разновременное «созревание» структурных элементов, что приводит к сочетанию в ней разных клеток: делящихся, активно растущих, дифференцирующихся и зрелых. Вероятно, это способствует возникновению полей механических напряжений и деформаций. Помимо того кутикулярная складчатость, вероятно, уменьшает смачиваемость поверхности листа: капли воды вследствие высокого поверхностного натяжения касаются только внешних кромок кутикулярных гребней и скатываются с эпидермы, поэтому споры многих патогенных грибов, которые не очень прочно могли зацепиться за складки кутикулы, легко смываются с поверхности при дождевых осадках [38]. По нашим данным, особенности строения микрорельефа эпидермы листьев *C. oblonga* Mill. обладают высоким уровнем стабильности в пределах вида, что дает возможность использовать их в качестве дополнительного таксономического признака.

Выводы

Исследование кутикулярной складчатости на адаксиальной (верхней) и абаксиальной (нижней) поверхностях листьев *Cydonia oblonga* Mill. проведено с использованием метода сканирующей электронной микроскопии замороженных образцов (криоСЭМ). Этот метод позволяет изучать практически нативные образцы, не подвергшиеся дополнительным процедурам фиксации, которые могли бы привести к появлению артефактов. Поверхность исследованных образцов дикорастущей айвы (*C. oblonga*) имеет некоторые микроструктурные особенности. Независимо от места произрастания листья исследованного вида гипостоматные с аномоцитными устьицами двух типов. Первичные устьица, как правило, большего размера, по сравнению с более мелкими вторичными. Наиболее яркая черта микроморфологии листьев — кутикулярная складчатость в виде микротяжей на основных клетках адаксиальной и абаксиальной эпидермы, а также околоустьичные радиальные тяжи, перистоматические кольца и выступы. При этом первичные устьица и прилегающие к ним клетки имеют более рельефный кутикулярный орнамент. Следует отметить, что наличие нескольких типов кутикулярной складчатости, а также устьичный полиморфизм в листьях дикорастущей айвы являются общими чертами других ранее исследованных видов подсемейства *Ruginae* (Rosaceae).

Адаксиальная и абаксиальная поверхности листовой пластинки различаются не только особенностями строения (наличие или отсутствие

устьиц и трихом), но и спецификой организации микрорельефа. В отличие от адаксиальной, поверхностные структуры абаксиальной эпидермы включают в себя околоустьичные складки разной конфигурации, перистоматические кольца и валики, что обусловлено функциональной нагрузкой эпидермальной ткани. Эти структуры, на наш взгляд, также могут участвовать в формировании устойчивости к биотическим стрессорам, в частности грибной этиологии. При исследовании поверхности листьев с помощью криоСЭМ непосредственно из природных условий можно получить наглядную информацию о структуре и отдельных видах в сообществе микробиоты, что дает немаловажные сведения для оценки их экофизиологического состояния. В настоящей работе, приведены данные об экологии айвы дикорастущей *C. oblonga* Mill. лесного фитоценоза и особенностях тонкого строения эпидермы листьев *C. oblonga* Mill. На наш взгляд, они представляют интерес, как для прикладных, так и для теоретических, прежде всего экологических и мониторинговых исследований, а также для решения ботанических вопросов, касающихся таксономических проблем.

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

Список литературы

- [1] Зитте П., Вайлер Э.В., Кадерайт Й.В., Брезински А., Кернер К. Ботаника. Учебник для вузов. Том 1. Клеточная биология. Анатомия. Морфология. М.: Академия, 2007. 368 с.
- [2] Voronkov A.S., Kumachova T.K., Ivanova T.V. Plant Passive Immunity: Micromorphological and Biochemical Features of the Maloideae (Rosaceae) External Tissues // Current Research Trends in Biological Science, 2020, v. 1, pp. 1–16. DOI: 10.9734/bpi/crtbs/v1
- [3] Паутов А.А., Васильева В.А. Роль формы основных клеток эпидермы в морфогенезе листа представителей Hamamelidaceae // Ботанический журнал, 2010. Т. 95. № 5. С. 338–344.
- [4] Pautov A., Ivanova O., Krylova E., Sapach Y., Gussarova G., Bauer S. Role of the outer stomatal ledges in the mechanics of guard cell movements // S. Trees – Structure and Function, 2017, v. 31, no. 1, pp. 125–135.
- [5] Pautov A., Bauer S., Ivanova O., Krylova E., Olga Yakovleva, Sapach Y., Pautova I. Influence of stomatal rings on movements of guard cells // Trees, 2019, t. 33, no. 5, pp. 1459–1474.
- [6] Kumachova T.Kh., Babosha A.V., Ryabchenko A.S., Ivanova T.V., Voronkov A.S. Leaf Epidermis in Rosaceae: Diversity of the Cuticular Folding and Microstructure // Proc. Natl. Acad. Sci., India Sect. B: Biol. Sci., 2021, v. 91(2), pp. 455–470.
- [7] Паутов А.А. Сапач Ю.О., Трухманова Г.Р., Яковлева О.В., Крылова Е.Г., Паутова И.А. Структурное разнообразие устьичных и перистоматических колец. Ботанический журнал, 2022. Т. 107. № 9. С. 869–884.
- [8] Carr S.G.M., Carr D.G. Cuticular features of the Central Australian bloodwoods Eucalyptus, section Corymbosae (Myrtaceae) // Bot. J. Linn., 1990, v. 102, pp. 123–156.

- [9] Fontenelle G.B., Costa C.G., Machado R.D. Foliar anatomy and micromorphology of eleven species of *Eugenia* L. (Myrtaceae) // *Bot. J. Linn. Soc.*, 1994, v. 116, pp. 111–133. <https://doi.org/10.1006/bojl.1994.1056>
- [10] Akçin Ö.E., Şenel G., Akçin Y. Leaf epidermis morphology of some *Onosma* (Boraginaceae) species from Turkey // *Turk. J. Bot.*, 2013, v. 37, pp. 55–64. <https://doi.org/10.3906/bot-1202-33>
- [11] Паутов А.А., Сапач Ю.О., Иванова О.В., Крылова Е.Г. Микрорельеф поверхности листьев цветковых растений: устьичные кольца и выступы // *Ботанический журнал*, 2014. Т. 99. № 6. С. 625–640.
- [12] Lawal I.O., Olaniyi a. M. B., Rufai a. S.O., Aremu A.O. Comparative assessment of the foliar micromorphology, phytochemicals and elemental composition of two cultivars of *Persea americana* Mill leaves // *Scientific African*, 2021, t. 14, p. e01034.
- [13] Sagaradze V.A., Kalenikova E., Babaeva E. Yu., Trusov N.A. Quantitative Anatomical Characteristics of the Leaf Blades of the Several Species of *Crataegus* L // *Drug development & registration*, 2021, t. 10, no. 4, pp. 138–146.
- [14] Warabieda W., Olszak R.W., Dyki B. Morphological and anatomical characters of apple leaves associated with cultivar susceptibility to spider mite infestation // *Acta Agrobotanica*, 1997, v. 50, no. 1–2, pp. 53–64.
- [15] Ganeva Ts., Uzunova K. Comparative leaf study in species of genus *Malus* Mill. (Rosaceae) // *Botanica Serbica*, 2010, v. 34(1), pp. 45–49.
- [16] Кумахова Т.Х., Воронков А.С., Бабоша А.В., Рябченко А.С. Морфофункциональная характеристика листьев и плодов *Maloideae* Werber (Rosaceae Juss.): а). Микроструктура поверхностных тканей // *Тр. прикладной ботаники, генетики и селекции*, 2019. Т. 180. Вып. 1. С. 105–112.
- [17] de Sousa Silva M., Coutinho Í.A.C., Dalvi V.C. Anatomical and histochemical characterization of glands associated with the leaf teeth in *Rhaphiolepis loquata* BB Liu & J. Wen (Rosaceae Juss.) // *Flora*, 2022, t. 293, p. 152110.
- [18] Муртазалиев З.А. Конспект флоры Дагестана / под ред. Р.В. Камелина. Махачкала: Эпоха, 2009. Т. 2. 248 с.
- [19] Медведев Я.С. Деревья и кустарники Кавказа. Тифлис, 1919.
- [20] Воронов Ю.А. Дикорастущие родичи плодовых деревьев и кустарников кавказского края и Передней Азии // *Тр. по прикладной ботанике, генетике и селекции*, 1925. Т. XIV. Вып. 3. С. 31–37.
- [21] Виноградов-Никитин П. Плодовые и пищевые деревья лесов Закавказья // *Тр. по прикладной ботанике, генетике и селекции*. Ленинград: [б. и.], 1929. 211 с.
- [22] Вавилов Н.И. Дикие родичи плодовых деревьев Азиатской части СССР и Кавказа и проблема происхождения плодовых деревьев // *Тр. по прикладной ботанике, генетике и селекции*, 1931. Т. XXVI. Вып. 3. С. 85.
- [23] Ильинский А.А. Грецкий орех и другие плодовые в лесах дельты реки Самур // *Тр. Даг. сель-хоз. Ин-та*, 1941. Т. 3. С. 141–168.
- [24] Вавилов Н.И., Букин Д.Д. Земледельческий Афганистан. Избранные труды. М.; Л.: Изд-во Всесоюзного института прикладной ботаники и новых культур при СНК СССР; Гос. института опытной агрономии НКЗ РСФСР, 1959. Т. 1. С. 342–353.
- [25] Лихонос Ф.Д., Туз А.С., Лобачев А.Я. Культурная флора СССР. Семечковые (яблоня, груша, айва) / под ред. В.Л. Витковского, О.Н. Коровиной. М.: Колос, 1983. Т. XIV. 320 с.
- [26] Кордон Р.Я. Айва СССР // *Тр. по прикл. ботанике, генетике и селекции*, 1953. № 30. Вып. 1. С. 65–101.
- [27] Жуковский П.М. Происхождение культурных растений и их сородичей. Л.: Наука, 1971. 379 с.
- [28] Potter D., Eriksson T., Evans R.C.Oh.S., Oh S.-H. Phylogeny and classification of Rosaceae // *Plant Syst. Evol.*, 2007, v. 266(1), pp. 5–43.
- [29] Chen X., Cheng T., Li J., Zhang W. Molecular systematics of *Rosoideae* (Rosaceae) // *Plant Systematics and Evolution*, 2020, t. 306, pp. 1–12.
- [30] Sun J., Shi S., Li J., Yu J., Wang L., Yang X., Guo L., Zhou Sh. Phylogeny of *Maleae* (Rosaceae) based on multiple chloroplast regions: implications to genera circumscription // *BioMed Research International*, 2018, t. 2018, article ID 7627191. <https://doi.org/10.1155/2018/7627191>
- [31] Камелин Р.В. Розоцветные (Rosaceae). Барнаул: Изд-во ООО «Алтайские странички», 2006. 100 с.
- [32] Иванова Т.В., Воронков А.С., Кузнецова Э.И., Кумахова Т.Х., Жиров В.К., Цыдендамбаев В.Д. Жирные кислоты липидов перикарпия *Cydonia oblonga* Mill. и *Mespilus germanica* L. вовлекаются в адаптацию растений к условиям высотной поясности // *Докл. Академии наук*, 2019. Т. 486. № 5. С. 620–625.
- [33] Рябченко А.С., Бабоша А.В. Применение термопасты в качестве клеящего и теплопроводящего состава при исследовании биологических образцов на сканирующем электронном микроскопе с использованием замораживающей приставки. Патент № 2445660 от 20.03.2012. Бюл. № 8.
- [34] Паутов А.А. Закономерности филломорфогенеза вегетативных органов растений. СПб.: Изд-во С.-Петербургского ун-та, 2009. 219 с.
- [35] Pautov A., Bauer S., Ivanova O., Krylova E., Yakovleva O., Sapach Y., Pautova I. Stomatal rings: structure, functions and origin // *Botanical J. of the Linnean Society*, 2021, t. 195, no. 3, pp. 357–379.
- [36] Babosha A.V., Kumachova, T.K., Ryabchenko A.S., Komarova G.I. Stomata Polymorphism in Leaves of Apple Trees (*Malus domestica* Borkh.) Growing under Mountain and Plain Conditions // *Biology Bulletin*, 2020, v. 47(4), pp. 352–363.
- [37] Babosha A.V., Tamara Kumachova T.K., Andrey Ryabchenko A.S., Komarova G.I. Microrelief of the leaf epidermis and stomatal polymorphism of *Malus orientalis*, *Pyrus caucasica* and *Mespilus germanica* in mountains and plains // *Flora*, 2022, v. 291, p. 152074. DOI: 10.1016/j.flora.2022.152074
- [38] Кумахова Т.Х., Белошапкина О.О., Воронков А.С. Морфофункциональная характеристика листьев и плодов *Maloideae* Werber. (Rosaceae Juss.): б). Роль поверхностных тканей в формировании устойчивости к грибным болезням // *Труды прикладной ботаники, генетики и селекции*, 2019. Т. 180. Вып. 2. С. 95–101. DOI: 10/30901/2227-8834-2019-2-95-101.

Сведения об авторах

Кумахова Тамара Хабаловна[✉] — канд. биол. наук, доцент, ФГБОУ ВО «Российский государственный аграрный университет — МСХА имени К.А. Тимирязева», tkumachova@yandex.ru

Бабоса Александр Валентинович — д-р биол. наук, гл. науч. сотр. лаборатории физиологии и иммунитета растений, ФГБУН «Главный ботанический сад имени Н.В. Цицина Российской академии наук» (ГБС РАН), phimmunitet@yandex.ru

Рябченко Андрей Сергеевич — канд. биол. наук, ст. науч. сотр. лаборатории физиологии и иммунитета растений, ФГБУН «Главный ботанический сад имени Н.В. Цицина Российской академии наук» (ГБС РАН), marchellos@yandex.ru

Анатов Джалалудин Магомедович — канд. биол. наук, ст. науч. сотр., ФГБУН Горный ботанический сад ДФИЦ РАН, djalal@list.ru

Поступила в редакцию 30.11.2022.

Одобрено после рецензирования 10.01.2023.

Принята к публикации 30.01.2023.

CYDONIA OBLONGA MILL. (ROSACEAE) LEAVES MICRORELIEF OF DAGESTAN FOOTHILLS FOREST PHYTOCENOSES

T.Kh. Kumachova^{1✉}, A.V. Babosha², A.S. Ryabchenko², D.M. Anatov³

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

²The N.V. Tsitsin Main Botanical Garden of the Russian Academy of Sciences, 4, Botanicheskaya st., 127276, Moscow, Russia

³Mountain Botanical Garden DFRC RAS, 45, M. Gadzhiev st., 367000, Makhachkala, Republic of Dagestan, Russia

tkumachova@yandex.ru

Cryo-scanning electron microscopy was used to study the micromorphology of the leaf surface of the wild-growing *Cydonia oblonga* Mill. (Rosaceae). The only habitat of wild-growing quince in Russia is the southern part of Dagestan. Mountain forest phytocenoses of Dagestan provide unique grounds for studying the adaptive potential of plants, since growing conditions change not only according to the change of seasons, but also directly depend on the altitude above sea level. The adaxial (upper) and abaxial (lower) surfaces of the studied samples have a number of micromorphological and microstructural features. The epidermis on the adaxial and abaxial sides differed not only in structural organization, but also in the specifics of surface micromorphology. The most striking feature of the micromorphology of the adaxial and abaxial sides of the leaf blade surface is cuticular folding in the form of microstrands on the main cells of the epidermis, as well as radial striations, peristomatic rings, and protrusions in the stomata region. Regardless of the habitat of fruit plants, their leaves were hypostomatous with anomocytic stomata of two types (primary and secondary), differing in qualitative and quantitative indicators. The primary stomata had a more prominent cuticular pattern and were also larger than the smaller secondary stomata. It should be noted that the presence of several types of cuticular folding, as well as stomatal polymorphism, are common features of other studied species of the subfamily Pyrinae, early Maloideae (Rosaceae). According to the data obtained, the identified features of cuticular folding are stable within the species and can be used as additional taxonomic characters.

Keywords: microrelief, cuticular folding, stomata, epidermis, wild quince

Suggested citation: Kumachova T.Kh., Babosha A.V., Ryabchenko A.S., Anatov D.M. *Mikrorel'ef poverkhnosti list'ev dikorastushchey ayvy Cydonia oblonga* Mill. (Rosaceae) lesnykh fitotsenozov predgoriy Dagestana [Cydonia oblonga Mill. (Rosaceae) leaves microrelief of Dagestan foothills forest phytocenoses]. *Lesnoy vestnik / Forestry Bulletin*, 2023, vol. 27, no. 2, pp. 76–86. DOI: 10.18698/2542-1468-2023-2-76-86

References

- [1] Sitte P., Weiler E.W., Caderait J.W., Brezinski A., Kerner K. *Botanika. Uchebnik dlya vuzov. Tom 1. Kletochnaya biologiya. Anatomiya. Morfologiya* [Botanica. Textbook for high schools. Vol. 1. Cell biology. Anatomy. Morphology]. Moscow: Academy, 2007, 368 p.
- [2] Voronkov A.S., Kumachova T.K., Ivanova T.V. Plant Passive Immunity: Micromorphological and Biochemical Features of the Maloideae (Rosaceae) External Tissues. *Current Research Trends in Biological Science*, 2020, v. 1, pp. 1–16. DOI: 10.9734/bpi/crtbs/v1
- [3] Pautov A.A., Vasil'eva V.A. *Rol' formy osnovnykh kletok epidermy v morfogeneze lista predstaviteley Hamamelidaceae* [The role of the shape of the main cells of the epidermis in the leaf morphogenesis of representatives of Hamamelidaceae]. *Botanicheskiy zhurnal* [Botanical Journal], 2010, v. 95, no. 5, pp. 338–344.
- [4] Pautov A., Ivanova O., Krylova E., Sapach Y., Gussarova G., Bauer S. Role of the outer stomatal ledges in the mechanics of guard cell movements. *S. Trees – Structure and Function*, 2017, v. 31, no. 1, pp. 125–135.

- [5] Pautov A., Bauer S., Ivanova O., Krylova E., Olga Yakovleva, Sapach Y., Pautova I. Influence of stomatal rings on movements of guard cells. *Trees*, 2019, t. 33, no. 5, pp. 1459–1474.
- [6] Kumachova T.Kh., Babosha A.V., Ryabchenko A.S., Ivanova T.V., Voronkov A.S. Leaf Epidermis in Rosaceae: Diversity of the Cuticular Folding and Microstructure. *Proc. Natl. Acad. Sci., India Sect. B: Biol. Sci.*, 2021, v. 91(2), pp. 455–470.
- [7] Pautov A.A., Sapach Yu.O., Trukhmanova G.R., Yakovleva O.V., Krylova E.G., Pautova I.A. *Strukturnoe raznoobrazie ust'ichnykh i perisomaticheskikh kolets* [Structural diversity of stomatal and perisomatic rings]. *Botanicheskiy zhurnal* [Botanical Journal], 2022, v. 107, no. 9, pp. 869–884.
- [8] Carr S.G.M., Carr D.G. Cuticular features of the Central Australian bloodwoods *Eucalyptus*, section *Corymbosae* (Myrtaceae). *Bot. J. Linn.*, 1990, v. 102, pp. 123–156.
- [9] Fontenelle G.B., Costa C.G., Machado R.D. Foliar anatomy and micromorphology of eleven species of *Eugenia* L. (Myrtaceae). *Bot. J. Linn. Soc.*, 1994, v. 116, pp. 111–133. <https://doi.org/10.1006/bojl.1994.1056>
- [10] Akçin Ö.E., Şenel G., Akçin Y. Leaf epidermis morphology of some *Onosma* (Boraginaceae) species from Turkey. *Turk. J. Bot.*, 2013, v. 37, pp. 55–64. <https://doi.org/10.3906/bot-1202-33>
- [11] Pautov A.A., Sapach Yu.O., Ivanova O.V., Krylova E.G. *Mikrorel'ef poverkhnosti list'ev tsvetkovykh rasteniy: ust'ichnye kol'tsa i vystupy* [Microrelief of the surface of leaves of flowering plants: stomatal rings and protrusions]. *Botanicheskiy zhurnal* [Botanical Journal], 2014, v. 99, no. 6, pp. 625–640.
- [12] Lawal I.O., Olaniyi a. M. B., Rufai a. S.O., Aremu A.O. Comparative assessment of the foliar micromorphology, phytochemicals and elemental composition of two cultivars of *Persea americana* Mill leaves. *Scientific African*, 2021, t. 14, p. e01034.
- [13] Sagaradze V.A., Kalenikova E., Babaeva E. Yu., Trusov N.A. Quantitative Anatomical Characteristics of the Leaf Blades of the Several Species of *Crataegus* L. *Drug development & registration*, 2021, t. 10, no. 4, pp. 138–146.
- [14] Warabieda W., Olszak R.W., Dyki B. Morphological and anatomical characters of apple leaves associated with cultivar susceptibility to spider mite infestation. *Acta Agrobotanica*, 1997, v. 50, no. 1–2, pp. 53–64.
- [15] Ganeva Ts., Uzunova K. Comparative leaf study in species of genus *Malus* Mill. (Rosaceae). *Botanica Serbica*, 2010, v. 34(1), pp. 45–49.
- [16] Kumachova T.Kh., Voronkov A.S., Babosha A.V., Ryabchenko A.S. *Morfofunktsional'naya kharakteristika list'ev i plodov Maloideae Werber (Rosaceae Juss.): a. Mikrostruktura poverkhnostnykh tkaney* [Morphofunctional characteristics of leaves and fruits of Maloideae Werber (Rosaceae Juss.): a. Microstructure of surface tissues]. *Trudy prikladnoy botaniki, genetike i selektsii* [Proceedings of Applied Botany, Genetics and Breeding], 2019, v. 180, iss. 1, pp. 105–112.
- [17] de Sousa Silva M., Coutinho Í.A.C., Dalvi V.C. Anatomical and histochemical characterization of glands associated with the leaf teeth in *Rhaphiolepis loquata* BB Liu & J. Wen (Rosaceae Juss.). *Flora*, 2022, t. 293, p. 152110.
- [18] Murtazaliev Z.A. *Konspekt flory Dagestana* [Synopsis of the flora of Dagestan]. Ed. R.V. Camelin. Makhachkala: Epoch, 2009, v. 2, 248 p.
- [19] Medvedev Ya.S. *Derev'ya i kustarniki Kavkaza* [Trees and shrubs of the Caucasus]. Tiflis, 1919.
- [20] Voronov Yu.A. *Dikorastushchie rodichi plodovykh derev'ev i kustarnikov kavkazskogo kraya i Peredney Azii* [Wild-growing relatives of fruit trees and shrubs of the Caucasian region and Western Asia]. *Trudy po prikladnoy botanike, genetike i selektsii* [Works on applied botany, genetics and breeding], 1925, v. XIV, iss. 3, pp. 31–37.
- [21] Vinogradov-Nikitin P. *Plodovye i pishchevye derev'ya lesov Zakavkaz'ya* [Fruit and food trees of the forests of Transcaucasia]. *Trudy po prikladnoy botanike, genetike i selektsii* [Works on applied botany, genetics and breeding]. Leningrad, 1929, 211 p.
- [22] Vavilov N.I. *Dikie rodichi plodovykh derev'ev Aziatskoy chasti SSSR i Kavkaza i problema proiskhozhdeniya plodovykh derev'ev* [Wild relatives of fruit trees in the Asian part of the USSR and the Caucasus and the problem of the origin of fruit trees]. *Trudy po prikladnoy botanike, genetike i selektsii* [Works on applied botany, genetics and breeding], 1931, t. XXVI, iss. 3, p. 85.
- [23] Il'inskiy A.A. *Gretskiy orekh i drugie plodovye v lesakh del'ty reki Samur* [Walnut and other fruit trees in the forests of the Samur river delta]. *Tr. Dag. sel'-khoz. In-ta* [Proceedings of the Dagestan agricultural Institute], 1941, v. 3, pp. 141–168.
- [24] Vavilov N.I., Bukinich D.D. *Zemledel'cheskiy Afganistan. Izbrannye trudy* [Agricultural Afghanistan. Selected works]. Moscow; Leningrad: All-Union Institute of Applied Botany and New Cultures under the Council of People's Commissars of the USSR; State. Institute of Experimental Agronomy NKZ RSFSR, 1959, t. 1, pp. 342–353.
- [25] Likhonos F.D., Tuz A.S., Lobachev A.Ya. *Kul'turnaya flora SSSR. Semechkovye (yablonya, grusha, ayva)* [Cultural flora of the USSR. Pome fruits (apple, pear, quince)]. Ed. V.L. Vitkovskiy, O.H. Korovina. Moscow: Kolos, 1983, t. XIV, 320 p.
- [26] Kordon R.Ya. *Ayva SSSR* [Quince USSR]. *Tr. po prikl. botanike, genetike i selektsii* [Works on applied botany, genetics and breeding], 1953, no. 30, iss. 1, pp. 65–101.
- [27] Zhukovskiy P.M. *Proiskhozhdenie kul'turnykh rasteniy i ikh sorodichi* [Origin of cultivated plants and their relatives]. Leningrad: Nauka, 1971, 379 p.
- [28] Potter D., Eriksson T., Evans R.C.Oh.S., Oh S.-H. Phylogeny and classification of Rosaceae. *Plant Syst. Evol.*, 2007, v. 266(1), pp. 5–43.
- [29] Chen X., Cheng T., Li J., Zhang W. Molecular systematics of Rosoideae (Rosaceae). *Plant Systematics and Evolution*, 2020, t. 306, pp. 1–12.
- [30] Sun J., Shi S., Li J., Yu J., Wang L., Yang X., Guo L., Zhou Sh. Phylogeny of Maleae (Rosaceae) based on multiple chloroplast regions: implications to genera circumscription. *BioMed Research International*, 2018, t. 2018, article ID 7627191. <https://doi.org/10.1155/2018/7627191>
- [31] Kamelin R.V. *Rozotsvetnye (Rosaceae)* [Rosaceae (Rosaceae)]. Barnaul: OOO Altai Pages, 2006, 100 p.
- [32] Ivanova T.V., Voronkov A.S., Kuznetsova E.I., Kumachova T.Kh., Zhirov V.K., Tsydendambaev V.D. *Zhirnye kisloty lipidov perikarpiya Cydonia oblonga Mill. i Mespilus germanica L. vovlekayutsya v adaptatsiyu rasteniy k usloviyam vysokoy poyasnosti* [Fatty acids of lipids of the pericarp of *Cydonia oblonga* Mill. and *Mespilus germanica* L. are involved in plant adaptation to the conditions of altitudinal zonality]. *Doklady Akademii nauk* [Reports of the Academy of Sciences], 2019, v. 486, no. 5, pp. 620–625.
- [33] Ryabchenko A.S., Babosha A.V. Primenenie termopasty v kachestve kleyashchego i teploprovodyashchego sostava pri issledovanii biologicheskikh obraztsov na skaniruyushchem elektronnom mikroskope s ispol'zovaniem zamorazhivayushchey pristavki [The use of thermal paste as an adhesive and heat-conducting composition in the study of biological samples on a scanning electron microscope using a freezing attachment]. Patent no. 2445660, 20.03.2012. *Bull.* no. 8.

- [34] Pautov A.A. Zakonomernosti filomorfogeneza vegetativnykh organov rasteniy [Patterns of phylomorphogenesis of the vegetative organs of plants]. St. Petersburg: Publishing House of St. Petersburg University, 2009, 219 p.
- [35] Pautov A., Bauer S., Ivanova O., Krylova E., Yakovleva O., Sapach Y., Pautova I. Stomatal rings: structure, functions and origin. Botanical J. of the Linnean Society, 2021, t. 195, no. 3, pp. 357–379.
- [36] Babosha A. V., Kumachova T. K., Ryabchenko A. S., Komarova G. I. Stomata Polymorphism in Leaves of Apple Trees (*Malus domestica* Borkh.) Growing under Mountain and Plain Conditions // Biology Bulletin, 2020, v. 47(4), pp. 352–363.
- [37] Babosha A.V., Tamara Kumachova T.K., Andrey Ryabchenko A.S., Komavova G.I. Microrelief of the leaf epidermis and stomatal polymorphism of *Malus orientalis*, *Pyrus caucasica* and *Mespilus germanica* in mountains and plains. Flora, 2022, v. 291, p. 152074. DOI: 10.1016/j.flora.2022.152074
- [38] Kumakhova T.Kh., Beloshapkina O.O., Voronkov A.S. Morfofunktsional'naya kharakteristika list'ev i plodov Maloideae Werber. (Rosaceae Juss.): B). Rol' poverkhnostnykh tkaney v formirovaniy ustoychivosti k gribnym boleznyam [Morphofunctional characteristics of leaves and fruits of Maloideae Werber. (Rosaceae Juss.): B). The role of surface tissues in the formation of resistance to fungal diseases]. Trudy prikladnoy botaniki, genetike i selektsii [Proceedings of Applied Botany], Genetics and selection, 2019, v. 180, iss. 2, pp. 95–101. DOI: 10/30901/2227-8834-2019-2-95-101

This study was carried out under Institutional research project No. 122042700002-6 of the Main Botanical Garden of the Russian Academy of Sciences (Moscow, Russia).

Author's information

Kumakhova Tamara Khabalovna ✉ — Cand. Sci. (Biology), Associate Professor, Russian State Agrarian University — Moscow Timiryazev Agricultural Academy, tkumachova@yandex.ru

Babosha Aleksandr Valentinovich — Dr. Sci. (Biology), Chief Researcher of the Laboratory of Physiology and Plant Immunity, N.V. Tsitsin Main Botanical Garden of Russian Academy of Sciences, phimmunitet@yandex.ru

Ryabchenko Andrey Sergeevich — Cand. Sci. (Biology), Senior Researcher Laboratory of Physiology and Plant Immunity, N.V. Tsitsin Main Botanical Garden of Russian Academy of Sciences, marchellos@yandex.ru

Anatov Dzhahaludin Magomedovich — Cand. Sci. (Biology), Senior Researcher, Mountain Botanical Garden of the Dagestan Federal Research Centre of the Russian Academy of Sciences, djalal@list.ru

Received 30.11.2022.

Approved after review 10.01.2023.

Accepted for publication 30.01.2023.

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

ОСОБЕННОСТИ МОНИТОРИНГА КОРИЧНЕВО-МРАМОРОНОГО КЛОПА *HALYOMORPHA HALYS* (STÅL) С ПОМОЩЬЮ ФЕРОМОННЫХ ЛОВУШЕК В УСЛОВИЯХ СЕВЕРНОГО КАВКАЗА

Е.В. Синицына✉, Н.З. Федосеев

ФГБУ «Всероссийский центр карантина растений» (ФГБУ «ВНИИКР»), Россия, 140150, Московская обл., пос. Быково, ул. Пограничная, д. 32

katesinitsyna@gmail.com

Представлены результаты испытаний двух различных типов феромонных ловушек для отлова опасного карантинного вредителя — коричнево-мраморного клопа *Halyomorpha halys* в условиях Северного Кавказа. Показано, что использование малой (подвесной) накопительной пирамидальной ловушки в посадках лесного ореха приводит к увеличению отлова имаго *Halyomorpha halys* на 94 %, а нимф — на 75 %, по сравнению с большой (наземной) накопительной пирамидальной ловушкой. Определены условия, при которых осуществлялся активный отлов нимф и имаго вредителя в феромонные ловушки. Основной отлов нимф (83 %) проходил при температуре от +20 до +25 °С, а имаго (52 %) — при +25...+30 °С. Установлен процент имаго и нимф коричнево-мраморного клопа, отловленных в ловушки, который составил 53 % и 47 %, соответственно.

Ключевые слова: коричнево-мраморный клоп, *Halyomorpha halys*, лесной орех, Северный Кавказ, феромонная ловушка, мониторинг, карантин растений

Ссылка для цитирования: Синицына Е.В., Федосеев Н.З. Особенности мониторинга коричнево-мраморного клопа *Halyomorpha halys* (Stål) с помощью феромонных ловушек в условиях Северного Кавказа // Лесной вестник / Forestry Bulletin, 2023. Т. 27. № 2. С. 87–95. DOI: 10.18698/2542-1468-2023-2-87-95

В связи с обнаружением очагов на территории Российской Федерации в пределах Северного Кавказа и широким распространением в соседних регионах — в Республике Абхазия, Грузии, и других странах Европы, а также в Китае, опасного инвазивного вида насекомого-вредителя — коричнево-мраморного клопа *Halyomorpha halys* (Stål, 1855), актуальной проблемой является мониторинг данного вида, увеличение численности которого может привести к значительным экономическим потерям [1–8]. Вредоносность *H. halys* на юге России в таких регионах, как Краснодарский край и Ставропольский край, Ростовская обл. и Республика Крым, где условия для его развития являются благоприятными, оценивается как высокая [9, 10]. Широкий полифаг наносит существенный вред многим ценным сельскохозяйственным и декоративным культурам, а также лесным породам деревьев, значительно вредит виноградникам [11]. В связи с этим, применение наиболее эффективного метода мониторинга, способного в кратчайшие сроки выявить и уничтожить вредителя, является необходимой и актуальной задачей.

Феромонные ловушки помогают оценить динамику численности *H. halys*, а при масштабных обследованиях территорий обнаружить вредителя в кратчайшие сроки и своевременно

принять меры по локализации и ликвидации очагов его распространения [12–20]. При сравнении и оценке работы различных типов ловушек в полевых условиях наиболее эффективными оказались феромонные ловушки пирамидальной формы [19, 21].

Цель работы

Цель работы — определить, какой тип конструкции ловушки обладает наибольшей улавливающей способностью для нимф и имаго коричнево-мраморного клопа в посадках лесного ореха на территории Северного Кавказа.

Материалы и методы

Полевые испытания проводили в условиях Краснодарского края (г. Сочи) в посадках лесного ореха (лещины) площадью 3 га. При изучении уловистости двух различных типов ловушек для нимф и имаго коричнево-мраморного клопа в полевых условиях использовали малую (подвесную) (рис. 1, а) и большую (наземную) накопительные пирамидальные ловушки (рис. 1, б), разработанные и произведенные в отделе синтеза и применения феромонов ФГБУ «ВНИИКР».

При отлове *H. halys* в плодовых садах наибольшей уловистостью обладала большая наземная ловушка черного цвета по сравнению с прозрачной двухсторонней клеевой пластиной [19]



a



б

Рис. 1. Экспериментальные образцы феромонных ловушек для отлова *Halyomorpha halys* на участке произрастания лещины: *a* — малая (подвесная) накопительная ловушка пирамидальной формы; *б* — большая (наземная) накопительная ловушка пирамидальной формы

Fig. 1. Experimental pheromone traps for catching *Halyomorpha halys* in the hazelnut planting: *a* — a small (hanging) accumulative pyramid shaped trap; *б* — a large (ground) accumulative pyramid shaped trap

и другими видами ловушек для отлова коричнево-мраморного клопа [21, 22]. Поскольку нимфы и имаго *H. halys* имеют тенденцию к передвижению снизу вверх к источнику феромона, количественный отлов возможен и с использованием больших наземных конструкций ловушек [17, 23–26]. В частности, это касается нелетающих форм, т. е. нимф. Привлекаемые источником феромона, они способны преодолевать значительные расстояния до ловушки. При привлечении нимф в подвесные малые ловушки существует вероятность их рассеивания на ветвях и стволе деревьев по пути к аттрактанту, что иногда приводит к снижению отлова [27].

Большая (наземная) пирамидальная ловушка (БНПЛ) в опыте являлась аналогом большой наземной ловушки (оригинальное название — «Dead-Inn black pyramid trap»). В ходе модернизации конструкции ловушки были изменены ее материал, цвет и другие параметры (таблица) [28].

Наземная часть большой ловушки состояла из пластиковых трапов, образующих каналы, которые сужаются от нижнего наземного широкого основания к более узкой вершине на верхнем конце ловушки (см. таблицу, рис. 1, б). Установленная на участке и закрепленная на поверхности почвы специальными железными скобами для фиксации, ловушка направляет насекомых вверх, где находится закрытая прозрачная накопительная колба объемом 1,1 дм³ с ячеистым прозрачным конусом внутри (15,5×12,5 см) с входным отверстием для насекомых диаметром 2 см (см. рис. 1, б). Внутри колбы на ячеистый конус закрепляли диспенсер с нанесенным феромонным препаратом.

Характеристика экспериментальных образцов ловушек для отлова коричнево-мраморного клопа

Characteristics of the trial traps for brown marmorated stink bug catching

Тип ловушки	Характеристика
Малая (подвесная) накопительная пирамидальная ловушка	<p>Высота (общая) — 39,0 см Высота трапов — 15,0 см Ширина одного трапа — 8,5 см Количество трапов — 3 шт. Цвет трапов — темно-зеленый Размер накопительной колбы — 24×8,5 см Объем накопительной колбы — 0,8 дм³ Цвет колбы — прозрачная Высота ячеистого конуса — 15,0 см Диаметр ячеистого конуса, верхняя часть — 1,2 см Диаметр ячеистого конуса, нижняя часть — 8,5 см Цвет ячеистого конуса — белый Кольцо отсекающее — светло-зеленый</p>
Большая (наземная) накопительная пирамидальная ловушка	<p>Высота (общая) — 55,0 см Высота трапов — 50,5 см Ширина одного трапа — 20 см Количество трапов — 4 шт. Цвет трапов — коричневый Размер накопительной колбы — 13,5×13×10,5 см Объем накопительной колбы — 1,1 дм³ Цвет колбы — прозрачная Высота ячеистого конуса — 15,5 см Диаметр ячеистого конуса, верхняя часть — 2,0 см Диаметр ячеистого конуса, нижняя часть — 12,5 см Цвет ячеистого конуса — прозрачный</p>

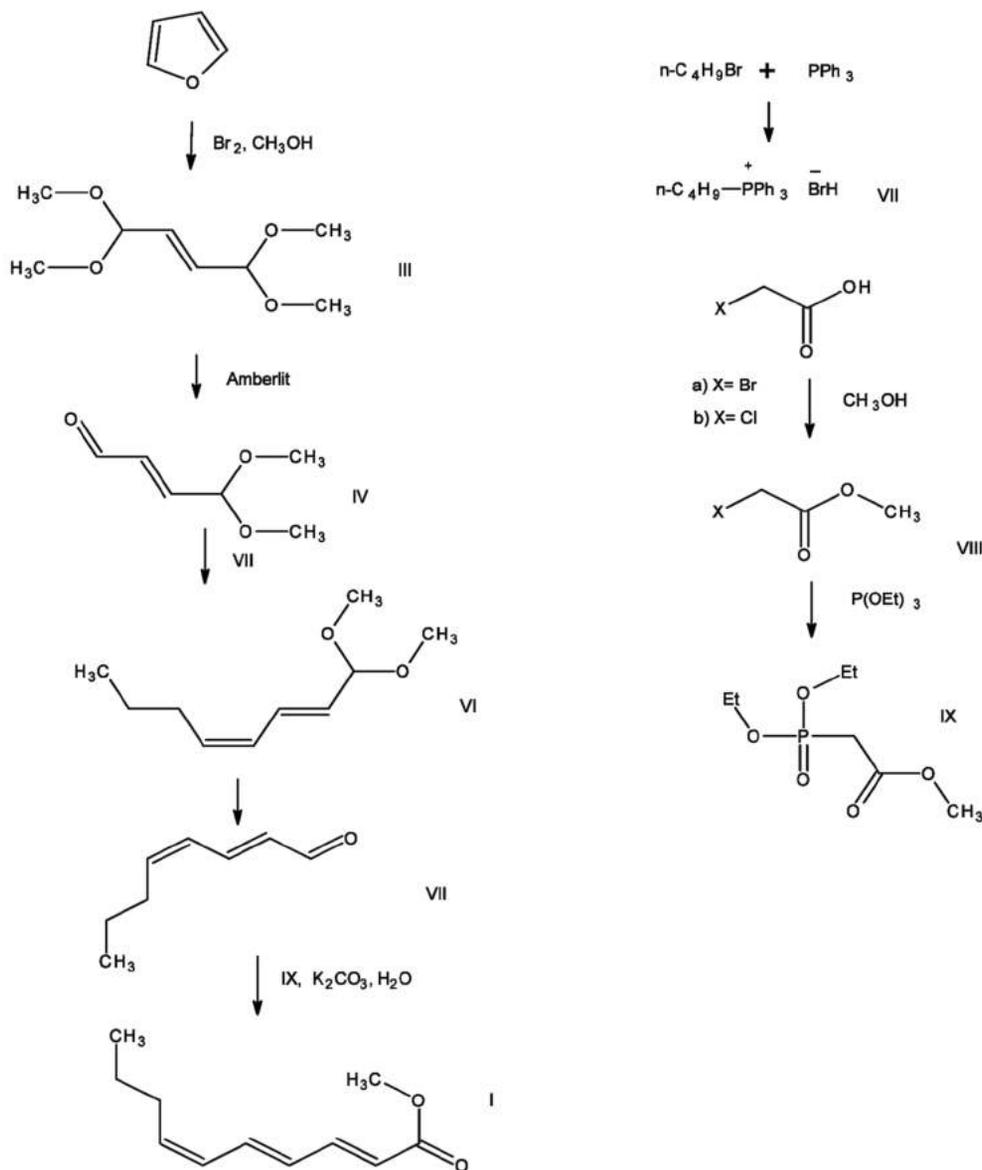


Рис. 2. Схема синтеза метил(*E,E,Z*)-2,4,6-декатриеноата, разработанная в отделе синтеза и применения феромонов ФГБУ «ВНИИКР» [30]
Fig. 2. The scheme of methyl synthesis (*E,E,Z*)-2,4,6-decatrienoate, developed in the synthesis and application of pheromones department of FGBU «VNIICR» [30]

Малая накопительная пирамидальная ловушка (МНПЛ) показала себя эффективной в отлове имаго и нимф *H. halys* при установке в плодовых садах (см. рис. 1, а) [22]. В отличие от нимф взрослые особи *H. halys* перед приземлением на почву или на поверхность совершают полет к привлекающему их источнику. Такое же поведение наблюдается при уходе вредителя в места зимовки, когда насекомые предпочитают верхние этажи зданий нижним [25, 26]. Малая ловушка имеет схожий с БНПЛ механизм работы, но отличается методом установки — ее фиксируют с помощью прорезиненной проволоки в кроне или на ветвях деревьев, на столбах или шпалерах, на высоте 1,5–2,0 м от поверхности почвы. В связи

с этим имаго, которые в естественных условиях предпочитают скапливаться в кроне деревьев, эффективнее отлавливались именно в МНПЛ, нежели в БНПЛ [29].

Малая ловушка включает в себя входной ячеистый конус для скопления насекомых и их продвижения по трапам в улавливающую камеру, выполненную из жесткого прозрачного пластика в виде колбы объемом 0,8 дм³ с входным отверстием снизу, которая входит в зацепление с нижней частью корпуса светло-зеленого цвета для их плотного соединения (см. таблицу, рис. 1, а). На входном отверстии для насекомых диаметром 1,2 см ячеистого конуса (15×8,5 см) смонтировано кольцо-отсекатель светло-зеленого цвета, которое способствует быстрому

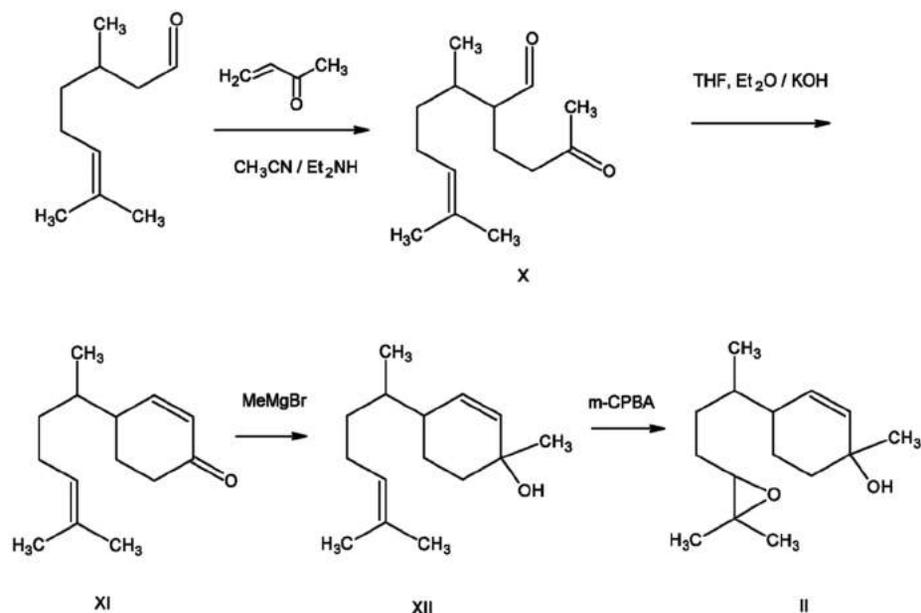


Рис. 3. Схема четырехстадийного синтеза смеси 10,11-эпокси-1-бисаболен-3-олов, разработанная в отделе синтеза и применения феромонов ФГБУ «ВНИИКР» [30]

Fig. 3. The scheme of four-stage synthesis of a mixture of 10,11-epoxy-1-bisabolene-3-ol, developed in the synthesis and application of pheromones department of FGBU «VNIKR» [30]

проникновению насекомых внутрь ловушки и препятствует их выходу наружу (см. рис. 1, а).

Малые ловушки фиксировали на ветвях деревьев на высоте 1,5 м от поверхности почвы. Большие ловушки устанавливали и закрепляли на поверхности почвы с помощью специальных металлических скоб.

В качестве диспенсера для обоих типов ловушек применяли бромбутилкаучук с нанесением смеси двух основных химических компонентов феромонного препарата: метил(*E,E,Z*)-2,4,6-декатриеноата (рис. 2) и 10,11-эпокси-1-бисаболен-3-ола из рацемического цитронеллала (рис. 3), которые были разработаны и произведены в отделе синтеза и применения феромонов Всероссийского центра карантина растений (ФГБУ «ВНИИКР»), в соотношении 1:1 в дозировке 4 мг/диспенсер.

Феромонные ловушки размещали рандомизированно по всей площади насаждений на расстоянии 30–50 м одну от другой [31, 32]. Учет нимф и имаго *H. halys* в ловушках проводили один раз в неделю. Данные статистически обрабатывали с использованием программы PAST (Paleontological Statistics) — версия 3.17 [33]. Для сравнения применяли однофакторный непараметрический анализ (Kruskal-Wallis) с использованием апостериорного теста значимости (Dunn's post hoc test). Для проверки достоверных различий между двумя группами выборок применялся непараметрический попарный анализ данных (Mann-Whitney test) [34]. Установленный уровень значимости — $\alpha = 0,05$.

Результаты и обсуждение

В условиях Краснодарского края развитие коричнево-мраморного клопа от стадии яйца до имаго при минимальной температуре воздуха $+13\text{ }^\circ\text{C}$ и продолжительности светового дня 12 и 15 ч требует накопления суммы эффективных температур (СЭТ) 530 и 590 $^\circ\text{C}$ соответственно [35]. В посадках лесного ореха в 2018 г. первые особи имаго коричнево-мраморного клопа начали отлавливаться в ловушки примерно с начала июня, при достижении минимальной температуры воздуха от $+13\text{ }^\circ\text{C}$ и выше при накоплении СЭТ 205 $^\circ\text{C}$ (рис. 4).

Июнь был достаточно засушливым — выпало 35 мм осадков, что составляет 33 % нормы, а в июле количество выпавших осадков составило 204 мм — 160 % нормы.

Всего за период проведения опыта, который длился 48 сут (с 31.05 по 07.07), в МНПЛ было отловлено 199 нимф *H. halys*, из них: II возраста — 156 экз., III возраста — 24 экз., IV возраста — 19 экз., имаго *H. halys* — 178 экз. В БНПЛ попало 49 нимф *H. halys*, из них: II возраста — 34 экз., III возраста — 13 экз., IV возраста — 2 экз., имаго *H. halys* — 10 экз.

В посадках лесного ореха количество нимф и имаго составило 53 и 47 % от общего числа отловленных особей коричнево-мраморного клопа в феромонные ловушки соответственно. Большая часть нимф были II возраста — 78 %, затем III — 12 и IV — 10 % от общего числа отловленных нимф. Установившиеся благоприятные погодные

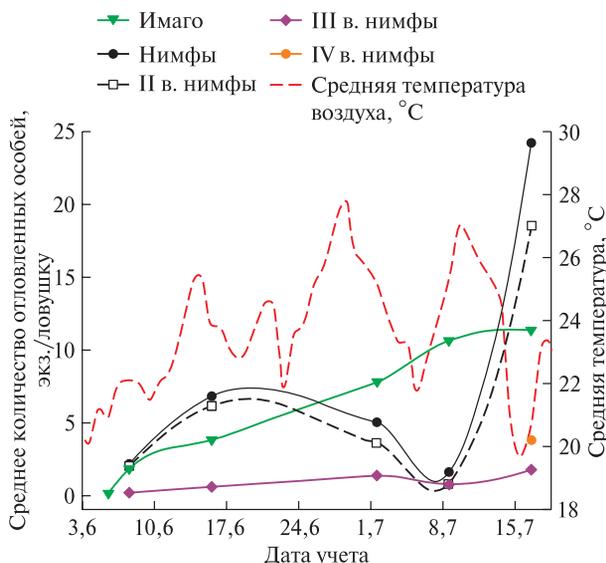


Рис. 4. Динамика отлова нимф и имаго коричнево-мраморного клопа *H. halys* в феромонные ловушки в посадках лещины за период с 3 июня по 15 июля 2018 г. (г. Сочи)

Fig. 4. The dynamics of catching nymphs and adults of the brown marmorated stink bug *H. halys* in pheromone traps in hazelnut planting for the period from June 3 to July 15, 2018 (Sochi)

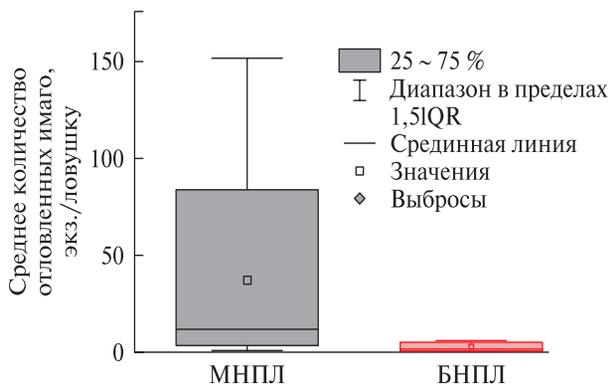


Рис. 5. Сравнение двух типов ловушек — малой накопительной пирамидальной ловушки и большой накопительной пирамидальной ловушки, их эффективность в отлове имаго *Halyomorpha halys* (г. Сочи, 2018 г.)

Fig. 5. Comparison of two trap types — the Small Accumulative Pyramid Trap and the Large Accumulative Pyramid Trap, their effectiveness in capturing adults of the *Halyomorpha halys* (Sochi, 2018)

условия июня — июля со среднемесячной температурой воздуха +23,3...+24,6 °С, соответственно, способствовали активному лёту и увеличению отлова коричнево-мраморного клопа в феромонные ловушки (рис. 4).

Мониторинг коричнево-мраморного клопа показал, что основной отлов нимф (83 %) происходил при температуре воздуха от +20 до +25 °С, 17 % нимф — при +25...+30 °С, 52 % имаго *H. halys* отлавливались при температуре +25...+30 °С, а 48 % — от +20 до +25 °С.

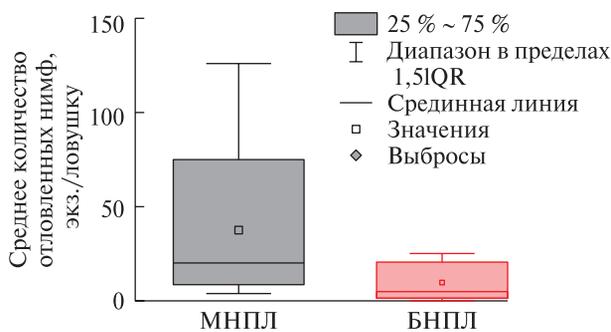


Рис. 6. Сравнение двух типов ловушек — малой накопительной пирамидальной ловушки и большой накопительной пирамидальной ловушки, их эффективность в отлове нимф *Halyomorpha halys* (г. Сочи, 2018 г.)

Fig. 6. Comparison of two trap types — the Small Accumulative Pyramid Trap and the Large Accumulative Pyramid Trap, and their effectiveness in capturing nymphs of the *Halyomorpha halys* (Sochi, 2018)

В ходе полевых испытаний МНПЛ была в 18 раз эффективнее в отлове имаго *H. halys*, чем БНПЛ, в среднем по 36 и 2 экз. особей на ловушку соответственно ($p = 0,0397$) (рис. 5). Однако различия в отлове нимф между вариантами опытных образцов ловушек не удалось выявить ($p = 0,3095$), по 40 и 10 экз./ловушку соответственно (рис. 6).

Выводы

1. Результаты опыта показали, что предпочтительным является применение наиболее практичной с точки зрения трудозатрат — малой (подвесной) накопительной пирамидальной ловушки, которая показала себя эффективнее в отлове имаго, чем большая наземная. Кроме того, малая ловушка дешевле в производстве и проще в применении и установке на участке, чем большая наземная, что является немаловажным фактором при масштабных обследованиях территорий.

2. В летний период в посадках лесного ореха в условиях Северного Кавказа использование малой накопительной ловушки по сравнению с большой позволило увеличить отлов имаго *H. halys* в среднем на 94 % и нимф — на 75 %.

3. К использованию также можно рекомендовать модифицированную универсальную накопительную ловушку для отлова клопов-щитников (патент № 207900 от 23.11.2021 г.) [36]. С помощью предлагаемой полезной модели повышается эффективность отлова, транспортировки и уничтожения клопов-щитников за счет использования мягкой емкости-накопителя различных размеров вместо прозрачной пластиковой колбы, которая может быть утилизирована вместе с отловленным материалом, что в свою очередь ускоряет обслуживание ловушек.

Список литературы

- [1] Митюшев И.М. Первый случай обнаружения клопа *Halyomorpha halys* Stål на территории Российской Федерации // Мониторинг и биологические методы контроля вредителей и патогенов древесных растений: от теории к практике: Материалы Всерос. конф. с междунар. участием, Москва, 18–22 апреля, 2016. М.: Институт леса имени В.Н. Сукачева СО РАН, 2016. С. 147–148.
- [2] Митюшев И.М. Первый случай обнаружения мраморного клопа в России // Защита и карантин растений, 2016. № 3. С. 48.
- [3] Kriticos D., Kean J., Phillips C., Senay S., Acosta H., Haye T. The potential global distribution of the brown marmorated stink bug, *Halyomorpha halys*, a critical threat to plant biosecurity // J. of Pest Science, 2017, v. 90, no. 4, pp. 1033–1043.
- [4] Bosco L., Moraglio S., Tavella L. *Halyomorpha halys*, a serious threat for hazelnut in newly invaded areas // J. of Pest Science, 2018, v. 91, no. 2, pp. 661–670.
- [5] Murvanidze M., Krawczyk G., Inasaridze N., Dekanoidze L., Samsonadze N., Macharashvili M., Khutsishvili S., Shengelaia S. Preliminary data on the biology of brown marmorated stink bug *Halyomorpha halys* (Hemiptera, Pentatomidae) in Georgia // Turkish Journal of Zoology, 2018, v. 42, no. 6, pp. 617–624.
- [6] Мусолин Д.Л., Долговская М.Ю., Проценко В.Е., Карпун Н.Н., Резник С.Я., Саулич А.Х. Инвазия мраморного щитника *Halyomorpha halys* (Stål) (Heteroptera: Pentatomidae) в Россию и Абхазию: пути проникновения, ранние этапы акклиматизации, фотопериодический контроль личиночного развития и индукции имагинальной диапаузы // X Чтения памяти О.А. Катаева: Материалы междунар. конф. Том 1. Под ред. Д.Л. Мусолина, А.В. Селиховкина, Санкт-Петербург, 22–25 октября, 2018. Санкт-Петербургский государственный лесотехнический университет имени С.М. Кирова, 2018. С. 74–75.
- [7] Сеницына Е.В., Проценко В.Е., Карпун Н.Н., Митюшев И.М., Лобур А.Ю., Тодоров Н.Г. Первые полевые испытания феромонных препаратов российского производства для мониторинга и борьбы с коричнево-мраморным клопом *Halyomorpha halys* Stål // Известия Тимирязевской сельскохозяйственной академии, 2019. № 3. С. 60–79.
- [8] Streito J., Chartois M., Pierre E., Dusoulier F., Armand J., Gaudin J., Rossi J. Citizen science and niche modeling to track and forecast the expansion of the brown marmorated stinkbug *Halyomorpha halys* (Stål, 1855) // Scientific reports, 2021, v. 11, no. 1, pp. 1–14.
- [9] Жимерикин В.Н., Смирнов Ю.В. Анализ фитосанитарного риска коричневого мраморного клопа *Halyomorpha halys* Stål для территории Российской Федерации (отчет). М.: ФГБУ «ВНИИКР», 2013
- [10] Жимерикин В.Н., Гулий В.В. Мраморный клоп // Защита и карантин растений, 2014. № 4. С. 40–43.
- [11] NP CABI. *Halyomorpha halys* Hosts. База данных вредных организмов. URL: <https://www.cabi.org/isc/datasheet/27377#tohostPlants> (дата обращения 05.05.2022)
- [12] Lee K.C., Kang C.H., Lee D.W., Lee S.M., Park C.G., Choo H.Y. Seasonal occurrence trends of hemipteran bug pests monitored by mercury light and aggregation pheromone traps in sweet persimmon orchards // Korean J. of Applied Entomology, 2002, v. 41, no. 4, pp. 233–238.
- [13] Aldrich J.R., Khirmian A., Chen X., Camp M.J. Semiochemically based monitoring of the invasion of the brown marmorated stink bug and unexpected attraction of the native green stink bug (Heteroptera: Pentatomidae) in Maryland // Florida Entomologist, 2009, pp. 483–491.
- [14] Nielsen A.L., Hamilton G.C., Shearer P.W. Seasonal Phenology and Monitoring of the Non-Native *Halyomorpha halys* (Hemiptera: Pentatomidae) in Soybean // Environmental Entomology, 2011, v. 40, no. 2, pp. 231–238.
- [15] Nielsen A.L., Holmstrom K., Hamilton G.C., Cambridge J., Ingerson-Mahar J. Use of black light traps to monitor the abundance, spread, and flight behavior of *Halyomorpha halys* (Hemiptera: Pentatomidae) // J. of Economic Entomology, 2013, v. 106, no. 3, pp. 1495–1502.
- [16] Leskey T.C., Agnello A., Bergh J.C., Dively G.P., Hamilton G.C., Jentsch P., Khirmian A., Krawczyk G., Kuhar T.P., Lee D.H., Morrison III W.R., Polk D.F., Rodriguez-Saona C., Shearer P.W., Short B.D., Shrewsbury P.M., Walgenbach J.F., Weber D.C., Welty C., Whalen J., Wiman N., Zaman F. Attraction of the invasive *Halyomorpha halys* (Hemiptera: Pentatomidae) to traps baited with semiochemical stimuli across the United States // Environmental entomology, 2015, v. 44, no. 3, pp. 746–756.
- [17] Acebes-Doria A.L., Leskey T.C., Bergh J.C. Development and comparison of trunk traps to monitor movement of *Halyomorpha halys* nymphs on host trees // Entomologia Experimentalis et Applicata, 2016, v. 158, no. 1, pp. 44–53.
- [18] Acebes-Doria A.L., Morrison W.R., Short B.D., Rice K.B., Bush H.G., Kuhar T.P., Duthie C., Leskey T.C. Monitoring and biosurveillance tools for the brown marmorated stink bug // *Halyomorpha halys* (Stål) (Hemiptera: Pentatomidae), 2018, v. 9, no. 3, p. 82.
- [19] Acebes-Doria A.L., Agnello A.M., Alston D.G., Andrews H., Beers E.H., Bergh J.C., Bessin R., Blaauw B.R., Buntin G.D., Burkness E.C., Chen S., Cottrell T.E., Daane K.M., Fann L.E., Fleischer S.J., Guédot C., Gut L.J., Hamilton G.C., Hilton R., Hoelmer K.A., Hutchison W.D., Jentsch P., Krawczyk G., Kuhar T.P., Lee J.C., Milnes J.M., Nielsen A.L., Patel D.K., Short B.D., Sial A.A., Spears L.R., Tatman K., Toews M.D., Walgenbach J.D., Welty C., Wiman N.G., Zoeren J.V., Leskey T.C. Season-long monitoring of the brown marmorated stink bug (Hemiptera: Pentatomidae) throughout the United States using commercially available traps and lures // J. of economic entomology, 2020, v. 113, no. 1, pp. 159–171.
- [20] Kirkpatrick D.M., Acebes-Doria A.L., Rice K.B., Short B.D., Adams C.G., Gut L.J., Leskey T.C. Estimating monitoring trap plume reach and trapping area for nymphal and adult *Halyomorpha halys* (Hemiptera: Pentatomidae) in crop and non-crop habitats // Environmental entomology, 2019, v. 48 (5), pp. 1104–1112.
- [21] Morrison III W., Cullum J., Leskey T. Evaluation of trap designs and deployment strategies for capturing *Halyomorpha halys* (Hemiptera: Pentatomidae) // J. of Economic Entomology, 2015, v. 108, no. 4, pp. 1683–1692.
- [22] Rice K.B., Morrison III W., Short B., Acebes-Doria A., Bergh J., Leskey T. Improved trap designs and retention mechanisms for *Halyomorpha halys* (Hemiptera: Pentatomidae) // J. of economic entomology, 2018, v. 111, no. 5, pp. 2136–2142.
- [23] Lee D.H., Wright S.E., Leskey T.C. Impact of insecticide residue exposure on the invasive pest, *Halyomorpha halys* (Hemiptera: Pentatomidae): analysis of adult mobility. Impact of insecticide residue exposure on the invasive pest, *Halyomorpha halys* (Hemiptera: Pentatomidae): analysis of adult mobility // J. of Economic Entomology, 2013, v. 106, no. 1, pp. 150–158.
- [24] Lee D.H., Nielsen A.L., Leskey T.C. Dispersal capacity and behavior of nymphal stages of *Halyomorpha halys*

- (Hemiptera: Pentatomidae) evaluated under laboratory and field conditions // *J. of Insect Behavior*, 2014, v. 27, no. 5, pp. 639–651.
- [25] Cambridge J., Payenski A., Hamilton G.C. The distribution of overwintering brown marmorated stink bugs (Hemiptera: Pentatomidae) in college dormitories // *Florida Entomologist*, 2015, v. 98, no. 4, pp. 1257–1259.
- [26] Chambers B.D. The influence of thermal and physical characteristics of buildings on overwintering brown marmorated stink bugs (*Halyomorpha halys*): Doctoral dissertation, Virginia Tech., 2018, 113 p.
- [27] Leskey T.C., Nielsen A.L. Impact of the invasive brown marmorated stink bug in North America and Europe: history, biology, ecology, and management // *Annual Review of Entomology*, 2018, v. 63, pp. 599–618.
- [28] Синицына Е.В. Совершенствование феромонного мониторинга коричнево-мраморного клопа *Halyomorpha halys* (Stål, 1855): дис. ... канд. биол. наук 06.01.07. Москва, 2022. 179 с.
- [29] Leskey T.C., Short B.D., Butler B.R., Wright S.E. Impact of the invasive brown marmorated stink bug, *Halyomorpha halys* (Stål), in mid-Atlantic tree fruit orchards in the United States: Case Studies of Commercial Management // *Psyche: A J. of Entomology*, 2012, v. 2012, p. 14.
- [30] МР 79–2019 ВНИИКР. Методика синтеза агрегационного феромона коричнево-мраморного клопа *Halyomorpha halys* St. Быково, 2019. 23 с.
- [31] Miller J.R., Adams C.G., Weston P.A., Schenker J.H. Trapping of small organisms moving randomly: principles and applications to pest monitoring and management. Springer, 2015, 114 p.
- [32] МР 13–2018 ВНИИКР. Методика полевых испытаний биологической активности феромона коричнево-мраморного клопа *Halyomorpha halys* STAL. Быково, 2018. 21 с.
- [33] Hammer Ø., Harper D.A., Ryan P.D. PAST: Paleontological statistics software package for education and data analysis // *Palaeontologia electronica*, 2001, v. 4, no. 1, p. 9.
- [34] Реброва О.Ю. Описание статистического анализа данных в оригинальных статьях. Типичные ошибки // *Медицинские технологии. Оценка и выбор*, 2011. № 4. С. 36–40
- [35] Musolin D.L., Dolgovskaya M.Yu., Protsenko V.Ye., Karpun N.N., Reznik S.Ya., Saulich A.Kh. Photoperiodic and temperature control of nymphal growth and adult diapause induction in the invasive Caucasian population of the brown marmorated stink bug, *Halyomorpha halys* // *J. of Pest Science*, 2019, v. 92, no. 2, pp. 621–631.
- [36] Синицына Е.В., Чалкин А.А., Зинников Д.Ф., Абасов М.М. Универсальная накопительная ловушка для отлова клопов-щитников. Патент на полезную модель № 207900 от 23 ноября 2021 г. Заявитель и патентообладатель ФГБУ «ВНИИКР», № 2021113119.

Сведения об авторах

Синицына Екатерина Витальевна  — науч. сотр. отдела синтеза и применения феромонов, Всероссийский центр карантина растений (ФГБУ «ВНИИКР»), katesinitsyna@gmail.com

Федосеев Назар Зиновьевич — ст. науч. сотр. отдела синтеза и применения феромонов, Всероссийский центр карантина растений (ФГБУ «ВНИИКР»), nazfed@mail.ru

Поступила в редакцию 25.11.2022.

Одобрено после рецензирования 16.12.2022.

Принята к публикации 25.01.2023.

MONITORING FEATURES OF BROWN MARMORATED STINK BUG *HALYOMORPHA HALYS* (STÅL) USING PHEROMONE TRAPS IN NORTH CAUCASUS

E.V. Sinitsyna , **N.Z. Fedoseev**

All-Russian Plant Quarantine Center, 32, Pogranchnaya st., 140150, Bykovo village, Moscow reg., Russia

katesinitsyna@gmail.com

The article presents the results of testing two different types of pheromone traps for catching a dangerous quarantine pest — the brown marmorated stink bug *Halyomorpha halys* in the North Caucasus conditions. The data showed that the use of a small (hanging) accumulative pyramid shaped trap in hazelnut planting allowed increasing the catches of adults of *Halyomorpha halys* by 94 % and nymphs by 75 %, in comparison with a large (ground) accumulative pyramid shaped trap. During the trial, the conditions under which the pests nymphs and adults were actively caught in pheromone traps were determined. The main catch of nymphs — 83 % was fixed at temperatures from +20 to +25 °C, while 52 % adults — at +25...+ 30 °C. The percentage of adults and nymphs of the brown marmorated stink bug caught in the traps was about the same level and amounted to 53 % and 47 %, respectively.

Keywords: brown marmorated stink bug, *Halyomorpha halys*, hazelnut, North Caucasus, pheromone trap, monitoring, plant quarantine

Suggested citation: Sinitsyna E.V., Fedoseev N.Z. *Osobennosti monitoringa korichnevo-mramornogo klopa Halyomorpha halys (Stål) s pomoshch'yu feromonnykh lovushek v usloviyakh Severnogo Kavkaza* [Monitoring features of brown marmorated stink bug *Halyomorpha halys* using pheromone traps in North Caucasus]. *Lesnoy vestnik / Forestry Bulletin*, 2023, vol. 27, no. 2, pp. 87–95. DOI: 10.18698/2542-1468-2023-2-87-95

References

- [1] Mityushev I.M. *Pervyy sluchay obnaruzheniya klopa Halyomorpha halys Stål na territorii Rossiyskoy Federatsii* [The first case of detection of the bug *Halyomorpha halys* Stål on the territory of the Russian Federation]. Monitoring i biologicheskie metody kontrolya vreditel'nykh i patogenov drevesnykh rasteniy: ot teorii k praktike: materialy vsrossiyskoy konferentsii s mezhdunarodnym uchastiem [Monitoring and biological methods for controlling pests and pathogens of woody plants: from theory to practice: materials of the All-Russian conference with international participation], Moscow, April 18–22, 2016. Moscow: Forest Institute named after Sukachev V.N. SO RAN, 2016, pp. 147–148.
- [2] Mityushev I.M. *Pervyy sluchay obnaruzheniya mramornogo klopa v Rossii* [The first case of finding a marble bug in Russia]. Zashchita i karantin rasteniy [Plant Protection and Quarantine], 2016, no. 3, p. 48.
- [3] Kriticos D., Kean J., Phillips C., Senay S., Acosta H., Haye T. The potential global distribution of the brown marmorated stink bug, *Halyomorpha halys*, a critical threat to plant biosecurity. *J. of Pest Science*, 2017, v. 90, no. 4, pp. 1033–1043.
- [4] Bosco L., Moraglio S., Tavella L. *Halyomorpha halys*, a serious threat for hazelnut in newly invaded areas. *J. of Pest Science*, 2018, v. 91, no. 2, pp. 661–670.
- [5] Murvanidze M., Krawczyk G., Inasaridze N., Dekanoidze L., Samsonadze N., Macharashvili M., Khutsishvili S., Shengelaia S. Preliminary data on the biology of brown marmorated stink bug *Halyomorpha halys* (Hemiptera, Pentatomidae) in Georgia. *Turkish Journal of Zoology*, 2018, v. 42, no. 6, pp. 617–624.
- [6] Musolin D.L., Dolgovskaya M.Yu., Protsenko V.E., Karpun N.N., Reznik S.Ya., Saulich A.Kh. *Invaziya mramornogo shchitnika Halyomorpha halys (Stål) (Heteroptera: Pentatomidae) v Rossiyu i Abkhaziyu: puti proniknoveniya, rannye etapy akklimatizatsii, fotoperiodicheskiy kontrol' lichinochnogo razvitiya i induksii imaginal'noy diapauzy* [Invasion of the marbled stink bug *Halyomorpha halys* (Stål) (Heteroptera: Pentatomidae) into Russia and Abkhazia: ways of penetration, early stages of acclimatization, photoperiodic control of larval development and induction of imaginal diapause]. *X Chteniya pamyati O.A. Kataeva* [X Readings in memory of O.A. Kataeva], 2018, pp. 74–75.
- [7] Sinitsyna E.V., Protsenko V.E., Karpun N.N., Mityushev I.M., Lobur A.Yu., Todorov N.G. *Pervye polevye ispytaniya feromonnykh preparatov rossiyskogo proizvodstva dlya monitoringa i bor'by s korichnevo-mramornym klopom Halyomorpha halys Stål* [The first field trials of Russian-made pheromone preparations for monitoring and combating the brown marble bug *Halyomorpha halys* Stål]. *Izvestiya Timiryazevskoy sel'skokhozyaystvennoy akademii* [News of the Timiryazev Agricultural Academy], 2019, no. 3, pp. 60–79.
- [8] Streito J., Chartois M., Pierre E., Dusoulier F., Armand J., Gaudin J., Rossi J. Citizen science and niche modeling to track and forecast the expansion of the brown marmorated stinkbug *Halyomorpha halys* (Stål, 1855). *Scientific reports*, 2021, v. 11, no. 1, pp. 1–14.
- [9] Zhimerikin V.N., Smirnov Yu.V. *Analiz fitosanitarnogo riska korichnevo-mramornogo klopa Halyomorpha halys Stål dlya territorii Rossiyskoy Federatsii* [Phytosanitary risk analysis of the brown marbled bug *Halyomorpha halys* Stål for the territory of the Russian Federation]. Ed. T.V. Artemyeva. Bykovo: VNIKR, 2013, 55 p.
- [10] Zhimerikin V.N., Guliy V.V. *Mramornyy klop* [Marble bug]. *Zashchita i karantin rasteniy* [Protection and quarantine of plants], 2014, no. 4, pp. 40–43.
- [11] HP CAB. *Halyomorpha halys* Hosts. База данных вредных организмов. Available at: <https://www.cabi.org/isc/datasheet/27377#tohostPlants> (accessed 05.05.2022)
- [12] Lee K.C., Kang C.H., Lee D.W., Lee S.M., Park C.G., Choo H.Y. Seasonal occurrence trends of hemipteran bug pests monitored by mercury light and aggregation pheromone traps in sweet persimmon orchards. *Korean J. of Applied Entomology*, 2002, v. 41, no. 4, pp. 233–238.
- [13] Aldrich J.R., Khirimiyan A., Chen X., Camp M.J. Semiochemically based monitoring of the invasion of the brown marmorated stink bug and unexpected attraction of the native green stink bug (Heteroptera: Pentatomidae) in Maryland. *Florida Entomologist*, 2009, pp. 483–491.
- [14] Nielsen A.L., Hamilton G.C., Shearer P.W. Seasonal Phenology and Monitoring of the Non-Native *Halyomorpha halys* (Hemiptera: Pentatomidae) in Soybean. *Environmental Entomology*, 2011, v. 40, no. 2, pp. 231–238.
- [15] Nielsen A.L., Holmstrom K., Hamilton G.C., Cambridge J., Ingerson-Mahar J. Use of black light traps to monitor the abundance, spread, and flight behavior of *Halyomorpha halys* (Hemiptera: Pentatomidae). *J. of Economic Entomology*, 2013, v. 106, no. 3, pp. 1495–1502.
- [16] Leskey T.C., Agnello A., Bergh J.C., Dively G.P., Hamilton G.C., Jentsch P., Khirimiyan A., Krawczyk G., Kuhar T.P., Lee D.H., Morrison III W.R., Polk D.F., Rodriguez-Saona C., Shearer P.W., Short B.D., Shrewsbury P.M., Walgenbach J.F., Weber D.C., Welty C., Whalen J., Wiman N., Zaman F. Attraction of the invasive *Halyomorpha halys* (Hemiptera: Pentatomidae) to traps baited with semiochemical stimuli across the United States. *Environmental Entomology*, 2015, v. 44, no. 3, pp. 746–756.
- [17] Acebes-Doria A.L., Leskey T.C., Bergh J.C. Development and comparison of trunk traps to monitor movement of *Halyomorpha halys* nymphs on host trees. *Entomologia Experimentalis et Applicata*, 2016, v. 158, no. 1, pp. 44–53.
- [18] Acebes-Doria A.L., Morrison W.R., Short B.D., Rice K.B., Bush H.G., Kuhar T.P., Duthie C., Leskey T.C. Monitoring and biosurveillance tools for the brown marmorated stink bug. *Halyomorpha halys* (Stål) (Hemiptera: Pentatomidae), 2018, v. 9, no. 3, p. 82.
- [19] Acebes-Doria A.L., Agnello A.M., Alston D.G., Andrews H., Beers E.H., Bergh J.C., Bessin R., Blaauw B.R., Buntin G.D., Burkness E.C., Chen S., Cottrell T.E., Daane K.M., Fann L.E., Fleischer S.J., Guédot C., Gut L.J., Hamilton G.C., Hilton R., Hoelmer K.A., Hutchison W.D., Jentsch P., Krawczyk G., Kuhar T.P., Lee J.C., Milnes J.M., Nielsen A.L., Patel D.K., Short B.D., Sial A.A., Spears L.R., Tatman K., Toews M.D., Walgenbach J.D., Welty C., Wiman N.G., Zoeren J.V., Leskey T.C. Season-long monitoring of the brown marmorated stink bug (Hemiptera: Pentatomidae) throughout the United States using commercially available traps and lures. *J. of economic entomology*, 2020, v. 113, no. 1, pp. 159–171.
- [20] Kirkpatrick D.M., Acebes-Doria A.L., Rice K.B., Short B.D., Adams C.G., Gut L.J., Leskey T.C. Estimating monitoring trap plume reach and trapping area for nymphal and adult *Halyomorpha halys* (Hemiptera: Pentatomidae) in crop and non-crop habitats. *Environmental Entomology*, 2019, v. 48 (5), pp. 1104–1112.

- [21] Morrison III W., Cullum J., Leskey T. Evaluation of trap designs and deployment strategies for capturing *Halyomorpha halys* (Hemiptera: Pentatomidae). *J. of Economic Entomology*, 2015, v. 108, no. 4, pp. 1683–1692.
- [22] Rice K.B., Morrison III W., Short B., Acebes-Doria A., Bergh J., Leskey T. Improved trap designs and retention mechanisms for *Halyomorpha halys* (Hemiptera: Pentatomidae). *J. of economic entomology*, 2018, v. 111, no. 5, pp. 2136–2142.
- [23] Lee D.H., Wright S.E., Leskey T.C. Impact of insecticide residue exposure on the invasive pest, *Halyomorpha halys* (Hemiptera: Pentatomidae): analysis of adult mobility. Impact of insecticide residue exposure on the invasive pest, *Halyomorpha halys* (Hemiptera: Pentatomidae): analysis of adult mobility. *J. of Economic Entomology*, 2013, v. 106, no. 1, pp. 150–158.
- [24] Lee D.H., Nielsen A.L., Leskey T.C. Dispersal capacity and behavior of nymphal stages of *Halyomorpha halys* (Hemiptera: Pentatomidae) evaluated under laboratory and field conditions. *J. of Insect Behavior*, 2014, v. 27, no. 5, pp. 639–651.
- [25] Cambridge J., Payenski A., Hamilton G.C. The distribution of overwintering brown marmorated stink bugs (Hemiptera: Pentatomidae) in college dormitories. *Florida Entomologist*, 2015, v. 98, no. 4, pp. 1257–1259.
- [26] Chambers B.D. The influence of thermal and physical characteristics of buildings on overwintering brown marmorated stink bugs (*Halyomorpha halys*): Doctoral dissertation, Virginia Tech., 2018, 113 p.
- [27] Leskey T.C., Nielsen A.L. Impact of the invasive brown marmorated stink bug in North America and Europe: history, biology, ecology, and management. *Annual Review of Entomology*, 2018, v. 63, pp. 599–618.
- [28] Sinitsyna E.V. *Sovershenstvovanie feromonного monitoringа коричнево-мраморного клопа Halyomorpha halys (STÅL, 1855)* [Improvement of pheromone monitoring of the brown marbled bug *Halyomorpha halys* (STÅL, 1855)]. Dis. Cand. Sci. (Biol.), 06.01.07. Moscow, 2022, 179 p.
- [29] Leskey T.C., Short B.D., Butler B.R., Wright S.E. Impact of the invasive brown marmorated stink bug, *Halyomorpha halys* (Stål), in mid-Atlantic tree fruit orchards in the United States: Case Studies of Commercial Management. *Psyche: A J. of Entomology*, 2012, v. 2012, p. 14.
- [30] MP 79–2019 VNIKR *Metodika sinteza agregatsionного feromona коричнево-мраморного клопа Halyomorpha halys St.* [Synthesis of the aggregation pheromone of the brown marbled bug *Halyomorpha halys* St.] Bykovo, 2019, 23 p.
- [31] Miller J.R., Adams C.G., Weston P.A., Schenker J.H. Trapping of small organisms moving randomly: principles and applications to pest monitoring and management. Springer, 2015, 114 p.
- [32] MR 13–2018 VNIKR *Metodika polevykh ispytaniy biologicheskoy aktivnosti feromona коричнево-мраморного клопа Halyomorpha halys STAL.* [Methodology for field testing of the biological activity of the pheromone of the brown marbled bug *Halyomorpha halys* STAL.] Bykovo, 2018, 21 p.
- [33] Hammer Ø., Harper D.A., Ryan P.D. PAST: Paleontological statistics software package for education and data analysis. *Palaeontologia electronica*, 2001, v. 4, no. 1, p. 9.
- [34] Rebrova O.Yu. *Opisanie statisticheskogo analiza dannykh v original'nykh stat'yakh. Tipichnye oshibki* [Description of statistical data analysis in original articles. Typical mistakes]. *Meditainskie tekhnologii. Otsenka i vybor* [Medical technologies. Evaluation and Choice], 2011, no. 4, pp. 36–40.
- [35] Musolin D.L., Dolgovskaya M. Yu., Protsenko V. Ye., Karpun N. N., Reznik S. Ya., Saulich A. Kh. Photoperiodic and temperature control of nymphal growth and adult diapause induction in the invasive Caucasian population of the brown marmorated stink bug, *Halyomorpha halys*. *J. of Pest Science*, 2019, v. 92, no. 2, pp. 621–631.
- [36] Sinitsyna E.V., Chalkin A.A., Zinnikov D.F., Abasov M.M. *Universal'naya nakopitel'naya lovushka dlya otlova klopov-shchitnikov* [Universal accumulative trap for catching bed bugs]. Utility model patent No. 207900 dated November 23, 2021. Applicant and patent holder FGBU VNIKR, no. 2021113119.

Authors' information

Sinitsyna Ekaterina Vital'evna  — Research Associate of the Department of Synthesis and application of pheromones, FSBI «All-Russian Plant Quarantine Center», katesinitsyna@gmail.com

Fedoseev Nazar Zinov'evich — Senior Research Associate of the Department of synthesis and application of pheromones, FSBI «All-Russian Plant Quarantine Center», nazfed@mail.ru

Received 25.11.2022.

Approved after review 16.12.2022.

Accepted for publication 25.01.2023.

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

ДИНАМИКА ПРОДУКТИВНОСТИ ВОССТАНОВЛЕННОЙ РАСТИТЕЛЬНОСТИ УГОЛЬНОГО РАЗРЕЗА «ЧЕРНОГОРСКИЙ» ПО СПУТНИКОВЫМ ДАННЫМ TERRA/MODIS

А.А. Жуков[✉], Е.Ю. Жукова

ФГБОУ ВО «Хакасский государственный университет имени Н.Ф. Катанова», Россия, 655017, Республика Хакасия, г. Абакан, пр-кт Ленина, д. 90

zhukov_aa@khsu.ru

Выявлены основные закономерности многолетней и сезонной динамики продуктивности, индекса листовой поверхности и эвапотранспирации растительных сообществ на рекультивированных отвалах угольного разреза «Черногорский» в период с 2001 по 2021 гг. по спутниковым данным Terra/MODIS. Выявлена положительная тенденция развития растительности на отвалах. Продуктивность и индекс листовой поверхности фитоценозов коррелируют. Данные Terra/MODIS занижают реальную фитомассу.

Ключевые слова: продуктивность, спектральные индексы, динамика растительности, Terra/MODIS, угольный разрез «Черногорский»

Ссылка для цитирования: Жуков А.А., Жукова Е.Ю. Динамика продуктивности восстановленной растительности угольного разреза «Черногорский» по спутниковым данным Terra/MODIS // Лесной вестник / Forestry Bulletin, 2023. Т. 27. № 2. С. 96–103. DOI: 10.18698/2542-1468-2023-2-96-103

Экологическое восстановление и рекультивация отвалов территорий горнодобывающих предприятий стали приоритетными направлениями стратегий устойчивого развития многих стран [1–4]. Для мониторинга сукцессионных процессов в растительности активно применяются дистанционные методы, в том числе, архивные данные [5–7]. Растительность на рекультивированных отвалах разреза «Черногорский» можно рассматривать как модель сукцессионных процессов в фитоценозах в семиаридных условиях.

Цель работы

Цель работы — выявление особенностей многолетней и сезонной динамики продуктивности восстановленной растительности отвала угольного разреза «Черногорский».

Объекты и методы исследования

Разрез располагается в Южно-Минусинской впадине на территории Абаканского степного района. Климат района исследования резко континентальный, с неблагоприятными для сельского хозяйства амплитудами температуры воздуха: июль — 19,4, январь — минус 21,5 °С и скудным количеством осадков (250 мм) [8]. Рельеф отвала холмистый, высота до 408 м н. у. м. Техногенный элювий отвала представлен преимущественно песчаниками с примесью аргиллитов и алевролитов.

Растительность изучали общепринятыми геоботаническими методами 2–3 раза за вегетацион-

ный сезон 2021 г. Исследовали структуру сообществ, видовой состав, проективное покрытие, жизненность и фенофазы. Надземную фитомассу определяли методом укусов в четырехкратной повторности в сыром и воздушно-сухом состоянии. Срезанную фитомассу разделяли по ботаническим хозяйственным группам: осоки, злаки, бобовые, полины, разнотравье, а также ветошь и мортмасса. Взвешивали на весах с точностью до 0,01 г в сыром виде, затем высушивали до воздушно-сухого состояния и взвешивали повторно [9–11].

Для исследования многолетних и сезонных изменений растительности был выбран участок в центре отвала с подходящими размерами (координаты 53,74978°; 91,0681°). Динамика растительности оценивалась с 23 апреля по 8 октября в течение 2001–2021 гг. Для анализа использовали 8-дневные композитные обработанные данные версии 6.1 спутника Terra/MODIS с сайта AppEEARS [12]:

1) композитные данные с кодом MOD17A2HGF (GPP — Gross Primary Productivity, валовая первичная продукция), вычисленные по концепции эффективности использования излучения (кг/м²) [13].

2) MOD16A2GF (PET — Total Potential Evapotranspiration и ET — Total Evapotranspiration — потенциальная и актуальная эвапотранспирация, вычисленная по уравнению Пенмана — Монтейта, кг/м²) [14].

3) MCD15A2H (версия 6) включала в себя комбинированную долю фотосинтетически активного излучения (FPAR — Fraction of Photosynthetically Active Radiation) и индекс листовой поверхности

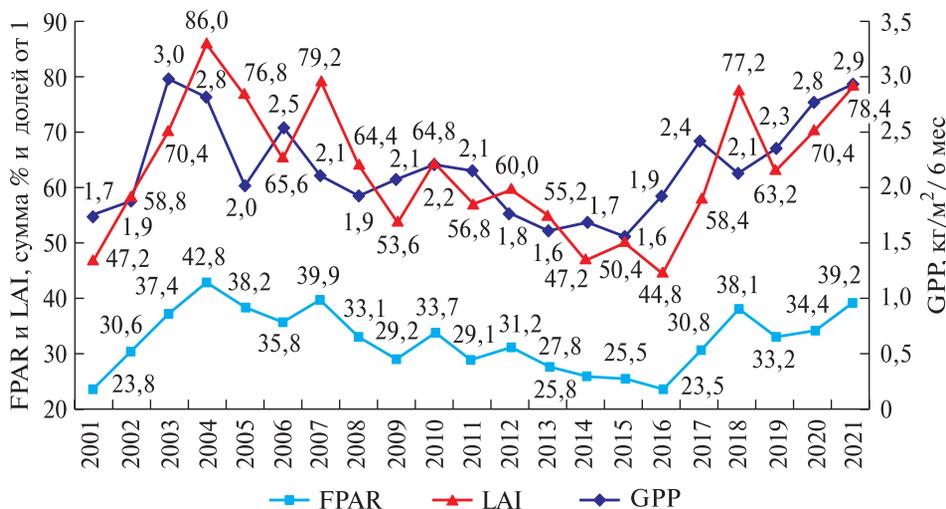


Рис. 1. Многолетняя динамика продуктивности, доли фотосинтетически активного излучения и индекса листовой поверхности восстановленной растительности на отвале

Fig. 1. Long-term dynamics of productivity, fraction of photosynthetically active radiation and leaf area index of restored vegetation at the dump site

(LAI — Leaf Area Index). LAI — это отношение площади земли к площади всех поверхностей зеленых листьев. FPAR — доля падающего фотосинтетически активного излучения (400...700 нм), поглощаемого фотосинтезирующими элементами растительного покрова, % [15].

Вычисление суммарных показателей для GPP, PET и ET проводилось путем интегрирования вегетационной линии, для FPAR и LAI — путем суммирования данных.

В программе AtteStat выполнена оценка одномерного временного ряда GPP нелинейным методом декомпозиции — сингулярным спектральным анализом (SSA — Singular spectrum analysis) [16]. Метод подходит для исследования стационарных и нестационарных временных рядов и позволяет определить линейные и нелинейные тенденции изменения показателей временного ряда, провести сглаживание данных, при котором отфильтровывают шум и преобразуют ряд в ровную кривую [16–18].

Результаты и обсуждение

На территории Хакасии активно развивается угледобывающая отрасль, и имеются значительные площади рекультивированных отвалов. Растительность, формирующаяся на отвалах угольных разрезов, в процессе роста ассимилирует углекислый газ. Использование спутниковых снимков позволяет произвести дистанционную оценку круговорота углерода для данных сообществ через продуктивность, решает проблему регулярности, точности и независимости данных. В данной работе были рассмотрены динамические изменения вычислений показателей продуктивности, фотосинтетически активной

радиации и индекса листовой поверхности на примере данных Terra/MODIS.

Как видно из рис. 1, в 2003 и в 2021 гг. валовая продуктивность и зависящий от нее индекс листовой поверхности достигали наибольших значений. Средние показатели за этот период для GPP составили $2,2 \pm 0,1$ кг/м² за 6 мес., FPAR $32,5 \pm 1,2$ % и LAI $63,3 \pm 2,6$. Плавный характер кривой продуктивности, за редкими исключениями, говорит о стабильном развитии растительности на исследуемом отвале. Индекс листовой поверхности коррелирует с валовой продуктивностью.

Изменения FPAR могут зависеть не только от метеорологических явлений, но и от содержания пылевых частиц в воздухе над территорией, так как чем прозрачнее атмосфера, тем больше FPAR получают растения и тем выше их продуктивность. Кроме того, на этот показатель влияет пылеудерживающая способность вегетирующих растений.

Кратко охарактеризуем состояние растительности в вегетационный сезон 2021 г. На территории исследования распространены простые фитоценозы, в большей степени ломкоколосниковые и вейниковые луга с вязом приземистым, их закустаренные варианты и травянистые сообщества в чистом виде. В меньшей степени распространены мятликовые, пырейные, солончико-злаковые и полынно-злаково-солончико-злаковые, разнотравно-злаковые остепненные луга. Распространены также насаждения облепихи крушиновидной с вязом. Видовое разнообразие сообществ составляет более 10 видов. Среднее проективное покрытие около 65 %, иногда может достигать 80 %. Условия формирования сообществ благоприятные и умеренно благоприятные — участки выровненные, имеют северную, западную и восточную ориентации [19].

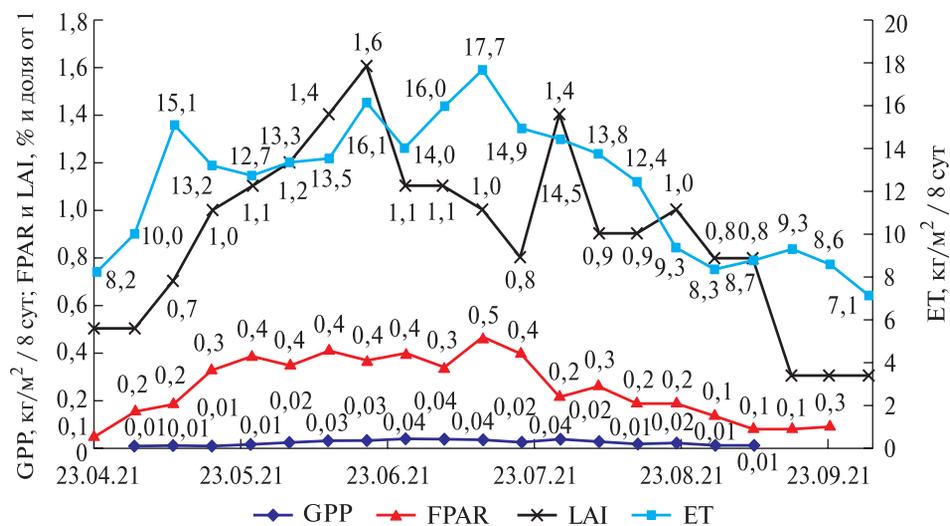


Рис. 2. Сезонная динамика продуктивности, доли фотосинтетически активного излучения и индекса листовой поверхности восстановленной растительности на отвале, 2021 г.
 Fig. 2. Seasonal dynamics of productivity, fraction of photosynthetically active radiation and leaf area index of restored vegetation at the dump site, 2021

Результаты регрессионного анализа спутниковых данных
 Results of satellite data regression analysis

Взаимосвязь	Коэффициент детерминации R ²	Уравнения регрессии для оценки влияния независимой величины x на зависимую величину y
GPP и FPAR	0,329	$y = -16,162x^3 + 105,24x^2 - 210,95x + 159,15$ (полином)
GPP и LAI	0,457	$y = 38,024x^{0,6521}$ (степенная функция)
GPP и ET	0,403	$y = -469,44x^2 + 2477,2x - 1521,3$ (полином)
GPP и PET	0,350	$y = 189,25x^3 - 452,93x^2 - 1310x + 9470,8$ (полином)

Спад продуктивности с 2003 до 2015 гг. частично связан с изменением количества поступающей фотосинтетически активной радиации и суммы осадков. Эвапотранспирация за период исследования в целом с 2001 по 2021 гг. составила 1557 ± 270 кг/м², для потенциальной эвапотранспирации — 6578 ± 367 кг/м². Достоверного снижения PET не отмечено, что свидетельствует об относительной стабильности водного баланса данного отвала. В периоды с 2000 по 2003 гг. и с 2012 по 2015 гг. зафиксировано снижение суммарной эвапотранспирации в связи с засухой в районе исследования, поскольку одновременно здесь наблюдалось и снижение продуктивности.

Сезонная динамика хода кривой валовой продуктивности восстановленных сообществ и наличие одного выраженного пика показали лугово-степной характер растительности отвала (рис. 2).

Максимальные значения GPP приходятся на период с 26.06.2021 г. по 28.07.2021 г. (0,04 кг/м² за 8 сут). Также наблюдали единовременное снижение показателей до 0,02 кг/м² за 8 сут, связанное с ливневыми осадками и изменением архитектуры растительности, при этом эвапо-

транспирация увеличивалась, а индекс листовой поверхности уменьшался. Аналогичный пик был зафиксирован 13.08.2021 г. Наибольший период роста отмечался с 01.05.2021 г. по 10.06.2021 г., снижение продуктивности — с 21.08.2021 г. по 22.09.2021 г.

Данные по продуктивности восстановленной растительности сильно занижены вследствие обильного накопления ветоши светлого цвета, отражающей часть солнечного спектра. Например, за 31.07.2021 г. для ломкоколосникового луга вес общей надземной сырой (сухой) фитомассы составил 1,31 (0,98) кг/м², из них соответственно злаки, ветошь и мортмасса — 0,56 (0,35), 0,17 (0,15) и 0,59 (0,49) кг/м², ошибка среднего арифметического была в пределах 0,01...0,07 кг/м². В то же время по Terra/MODIS валовая продуктивность была всего 0,04 кг/м² за 8 сут. Обильная ветошь и мортмасса защищали почву от перегрева, эрозии и иссушения, но одновременно являлись препятствием для произрастания местных видов.

Корреляция данных Terra/MODIS между продукционными и метеорологическими данными позволяет выявить наиболее значимые факторы, влияющие на сукцессии (таблица).

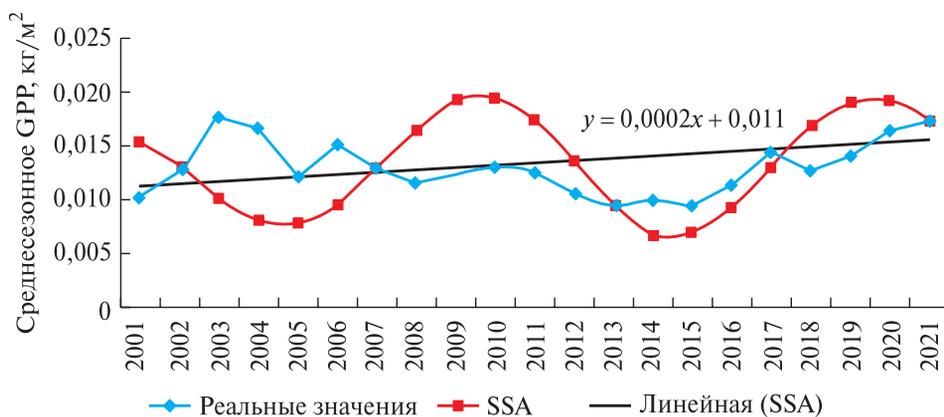


Рис. 3. Анализ временного ряда GPP растительности отвала
 Fig. 3. Analysis of the time series GPP of the dump site vegetation

Как видно из таблицы, между всеми показателями выявлена средняя положительная зависимость, описываемая в основном полиномиальными уравнениями. На продуктивность наиболее значимо влияют LAI и эвапотранспирация (ET).

Анализ временного ряда методом SSA показал слабовыраженную положительную тенденцию и наличие циклических значений GPP за 20-летний период (рис. 3).

Сравнение рассчитанных показателей продуктивности со среднесезонными значениями GPP по данным Terra/MODIS не выявили сильной зависимости, что объясняется, с одной стороны, методом расчетов, с другой — работы по биологической рекультивации на данном участке начались в 2000-х годах и вследствие этого ветошь не занижала показатели GPP, а проективное покрытие фитоценозов за 2 года быстро увеличилось. После 2006 г. колебания продуктивности с увеличением амплитуды значений GPP приближались к расчетным. Исходя из характера кривой, вычисленной методом SSA, ближайшие три года продуктивность растительности будет снижаться, затем увеличиваться. При наличии дополнительных данных, возможно уточнение прогнозируемой модели для получения достоверных результатов по секвестированию углерода в рекультивируемых экосистемах.

Выводы

Высокую фитомассу восстановленной растительности рассматриваемого отвала отмечали многие исследователи [20–22].

Помимо практического применения высокой продуктивности растительности существует возможность ускорения восстановления биологического разнообразия отвалов до 30–40 видов степных растений за срок до шести лет с использованием природоподобной технологии рекультивации [23–25]. Например, перенесение верхнего живородящего слоя почвы на отвал, минуя стадию

буртования, позволяет создать природоподобное растительное сообщество с высоким видовым разнообразием, что не достигается при самозарастании отвала за несколько десятилетий [25].

Спутниковые данные Terra/MODIS, в частности GPP, применяли в качестве предикторов окружающей среды для построения моделей и прогностических карт биоразнообразия растений с высокой точностью [26].

Результаты исследований показали, что наибольших значений валовая продуктивность и зависящие от нее показатели по данным Terra/MODIS достигали в 2003 и в 2021 гг. Средние показатели за период 2001–2021 гг. для GPP составили $2,2 \pm 0,1$ кг/м² за 6 мес., при этом данные значительно занижены. Анализ потенциальной и актуальной эвапотранспирации не выявил достоверного снижения оводненности растений на этой территории. Установлены положительные тенденции продуктивности сообществ.

Связывание диоксида углерода растениями является основным способом снижения возрастающей концентрации CO₂ в атмосфере и темпов глобального потепления. Отвалы угольных месторождений могут являться карбоновыми фермами, на которых будут изучать условия поглощения CO₂, депонирование углерода, за счет чего возможно снижение углеродного следа угледобывающих предприятий [27].

Вопросами рационального и полного использования энергии биомассы занимаются правительства и научно-исследовательские институты, как в нашей стране, так и за рубежом. Изучение вопросов использования растительной ветоши и древесно-веточного материала может быть актуальным для выбора видов биомассы и оценки эффективности совместного сжигания биомассы и угля на электростанциях, работающих на биомассе, что снижает углеродный след предприятий [28]. Изъятие ветоши и некондиционной древесины с территории отвала будет способствовать

ускорению сукцессии, так как появится пространство для прорастания местных видов и снизится риск пожаров.

В целом, отвалы горных пород угольных разрезов обладают высокой экологической емкостью, которая определяется технологией рекультивации и грунтом. Большинство зональных древесно-кустарниковых видов (в особенности, неприхотливые виды, такие как береза, сосна и облепиха) способны заселять и произрастать на отвалах угольного разреза. Анализ искусственного возобновления показывает возможность экономически выгодного целевого плантационного выращивания различных древесных пород. Ограничивают зарастание отвалов лесом весенние пожары, которые распространяются по ветоши [29].

Восстановленные леса на старых угольных рудниках в южных Аппалачах имеют потенциал связывания углерода на несколько порядков выше, чем типичные стратегии для компенсации углерода. Прогнозы показывают, что данный регион может быть углеродно-нейтральным или небольшим поглотителем, если будет реализовано широкомасштабное восстановление лесов [30]. Как пример, в Китае, согласно прогнозам, рудник Нантун сократит потери углерода на связывание на 72,29 % за счет рекультивационных мероприятий [31]. В этой стране также предложен комплексный подход к депонированию углерода в результате фотосинтеза на заброшенных угольных шахтах [32]. Восстановление растительного покрова отвалов угольного рудника в Индии увеличивало депонирование углерода за счет подземной биомассы в 1,3, 7,6 и 17,2 раза, в то время как содержание органического углерода в почве увеличивалось в 1,3, 2,5 и 3,1 раза через 2, 6 и 12 лет зарастания растительностью соответственно [33].

Значительная продуктивность и стадии сукцессии восстановленной растительности на отвале угольного разреза «Черногорский» являются основанием для включения участка в перечень перспективных для организации карбоновых полигонов территорий в Республике Хакасия, а также проведения мониторинга в условиях семиаридного климата.

Благодарности

Исследование выполнено за счет гранта Министерства образования и науки Республики Хакасия (Соглашение № 94 от 13.12.2022 г.). Научно-исследовательский проект «Оценка секвестрации углерода растительностью техногенно-нарушенных территорий Республики Хакасия», в рамках мероприятия Программы деятельности научно-образовательного центра мирового уровня «Енисейская Сибирь»

«Региональная сеть карбоновых полигонов для долговременных наблюдений потоков парниковых газов, тепла и влаги». Выражаем благодарность научному руководителю, профессору, д-ру биол. наук, директору Кузбасского ботанического сада А.Н. Куприянову, канд. биол. наук О.А. Куприянову и коллективу лаборатории рекультивации Института угля и углехимии СО РАН (г. Кемерово) за помощь в проведении исследований. Также благодарим за содействие в организации исследований ООО «СУЭК-Хакасия» и лично главного эколога Е.В. Маркову и инженера-исследователя лаборатории рекультивации земель ФГБНУ «НИИ аграрных проблем Хакасии» Е. А. Моршнева.

Список литературы

- [1] Huang L., Zhang P., Hu Y., Zhao Y. Vegetation and soil restoration in refuse dumps from open pit coal mines // Ecological Engineering, 2016, v. 94, pp. 638–646. DOI:10.1016/j.ecoleng.2016.06.108
- [2] Li X., Lei S., Liu F., Wang W. Analysis of Plant and Soil Restoration Process and Degree of Refuse Dumps in Open-Pit Coal Mining Areas // International J. of Environmental Research and Public Health, 2020, v. 17(6), p. 1975. DOI:10.3390/ijerph17061975
- [3] Yanjun G., Juan W., Wei Z., Zhongke B., Yingui C. Identification of land reclamation stages based on succession characteristics of rehabilitated vegetation in the Pingshuo opencast coal mine // J. of Environmental Management, 2022, v. 305, pp. 114–352. DOI:10.1016/j.jenvman.2021.114352
- [4] Alday J.G., Marrs R.H., Mart'inez-Ruiz C. Vegetation succession on reclaimed coal wastes in Spain: the influence of soil and environmental factors // Applied Vegetation Science, 2011, v. 14, pp. 84–94. DOI: 10.1111/j.1654-109X.2010.011104.x
- [5] Зеньков И.В., Юронен Ю.П., Карачева Г.А., Стукова О.О., Кирюшина Е.В., Миронова Ж.В., Веретенова Т.А. Использование результатов дистанционного зондирования в оценке восстановления экосистемы на территориях с открытой угледобычей в регионах Урала // Уголь, 2020. № 10. С. 68–71. DOI: 10.18796/0041-5790-2020-10-68-71
- [6] Safonova A., Hamad Y., Dmitriev E., Georgiev G., Trenkin V., Georgieva M., Dimitrov S., Iliev M. Individual Tree Crown Delineation for the Species Classification and Assessment of Vital Status of Forest Stands from UAV Images // Drones, 2021, no. 5, p. 77. DOI:10.3390/drones5030077
- [7] Dmitriev E.V., Sokolov A.A., Kozoderov V.V., Delbarre H., Melnik P.G., Donskoi S.A. Spectral-texture classification of high resolution satellite images for the state forest inventory in Russia // Proc. SPIE 11149, Remote Sensing for Agriculture, Ecosystems, and Hydrology, t. XXI, 2019, v. 111491J. DOI: 10.1117/12.2532965
- [8] Куминова А.В., Зверева Г.А., Маскаев Ю.М. Растительный покров Хакасии. Новосибирск: Наука, 1976. 423 с.
- [9] Полевая геоботаника / под ред. Е.М. Лавренко, А.А. Корчагина. Т. 3–5. М.; Л.: Наука, 1959–1964. 530 с.; 1972. 336 с.; 1976. 320 с.
- [10] Ярошенко П.Д. Геоботаника. М.: Просвещение, 1969. 199 с.
- [11] Воронов А.Г. Геоботаника. М.: Высшая школа, 1973. 384 с.
- [12] AppEARS Team. Application for Extracting and Exploring Analysis Ready Samples (AppEARS). Ver. 3.2.1. NASA EOSDIS Land Processes Distributed Active

- Archive Center (LP DAAC), USGS/Earth Resources Observation and Science (EROS) Center, Sioux Falls, South Dakota, USA. 2022. <https://appears.earthdatacloud.nasa.gov> (accessed 07.05.2022)
- [13] Running S., Zhao M. MODIS/Terra Gross Primary Productivity Gap-Filled 8-Day L4 Global 500m SIN Grid V061. NASA EOSDIS Land Processes DAAC. <https://doi.org/10.5067/MODIS/MOD17A2HGF.061>. 2021. (accessed 07.05.2022).
- [14] Running S., Mu Q., Zhao M., Moreno A. MODIS/Terra Net Evapotranspiration Gap-Filled 8-Day L4 Global 500m SIN Grid V061. NASA EOSDIS Land Processes DAAC. 2021. <https://doi.org/10.5067/MODIS/MOD16A2GF.061> (дата обращения 07.05.2022).
- [15] Myneni R., Knyazikhin Y., Park T. MODIS/Terra Leaf Area Index/FPAR 8-Day L4 Global 500m SIN Grid V061. NASA EOSDIS Land Processes DAAC. 2021. <https://doi.org/10.5067/MODIS/MOD15A2H.061> (дата обращения 07.05.2022).
- [16] Александров Ф.И., Голяндина Н.Э. Выбор параметров при автоматическом выделении трендовых и периодических составляющих временного ряда в рамках подхода «Гусеница»-SSA // Тр. IV Междунар. конф. «Идентификация систем и задачи управления» SICPRO '05. Москва, 25–28 января 2005 г. Институт проблем управления им. В.А. Трапезникова РАН. М.: Изд-во Института проблем управления им. В.А. Трапезникова РАН, 2005. С. 1849–1864.
- [17] Шевырнов А.П., Чернецкий М.Ю., Высоцкая Г.С. Многолетние тренды NDVI и температуры на юге Красноярского края // Исследование Земли из космоса, 2012. № 6. С. 77–87.
- [18] Кашкин В.Б., Романов А.А., Рублева Т.В. Исследование трендов спутниковых оценок общего содержания озона с использованием сингулярного спектрального анализа // Исследование Земли из космоса, 2009. № 4. С. 9–16.
- [19] Манаков Ю.А., Стрельникова Т.О., Куприянов А.Н. Формирование растительного покрова в техногенных ландшафтах Кузбасса. Новосибирск: Изд-во СО РАН, 2011. 168 с.
- [20] Лавриненко А.Т., Остапова Н.А., Сафронова О.С., Азев В.А., Евсеева И.Н., Моршнева Е.А. Экологическое состояние почвенно-растительного покрова и атмосферного воздуха в санитарно-защитной зоне разреза «Черногорский» ООО «СУЭК-Хакасия» // Уголь, 2020. № 8. С. 92–95.
- [21] Сафронова О.С., Ламанова Т.Г., Шеремет Н.В. Результаты исследования естественного восстановления растительного покрова на вскрышных отвалах, возникших в 1990-е годы в Республике Хакасия // Уголь, 2018. № 7. С. 68–71. DOI: 10.18796/0041-5790-2018-7-68-71
- [22] Доронькин В.М., Сафронова О.С., Ламанова Т.Г., Шеремет Н.В. Результаты исследования естественного восстановления растительного покрова на вскрышных отвалах, возникших в 2000-е годы в Республике Хакасия // Уголь, 2019. № 11. С. 94–98.
- [23] Копытов А.И., Куприянов О.А., Манаков Ю.А., Куприянов А.Н. Добыча угля в Кузбассе и новые экотехнологии // ЭКО, 2021. № 6 (564). С. 67–76.
- [24] Копытов А.И., Куприянов А.Н. Новая стратегия развития угольной отрасли Кузбасса и решение экологических проблем // Уголь, 2019. № 11 (1124). С. 89–93.
- [25] Куприянов А.Н., Куприянов О.А., Манаков Ю.А., Шатилов Д.А. Изменение продуктивности отвалов угольных предприятий Кузбасса при реконструкции растительного покрова // Международный научно-исследовательский журнал, 2022. № 9 (123). DOI: 10.23670/IRJ.2022.123.33
- [26] Cai L., Kreft H., Taylor A., Denelle P., Schrader J., Essl F., van Kleunen M., Pergl J., Pyšek P., Stein A., Winter M., Barcelona J.F., Fuentes N., Inderjit, Karger D.N., Kartesz J., Kuprijanov A., Nishino M., Nickrent D., Nowak A., Patzelt A., Pelsler P.B., Singh P., Wieringa J.J., Weigelt P. Global models and predictions of plant diversity based on advanced machine learning techniques // New Phytol, 2023, v. 237, pp. 1432–1445. <https://doi.org/10.1111/nph.18533>
- [27] Уфимцев В.И., Куприянов А.Н. Карбоновые фермы — отвалы угольных предприятий Кузбасса // Уголь, 2021. № 11(1148). С. 56–60.
- [28] Liu Y., Jiang T., Zou C., Zhang H. Influence of the cellulose, hemicellulose and lignin on the combustion behavior of biomass // Clean Coal Technology, 2022, no. 04, pp. 137–143.
- [29] Мурзакматов Р.Т., Шишкин А.С., Борисов А.Н. Особенности формирования насаждений на отвалах угольных разрезов в лесостепной зоне // Сибирский лесной журнал, 2018. № 1. С. 37–49.
- [30] Fox J.F., Campbell J.E., Acton P.M. Carbon sequestration by reforesting legacy grasslands on coal mining sites // Energies, 2020, v. 13, pp. 6340. doi.org/10.3390/en13236340
- [31] Han J., Hu Z., Mao Z., Li G., Liu S., Yuan D., Guo J. How to Account for Changes in Carbon Storage from Coal Mining and Reclamation in Eastern China? Taking Yanzhou Coalfield as an Example to Simulate and Estimate // Remote Sens, 2022, v. 14, p. 2014. doi.org/10.3390/rs14092014
- [32] Xin L., Ke Y., Juejing F. Utilization of resources in abandoned coal mines for carbon neutrality // Science of The Total Environment, 2022, v. 822, p. 153646. doi.org/10.1016/j.scitotenv.2022.153646
- [33] Singh R.S., Singh A.K., Tripathi N., Tiwari B.K. Carbon sequestration in Revegetated coal mine wastelands // Coal S&T Project Report, Ministry of Coal, Government of India, 2011, EE/40 GAP/04/EMG/MOC/2008-2009, pp. 174–184.

Сведения об авторах

Жуков Александр Андреевич  — аспирант, инженер, ФГБОУ ВО «Хакаский государственный университет имени Н.Ф. Катанова», zhukov_aa@mail.ru

Жукова Елена Юрьевна — канд. биол. наук, доцент, ФГБОУ ВО «Хакаский государственный университет имени Н.Ф. Катанова», biosara@mail.ru

Поступила в редакцию 07.11.2022.

Одобрено после рецензирования 10.01.2023.

Принята к публикации 27.01.2023.

RESTORED VEGETATION PRODUCTIVITY DYNAMICS AT SURFACE COAL MINE «CHERNOGORSKY» BY SATELLITE DATA TERRA/MODIS

A.A. Zhukov✉, E.Y. Zhukova

Katanov State University, 90, Lenin av., 655017, Abakan, Republic of Khakassia, Russia

zhukov_aa@mail.ru

The main patterns of long-term and seasonal dynamics of productivity, leaf area index and evapotranspiration of plant communities on recultivated dumps of the open surface coal mine «Chernogorsky» in the period from 2001 to 2021 according to Terra/MODIS satellite data were revealed. A positive trend in the development of vegetation on the dumps was revealed. Productivity and leaf area index of phytocenoses correlate. Terra/MODIS data underestimate the real phytomass.

Keywords: productivity, spectral indices, vegetation dynamics, Terra/MODIS, open surface coal mine «Chernogorsky»

Suggested citation: Zhukov A.A., Zhukova E.Yu. *Dinamika produktivnosti vosstanovlennoy rastitel'nosti ugol'nogo razreza «Chernogorskiy» po sputnikovym dannym Terra/MODIS* [Restored vegetation productivity dynamics at surface coal mine «Chernogorsky» by satellite data Terra/MODIS]. *Lesnoy vestnik / Forestry Bulletin*, 2023, vol. 27, no. 2, pp. 96–103. DOI: 10.18698/2542-1468-2023-2-96-103

References

- [1] Huang L., Zhang P., Hu Y., Zhao Y. Vegetation and soil restoration in refuse dumps from open pit coal mines. *Ecological Engineering*, 2016, v. 94, pp. 638–646. DOI:10.1016/j.ecoleng.2016.06.108
- [2] Li X., Lei S., Liu F., Wang W. Analysis of Plant and Soil Restoration Process and Degree of Refuse Dumps in Open-Pit Coal Mining Areas. *International J. of Environmental Research and Public Health*, 2020, v. 17(6), p. 1975. DOI:10.3390/ijerph17061975
- [3] Yanjun G., Juan W., Wei Z., Zhongke B., Yingui C. Identification of land reclamation stages based on succession characteristics of rehabilitated vegetation in the Pingshuo opencast coal mine. *J. of Environmental Management*, 2022, v. 305, pp. 114–352. DOI: 10.1016/j.jenvman.2021.114352
- [4] Alday J.G., Marrs R.H., Martínez-Ruiz C. Vegetation succession on reclaimed coal wastes in Spain: the influence of soil and environmental factors. *Applied Vegetation Science*, 2011, v. 14, pp. 84–94. DOI: 10.1111/j.1654-109X.2010.01104.x
- [5] Zen'kov I.V., Yuronen Yu.P., Karacheva G.A., Stukova O.O., Kiryushina E.V., Mironova Zh.V., Veretenova T.A. *Ispol'zovanie rezul'tatov distantsionnogo zondirovaniya v otsenke vosstanovleniya ekosistemy na territoriyakh s otkrytoy ugledobychey v regionakh Urala* [Application of remote sensing results in assessment of ecosystem restoration in open coal mining areas in the Urals regions]. *Ugol'* [Coal], 2020, no. 10, pp. 68–71. DOI: 10.18796/0041-5790-2020-10-68-71
- [6] Safonova A., Hamad Y., Dmitriev E., Georgiev G., Trenkin V., Georgieva M., Dimitrov S., Iliev M. Individual Tree Crown Delineation for the Species Classification and Assessment of Vital Status of Forest Stands from UAV Images. *Drones*, 2021, no. 5, p. 77. DOI:10.3390/drones5030077
- [7] Dmitriev E.V., Sokolov A.A., Kozoderov V.V., Delbarre H., Mel'nik P.G., Donskoi S.A. Spectral-texture classification of high resolution satellite images for the state forest inventory in Russia. *Proc. SPIE 11149, Remote Sensing for Agriculture, Ecosystems, and Hydrology*, t. XXI, 2019, v. 111491J. DOI: 10.1117/12.2532965
- [8] Kuminova A.V., Zvereva G.A., Maskaev Yu.M. *Rastitel'nyy pokrov Khakassii* [Vegetation cover of Khakassia]. Novosibirsk: Nauka, 1976, 423 p.
- [9] *Polevaya geobotanika* [Field geobotany]. T. 3–5. Eds. E.M. Lavrenko, A.A. Korchagin. Moscow-Leningrad: Nauka, 1959–1964, 530 p.; 1972, 336 p.; 1976, 320 p.
- [10] Yaroshenko P.D. *Geobotanika* [Geobotany]. Moscow: Enlightenment, 1969, 199 p.
- [11] Voronov A.G. *Geobotanika* [Geobotany]. Moscow: Higher School, 1973, 384 p.
- [12] AppEEARS Team. Application for Extracting and Exploring Analysis Ready Samples (AppEEARS). Ver. 3.2.1. NASA EOSDIS Land Processes Distributed Active Archive Center (LP DAAC), USGS/Earth Resources Observation and Science (EROS) Center, Sioux Falls, South Dakota, USA. 2022. <https://appeears.earthdatacloud.nasa.gov> (accessed 07.05.2022)
- [13] Running S., Zhao M. MODIS/Terra Gross Primary Productivity Gap-Filled 8-Day L4 Global 500m SIN Grid V061. NASA EOSDIS Land Processes DAAC. 2021. <https://doi.org/10.5067/MODIS/MOD17A2HGF.061> (accessed 07.05.2022)
- [14] Running S., Mu Q., Zhao M., Moreno A. MODIS/Terra Net Evapotranspiration Gap-Filled 8-Day L4 Global 500m SIN Grid V061. NASA EOSDIS Land Processes DAAC. 2021. <https://doi.org/10.5067/MODIS/MOD16A2GF.061> (accessed 07.05.2022)
- [15] Myneni R., Knyazikhin Y., Park T. (2021). MODIS/Terra Leaf Area Index/FPAR 8-Day L4 Global 500m SIN Grid V061. NASA EOSDIS Land Processes DAAC. <https://doi.org/10.5067/MODIS/MOD15A2H.061> (accessed 07.05.2022)
- [16] Aleksandrov F.I., Golyandina N.E. *Vybor parametrov pri avtomaticheskoy vydelenii trendovykh i periodicheskikh sostavlyayushchikh vremennogo ryada v ramkakh podkhoda «Gusenitsa»-SSA* [The choice of parameters for the automatic selection of trend and periodic components of a time series within the framework of the Caterpillar-SSA approach]. *Trudy IV mezhdunarodnoy konferentsii «Identifikatsiya sistem i zadachi upravleniya» SICPRO '05* [Collection of scientific papers of the IV International Conference «Identification of systems and control tasks» SICPRO'05]. Moscow, 25–28 January 2005. Institut problem upravleniya im. V.A. Trapeznikova RAN. Moscow: Institut problem upravleniya im. V.A. Trapeznikova RAN, 2005, pp. 1849–1864.
- [17] Shevyrnogov A.P., Chernetskii M.Yu., Vysotskaya G.S. *Mnogoletnie trendy NDVI i temperatury na Yuge Krasnoyarskogo Kraya* [Interannual Trend of NDVI and Temperature in the South of Krasnoyarsky Krai]. *Issledovanie Zemli iz kosmosa* [Earth Observation and Remote Sensing], 2012, no. 6, pp. 77–87.
- [18] Kashkin V.B., Romanov A.A., Rubleva T.V. *Issledovanie trendov sputnikovyykh otsenok obshchego sodержaniya ozona s ispol'zovaniem singulyarnogo spektral'nogo analiza* [Total Ozone Trends Research Using Singular Spectrum Analysis]. *Issledovanie Zemli iz kosmosa* [Earth Observation and Remote Sensing], 2009, no. 4, pp. 9–16.

- [19] Manakov Yu.A., Strel'nikova T.O., Kupriyanov A.N. *Formirovanie rastitel'nogo pokrova v tekhnogennykh landshaftakh Kuzbassa* [Formation of vegetation cover in technogenic landscapes of Kuzbass]. Novosibirsk: Publishing House of SB RAS, 2011, 168 p.
- [20] Lavrinenko A.T., Ostapova N.A., Safronova O.S., Azev V.A., Evseeva I.N., Morshnev E.A. *Ekologicheskoe sostoyanie pochvenno-rastitel'nogo pokrova i atmosfernogo vozdukh v sanitarno-zashchitnoy zone razreza «Chernogorskiy» OOO «SUEK-Khakassiya»* [The ecological condition of land cover and atmospheric air in the sanitary-protective zone of the coal mining enterprise «Chernogorskiy» open-pit mine «Suek-Khakassia» LLC]. *Coal*, 2020, no. 8, pp. 92–95.
- [21] Safronova O.S., Lamanova T.G., Sheremet N.V. *Rezultaty issledovaniya estestvennogo vosstanovleniya rastitel'nogo pokrova na vskryshnykh otvalakh, vznikshikh v 1990-e gody v Respublike Khakassiya* [The results of the study of natural regeneration of vegetation cover on overburden dumps in the republic of Khakassia, which emerged in the 90-years of the twentieth century]. *Coal*, 2018, no. 7, pp. 68–71.
- [22] Doron'kin V.M., Safronova O.S., Lamanova T.G., Sheremet N.V. *Rezultaty issledovaniya estestvennogo vosstanovleniya rastitel'nogo pokrova na vskryshnykh otvalakh, vznikshikh v 2000-e gody v Respublike Khakassiya* [The results of the study of natural revegetation on overburden piles, resulting in 2000 years in the Republic of Khakassia]. *Coal*, 2019, no. 11, pp. 94–98.
- [23] Kopytov A.I., Kupriyanov O.A., Manakov Yu.A., Kupriyanov A.N. *Dobycha uglja v Kuzbasse i novye ekotekhnologii* [Coal mining in Kuzbass and new ecotechnologies]. *Eco*, 2021, no. 6 (564), pp. 67–76.
- [24] Kopytov A.I., Kupriyanov A.N. *Novaya strategiya razvitiya ugol'noy otrasli Kuzbassa i reshenie ekologicheskikh problem* [A new strategy for the development of the coal industry of Kuzbass and solving environmental problems]. *Coal*, 2019, no. 11 (1124), pp. 89–93. DOI: 10.18796/0041-5790-2019-11-89-93
- [25] Kupriyanov A.N., Kupriyanov O.A., Manakov Yu.A., Shatilov D.A. *Izmenenie produktivnosti otvalov ugol'nykh predpriyatiy Kuzbassa pri rekonstruktsii rastitel'nogo pokrova* [Changes in the productivity of dumps of Kuzbass coal enterprises during the reconstruction of vegetation cover]. *Mezhdunarodnyy nauchno-issledovatel'skiy zhurnal* [International Research Journal], 2022, no. 9 (123). DOI: 10.23670/IRJ.2022.123.33
- [26] Cai L., Kreft H., Taylor A., Denelle P., Schrader J., Essl F., van Kleunen M., Pergl J., Pyšek P., Stein A., Winter M., Barcelona J.F., Fuentes N., Inderjit, Karger D.N., Kartesz J., Kupriyanov A., Nishino M., Nickrent D., Nowak A., Patzelt A., Pelsler P.B., Singh P., Wieringa J.J., Weigelt P. Global models and predictions of plant diversity based on advanced machine learning techniques. *New Phytol*, 2023, v. 237, pp. 1432–1445. <https://doi.org/10.1111/nph.18533>
- [27] Ufimtsev V.I., Kupriyanov A.N. *Karbonovye fermi — otvaly ugol'nykh predpriyatiy Kuzbassa* [Carbon farms-dumps of coal enterprises of Kuzbass]. *Coal*, 2021, no. 11(1148), pp. 56–60.
- [28] Liu Y., Jiang T., Zou C., Zhang H. Influence of the cellulose, hemicellulose and lignin on the combustion behavior of biomass. *Clean Coal Technology*, 2022, v. 04, pp. 137–143.
- [29] Murzakmatov R.T., Shishikin A.S., Borisov A.N. *Osobennosti formirovaniya nasazhdeniy na otvalakh ugol'nykh razrezov v lesostepnoy zone* [Features of the formation of plantings on the dumps of coal mines in the forest-steppe zone]. *Sibirskiy lesnoy zhurnal* [Siberian Forest Journal], 2018, no. 1, pp. 37–49.
- [30] Fox J.F., Campbell J.E., Acton P.M. Carbon sequestration by reforesting legacy grasslands on coal mining sites. *Energies*, 2020, v. 13, pp. 6340. doi.org/10.3390/en13236340
- [31] Han J., Hu Z., Mao Z., Li G., Liu S., Yuan D., Guo J. How to Account for Changes in Carbon Storage from Coal Mining and Reclamation in Eastern China? Taking Yanzhou Coalfield as an Example to Simulate and Estimate. *Remote Sens*, 2022, v. 14, p. 2014. doi.org/10.3390/rs14092014
- [32] Xin L., Ke Y., Juejing F. Utilization of resources in abandoned coal mines for carbon neutrality. *Science of The Total Environment*, 2022, v. 822, p. 153646. doi.org/10.1016/j.scitotenv.2022.153646
- [33] Singh R.S., Singh A.K., Tripathi N., Tiwari B.K. Carbon sequestration in Revegetated coal mine wastelands. *Coal S&T Project Report*, Ministry of Coal, Government of India, 2011, EE/40 GAP/04/EMG/MOC/2008-2009, pp. 174–184.

Acknowledgments

The research was carried out at the expense of a grant from the Ministry of Education and Science of the Republic of Khakassia (Agreement No. 94 dated 13.12.2022). The research project «Assessment of carbon sequestration by vegetation of technogenically disturbed territories of the Republic of Khakassia», as a part of the Program of the World-class scientific and educational center «Yenisei Siberia» «Regional network of carbon polygons for long-term observations greenhouse gas flows, heat and moisture». We express our gratitude to the scientific supervisor, professor, Dr. Sci. (Biology), Director of the Kuzbass Botanical Garden A.N. Kupriyanov, Cand. Sci. (Biology) O.A. Kupriyanov and the staff of the Reclamation laboratory of the Institute of Coal and Coal Chemistry SB RAS (Kemerovo) for their assistance in conducting research. We also thank for the assistance in organizing the research of SUEK-Khakassia and personally the chief ecologist E.V. Markova and the research engineer of the Laboratory of Land Reclamation of Research Institute of Agricultural Problems of Khakassia E.A. Morshnev.

Authors' information

Zhukov Aleksandr Andreevich — pg., Engineer, Katanov Khakass State University, zhukov_aa@mail.ru

Zhukova Elena Yurievna — Cand. Sci. (Biology), Associate Professor, Katanov Khakass State University, biosara@mail.ru

Received 07.11.2022.

Approved after review 10.01.2023.

Accepted for publication 27.01.2023.

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

ВЛИЯНИЕ АЭРОТЕХНОГЕННЫХ ВЫБРОСОВ МАГНЕЗИТОВОГО ПРОИЗВОДСТВА НА НАДЗЕМНУЮ ФИТОМАССУ *BETULA PENDULA* ROTH В ЗАВИСИМОСТИ ОТ ПЛОДОРОДИЯ ПОЧВЫ

К.Е. Завьялов[✉], С.Л. Менщиков, П.Е. Мохначев, Н.А. Кузьмина

ФГБУН «Ботанический сад Уральского отделения РАН», Россия, 620144, г. Екатеринбург, ул. 8 марта, д. 202а

zavyalov.k@mail.ru

Приведены материалы изучения надземной фитомассы березы повислой (*Betula pendula* Roth) опытных культур импактной зоны магнетитового производства (Южный Урал, г. Сатка, Челябинской обл.). Исследованы два участка (созданы в 1983 г.) опытных культур одного возраста, произрастающих в 3 км от источника техногенного загрязнения магнетитового производства и различающихся по плодородию почвы. Рассчитана надземная фитомасса древостоя (по модельным деревьям). Установлено, что древостои на богатых почвах имеют более высокие показатели высоты, диаметра стволов и жизненного состояния. Проведен сравнительный анализ надземной фитомассы опытных культур при одинаковом уровне загрязнения, но произрастающих на почвах различного плодородия, который показал увеличение надземной фитомассы березы повислой на высокоплодородных почвах. Дана оценка действию почвенного фактора на способность березы повислой адаптироваться к техногенному загрязнению. Определено, что в условиях среднего уровня магнетитового загрязнения плодородие почвы имеет существенное значение для адаптации дерева.

Ключевые слова: береза повислая, техногенное загрязнение, надземная фитомасса

Ссылка для цитирования: Завьялов К.Е., Менщиков С.Л., Мохначев П.Е., Кузьмина Н.А. Влияние аэротехногенных выбросов магнетитового производства на надземную фитомассу *Betula pendula* Roth в зависимости от плодородия почвы // Лесной вестник / Forestry Bulletin, 2023. Т. 27. № 2. С. 104–111.
DOI: 10.18698/2542-1468-2023-2-104-111

Развитие и концентрация металлургического производства на Урале привели к прогрессирующему увеличению объема выбросов, загрязняющих атмосферный воздух. Большие площади лесных экосистем попали под влияние аэротехногенного загрязнения. Для решения сложившейся проблемы требуется стабильное управление биоресурсами и понимание механизмов стабилизации биосферы [1]. Особого внимания заслуживают адаптация древесных растений к техногенным загрязнениям в городских условиях [2–5] и особенности взаимовлияния загрязнений в системе почва — растение [6–8]. Есть мнение, что минеральное питание растений оказывает положительное влияние на их адаптацию к неблагоприятным факторам внешней среды [9, 1]. Одной из характеристик состояния и жизнедеятельности лесных насаждений являются запасы надземной фитомассы. Соотношение фракций фитомассы — также хороший показатель устойчивости и роста древостоя в условиях аэротехногенного загрязнения [10–13].

Изучение влияния магнетитового загрязнения на состояние и рост опытных культур проводилось в г. Сатка Челябинской обл. начиная с 1984 г. Многолетние исследования показали, что влияние выбросов магнетитового загрязнения проявляется в снижении роста и ухудшении состояния

как спелых естественных сосновых древостоев, так и опытных культур *Pinus sylvestris* L., *Larix sukaczewii* Dyl., *Betula pendula* Roth [14, 15], в снижении надземной фитомассы *Betula pendula* Roth [16], в увеличении ксероморфности листьев и содержания магния в листьях [17], в слабом влиянии данного загрязнения на посевные качества семян *Pinus sylvestris* L. [18], в естественном возобновлении *Pinus sylvestris* L. [19] и в снижении радиального прироста *Pinus sylvestris* L. [20].

Цель работы

Цель работы — сравнительный анализ надземной фитомассы березы повислой в культурах одного возраста при одинаковом уровне загрязнения, произрастающих на почвах различного плодородия, выявление действия почвенного фактора на способность березы повислой адаптироваться к техногенному (магнетитовому) загрязнению, проверка нулевой гипотезы о плодородии почв как значимого фактора для адаптации березы повислой к загрязнению.

Объекты и методы исследования

Исследования надземной фитомассы опытных культур березы повислой *Betula pendula* Roth проводились на опытных участках, расположенных в 3 км от источника загрязнения на почвах различного плодородия (табл. 1). Культуры

Т а б л и ц а 1

Характеристика почвенных условий опытных участков культур березы повислой

Characteristics of soil conditions at European birch test plots

Номер опытного участка	Тип леса	Тип почвы	Характеристика почвы				
			pH водной вытяжки [23]	Гумус, % [24]	P ₂ O ₅ , мг/кг [24]	K ₂ O, мг/кг [24]	Соотношение, Mg ⁺⁺ /Ca ⁺⁺ [23]
5	С. яг.	Горная серая лесная легкосуг- линистая неполноразвитая	8,5	3,1	56	110	2,7
6	С. ргр.	Дерново-луговая среднесуглинистая	8,3	9,5	70	170	0,9

созданы в 1983 г. Район исследований расположен в Уральской горной области и относится к Юрюзанско-Верхнеайскому округу Южно-Уральской провинции горных южнотаежных и смешанных лесов [21]. Здесь господствует континентальный климат с умеренно холодной зимой и теплым, иногда жарким, летом. Весна отличается резкими перепадами температур воздуха — от отрицательных к положительным. Осень довольно теплая. Начало осени отмечается, как правило, устойчивой ясной погодой. По данным метеостанции Златоуст (40 км от источника выбросов) [22], среднегодовая температура воздуха 0,70 °С, годовая сумма осадков 555 мм. Большая часть осадков приходится на летний период (около 45 % годовой суммы, максимум — в июле), тогда как зимой их количество резко уменьшается (26 % годовой суммы, минимум — в феврале).

Массу фракций надземной фитомассы древостоя рассчитывали по модельным деревьям, которые отбирали на основе комплексного метода Н.А. Бабича и М.Д. Мерзленко [25], с некоторыми изменениями, в пределах всего диапазона варьирования размеров в августе, т. е. после стабилизации влажности фракций. На каждом опытном участке было отобрано от 9 до 12 модельных деревьев — одно дерево вырубалось из средней ступени толщины. Остальные модели были взяты из разных ступеней толщины, по одному среднему для ступени. Обязательно отбирались деревья из низших и высших ступеней толщины.

Надземная фитомасса модельных деревьев замерялась непосредственным взвешиванием. Надземную фитомассу делили на следующие фракции: древесина ствола, кора ствола, ветви, листья и отмершие ветви. Фитомасса изучалась в сыром состоянии на основе анализа показателей связей М.Г. Семечкиной [13], которая доказала правомерность использования как свежесрубленной, так и абсолютно сухой фитомассы. На наш взгляд, данное обстоятельство свидетельствует о возможности получения достаточно надежных результатов при изучении фитомассы в сыром состоянии.

Для оценки фитомассы древостоя использовался регрессионный метод. При вычислении надземной фитомассы выравнивание фитомассы проводилось с помощью аллометрической (степенной) функции $y = axb$, где y — фитомасса, кг; x — диаметр на высоте груди, см; a , b — коэффициенты.

Результаты и обсуждение

Установлено, что древостои на богатых почвах имеют лучший рост (высоту, диаметр ствола) и жизненное состояние (табл. 2).

Т а б л и ц а 2

Показатели опытных культур березы повислой

European birch test crops indicators

Номер опытного участка	Диаметр ствола (среднее значение), см	Высота (среднее значение), м	Индекс повреждения
5	4,5 ± 0,16	6,6 ± 0,47	2,05 ± 0,03
6	6,8 ± 0,33	9,7 ± 0,43	1,57 ± 0,11

Примечание. Индекс повреждения — показатель жизненного состояния древостоя, балл.

Анализ меры точности выравнивания фитомассы и тесноты связи, характеризующихся коэффициентом корреляции, свидетельствует о различии в тесноте связи при оценке фракций фитомассы (табл. 3).

Очень тесная связь определена у древесины ствола ($r = 0,96$), у коры ствола ($r = 0,93...0,95$), ствола ($r = 0,96...0,97$) и у общей фитомассы ($r = 0,96...0,997$).

При оценке кроновой массы наблюдается тесная связь (у фракции листьев $r = 0,89...0,95$, ветвей $r = 0,90...0,92$). Связи достоверны на уровне значимости выше 95 % по критерию Фишера. Таким образом, степенная функция достаточно объективно описывает исследуемые нами связи и обеспечивает достаточно высокую точность при оценке фитомассы.

Т а б л и ц а 3

Характеристика связи фракций надземной фитомассы с диаметрами стволов на опытных участках

Relationship of fractions of elevated phytomass with trunk diameters at test plots

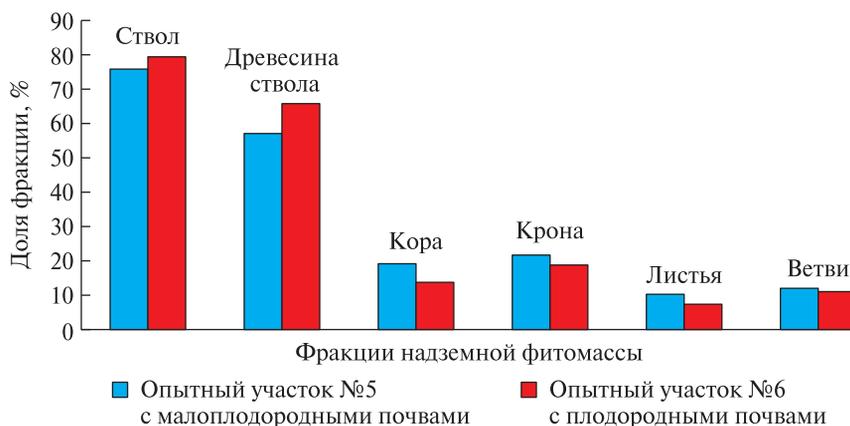
Номер опытного участка	Надземная фитомасса	Уравнение степенной функции	Коэффициент корреляции	Коэффициент детерминации	Стандартная ошибка уравнения	Критерий Фишера (3,18)
5	Ствол	$y = 0,199052x^{2,217}$	0,96	91,99	0,23	114,78
	Древесина ствола	$y = 0,133369x^{2,28415}$	0,96	91,31	0,25	105,13
	Кора ствола	$y = 0,0690078x^{2,01725}$	0,93	92,74	0,20	127,79
	Крона	$y = 0,0476037x^{2,33709}$	0,90	88,39	0,30	76,12
	Листья	$y = 0,0352456x^{2,05835}$	0,95	90,10	0,24	91,03
	Ветви	$y = 0,0182224x^{2,52924}$	0,92	85,18	0,38	57,48
	Надземная фитомасса	$y = 0,25999x^{2,22479}$	0,96	91,82	0,24	112,27
6	Ствол	$y = 0,18926x^{2,36135}$	0,97	93,13	0,23	135,59
	Древесина ствола	$y = 0,124979x^{2,46299}$	0,96	92,89	0,25	130,61
	Кора ствола	$y = 0,0723796x^{2,00226}$	0,95	91,06	0,23	101,90
	Крона	$y = 0,0552946x^{2,25802}$	0,90	81,37	0,39	43,69
	Листья	$y = 0,0337666x^{2,06585}$	0,89	79,71	0,38	39,28
	Ветви	$y = 0,0253722x^{2,37317}$	0,90	80,47	0,42	41,22
	Надземная фитомасса	$y = 0,267378x^{2,31108}$	0,97	93,43	0,22	142,24

Т а б л и ц а 4

Запасы надземной фитомассы березы повислой на опытных участках

Reserves of European birch crops elevated phytomass at test plots

Номер опытного участка	Фракции фитомассы						Всего
	Ствол			Крона			
	всего	в том числе		всего	в том числе		
		древесина	кора		листья	ветви	
5	41,9	31,4	10,4	12,3	5,7	6,5	55,4
6	142,7	118,3	24,8	33,1	13,3	19,6	180,3



Доля фракций общей надземной фитомассы в зоне загрязнения при разном плодородии почв

The fraction of the total elevated phytomass in the pollution zone with different soil fertility

Уравнение степенной функции позволяет со значительной степенью вероятности находить значения фракций фитомассы по ступеням тол-

щины. Использование регрессионного анализа позволило нам выйти на фитомассу древостоя в целом.

Высокое плодородие почв на опытном участке № 6 с наиболее гумусированным и значительным по мощности аккумулятивным горизонтом положительно влияет на надземную фитомассу, снижая негативное влияние аэропромвыбросов магнетитового производства (табл. 4). Анализ надземной фитомассы на опытном участке № 6 с высокоплодородными почвами показывает большее снижения фитомассы древесины ствола (в 3,8 раза) и ветвей (в 3,0 раза), чем на опытном участке № 5. Масса листьев и коры снижается в меньшей степени — в 2,3 и 2,4 раза соответственно.

Установлено, что плодородие почв в условиях загрязнения влияет не только на абсолютные величины, но и на структуру надземной фитомассы (рисунок). На опытном участке № 6 (с плодородными почвами) повышается доля древесины ствола (на 14 %), а доля коры и листьев начинает уменьшаться (на 37 и 39 % соответственно) по сравнению с опытными участками № 5 (с малоплодородными почвами).

Масса ветвей в насаждениях, как отмечает М.Г. Семечкина [13], подвержена значительным колебаниям, что связано с широким диапазоном варьирования этого показателя и относительно низкой по сравнению с другими фракциями фитомассы точностью его определения. Анализ доли коры показывает тенденцию увеличения данного показателя с повышением степени загрязнения. Уменьшение доли ствола и повышение доли хвои сосны с ростом аэротехногенной нагрузки отмечено также в работах И.А. Юсупова и соавт. [26] и А.А. Мартынюка [27].

Достаточно широко освещена в литературе проблема миграции элементов в системе почва — растение при аэротехногенном загрязнении [28–34]. Описано изменение интенсивности биогеохимического круговорота и снижение нейтрализующей роли экосистемы по отношению к загрязняющим ингредиентам при повышении порога устойчивости [35, 36]. Исследования фитомассы на Урале в условиях техногенного загрязнения проводились в районе Ревдинско-Первоуральского промузла (Среднеуральский медеплавильный завод — СУМЗ) [26, 37], в районе Карабашского медеплавильного комбината (АО «Карабашмедь») [37]. Однако эффект плодородия почв для адаптации растений не проанализирован. Для использования разработанных моделей в условиях техногенного загрязнения необходима информация об особенностях влияния климатических и эдафических факторов на антропогенно нарушенные экосистемы [38]. Полученные и изложенные нами в настоящей работе результаты помогут в решении названной проблемы.

Выводы

В результате исследований установлено, что на плодородных почвах (опытный участок № 6) в зоне среднего загрязнения все изученные таксационные показатели древостоя повышаются, по сравнению с опытными участками № 5 на малоплодородных почвах в той же зоне загрязнения. Повышение таксационных показателей деревьев неизбежно влечет за собой увеличение надземной фитомассы древостоев. Таким образом, сравнительный анализ надземной фитомассы опытных культур одного возраста и при одинаковом уровне загрязнения выбросами магнетитового производства, но произрастающих на почвах различного плодородия, позволил оценить действие почвенного фактора на способность березы повислой адаптироваться к техногенному загрязнению. В зоне среднего загрязнения плодородие почвы имеет существенное значение для адаптации дерева. Фитомасса опытных культур березы повислой, произрастающих на высокоплодородных почвах (опытный участок № 6) с наиболее гумусированным и значительным по мощности аккумулятивным горизонтом, наиболее активно повышается по древесине ствола и ветвей (в 3,8 и в 3,0 раза), в меньшей степени — по листьям и коре (в 2,3 и в 2,4 соответственно). В структуре надземной фитомассы происходят изменения и в зависимости от плодородия почв. У культур на высокоплодородных почвах достоверно уменьшается доля листвы и коры (на 37 и 39 % соответственно).

Работа выполнена в рамках Государственного задания Ботанического сада УрО РАН.

Список литературы

- [1] Maiti R., Rodriguez H.G. Mystry of Coexistence and Adaptation of Trees in a Forest Ecosystem // *Forest Research*, 2015, no. 4, p. e120. DOI: 10.4172/2168-9776.1000e120
- [2] Бухарина И.Л., Двоглазова А.А. Биоэкологические особенности травянистых и древесных растений в городских насаждениях. Ижевск: Изд-во Удмуртского государственного университета, 2010. 184 с.
- [3] Луговская А.Ю., Храмова Е.П., Чанкина О.В. Влияние транспортно-промышленного загрязнения на морфометрические параметры и элементный состав *Potentilla fruticosa* // *Сибирский экологический журнал*, 2018. Т. 25, № 1. С. 111–121.
- [4] Dise N.B., Gundersen P. Forest Ecosystem Responses to Atmospheric Pollution: Linking Comparative With Experimental Studies // *Water, Air, & Soil Pollution: Focus*, 2004, no. 4(2), pp. 207–220. <https://doi.org/10.1023/B:WAFO.0000028355.20005.c5>
- [5] Mikhailova T.A., Afanasieva L.V., Kalugina O.V., Shergina O.V., Taranenko E.N. Changes in nutrition and pigment complex in pine (*Pinus sylvestris* L.) needles under technogenic pollution in Irkutsk region, Russia // *J. of Forest Research*, 2017, v. 22, no. 6, pp. 386–392. DOI: 10.1080/13416979.2017.1386020

- [6] Menon M., Hermle S., Günthardt-Goerg M.S., Schulin R. Effects of heavy metal soil pollution and acid rain on growth and water use efficiency of a young model forest ecosystem // *Plant and Soil*, 2007, v. 297, pp. 171–183. <https://doi.org/10.1007/s11104-007-9331-4>
- [7] Orozco-Aceves M., Standish R.J., Tibbett M. Soil conditioning and plant-soil feedbacks in a modified forest ecosystem are soil-context dependent // *Plant and Soil*, 2015, v. 390, pp. 183–194. <https://doi.org/10.1007/s11104-015-2390-z>
- [8] Bennett J.A., Maherali H., Reinhart K.O., Lekberg Y., Hart M.M., Klironomos J. Plant-soil feedbacks and mycorrhizal type influence temperate forest population dynamics // *Science*, 2017, v. 355, iss. 6321, pp. 181–184. DOI: 10.1126/science.aai8212
- [9] Соболева С.В., Есякова О.А., Воронин В.М. Оценка аэрогенного загрязнения с использованием сосны обыкновенной (*Pinus silvestris* L.) и ели сибирской (*Picea obovata*) // *Хвойные боральной зоны*, 2020. Т. 38. № 3–4. С. 115–122.
- [10] Горбатенко В.М. Структура фитомассы древесного яруса сосняков // *Изучение природы лесов Сибири*. Красноярск: [б. и.], 1972. С. 3–10.
- [11] Макаренко А.А. О свойствах рядов распределения деревьев в древостоях // *Лесоведение*, 1975. № 6. С. 42–60.
- [12] Рубцов В.И., Рубцов В.В. Биологическая продуктивность культур сосны при разной густоте посадки // *Лесоведение*, 1975. № 1. С. 28–36.
- [13] Семечкина М.Г. Структура фитомассы сосняков. Новосибирск: Наука, 1978. 65 с.
- [14] Завьялов К.Е., Менщиков С.Л. Опыт рекультивационных мероприятий по лесовосстановлению нарушенных земель саткинского промузла // *Экология и промышленность России*, 2016. Т. 20. № 12. С. 36–38. <https://doi.org/10.18412/1816-0395-2016-12-36-38>
- [15] Zavyalov K.E., Menshikov S.L., Mohnachev P.E., Kuzmina N., Potapenko A., Ayan S. Response of Scotch pine, Sukachyov's larch, and silver birch to magnesite dust in Satkinsky industrial hub // *Forestry Ideas*, 2018, t. 24, no. 1, pp. 23–36.
- [16] Завьялов К.Е., Менщиков С.Л. Надземная фитомасса опытных культур березы повислой в условиях загрязнения магнетитовой пылью // *Известия Оренбургского государственного аграрного университета*, 2010. № 4 (28). С. 27–30.
- [17] Завьялов К.Е. Морфология и химический состав листьев опытных культур березы повислой (*Betula Pendula* Roth) в условиях магнетитового загрязнения // *Известия Оренбургского государственного аграрного университета*, 2013. № 3 (41). С. 230–232.
- [18] Мохначев П.Е., Махнева С.Г., Менщиков С.Л. Особенности репродукции сосны обыкновенной (*Pinus silvestris* L.) в условиях загрязнения магнетитовой пылью // *Известия Оренбургского государственного аграрного университета*, 2013. № 3 (41). С. 8–9.
- [19] Mohnachev P.E., Makhniova S.G., Menshikov S.L., Zavyalov K.E., Kuzmina N., Potapenko A., Ayan S., Laaribya S. Scotch Pine Regeneration in Magnesite Pollution Conditions in South Ural, Russia // *SEEFOR*, 2018, v. 9(1). <https://doi.org/10.15177/seeфор.18-02>
- [20] Завьялов К.Е. Отклик радиального прироста *Pinus sylvestris* L. в опыте рекультивации техногенно-нарушенных земель Саткинского промузла // *Экология и промышленность России*, 2018. Т. 22. № 4. С. 60–63. <https://doi.org/10.18412/1816-0395-2018-4-60-63>
- [21] Колесников Б.П. Леса Челябинской области. Леса СССР, Т. 4. М.: Наука, 1969. С. 125–157.
- [22] Научно-прикладной справочник по климату СССР. Сер. 3. Многолетние данные. Кн. 1, ч. 1–6. Вып. 9. Л.: Гидрометеиздат, 1990. 557 с.
- [23] Менщиков С.Л., Кузьмина Н. А., Мохначев П.Е. Воздействие атмосферных выбросов магнетитового производства на почвы и снеговой покров // *Известия Оренбургского государственного аграрного университета*, 2012. № 5(37). С. 221–224.
- [24] Менщиков С.Л. Исследование экологических особенностей роста и обоснование агротехники создания культур хвойных пород в условиях магнетитовых запылений: автореф. дис. ... канд. с.-х. наук. Свердловск, 1985. 20 с.
- [25] Бабич Н.А., Мерзленко М.Д. Биологическая продуктивность лесных культур. Архангельск: Изд-во АГТУ, 1998. 89 с.
- [26] Юсупов И.А., Луганский Н.А., Залесов С.В. Состояние искусственных сосновых молодняков в условиях аэропромвыбросов. Екатеринбург: Изд-во УГЛТА, 1999. 185 с.
- [27] Мартынюк А.А. Особенности формирования надземной фитомассы сосновых молодняков в условиях техногенного загрязнения // *Лесоведение*, 2008. № 1. С. 39–45.
- [28] Alaoui H.A.A., Genc C.O., Aricak B., Kuzmina N., Menshikov S., Cetin M The possibility of using Scots pine needles as biomonitor in determination of heavy metal accumulation // *Environmental Science and Pollution Research*, 2020, t. 27, no. 16, pp. 20273–20280.
- [29] Менщиков С.Л., Кузьмина Н.А., Мохначев П.Е. Аккумуляция металлов в хвое сосны обыкновенной (*Pinus sylvestris* L.), в почве и снеговой воде в условиях техногенного загрязнения // *Лесной вестник / Forestry Bulletin*, 2020. Т. 24. № 3. С. 94–102. DOI: 10.18698/2542-1468-2020-3-94-102
- [30] Синдирева А.В. Прогнозирование содержания химических элементов в почве и растениях при техногенном загрязнении // *Вестник Омского государственного аграрного университета*, 2003. № 3. С. 13–15.
- [31] Кузнецов М.Н., Могилева С.М. Накопление тяжелых металлов в плодах и почве в зоне техногенного загрязнения // *Вестник Российской академии сельскохозяйственных наук*, 2008. № 4. С. 80–82.
- [32] Петрушенко В.В., Шихалеева Г.Н., Васильева Т.В., Энан А.А. Биологическая утилизация техногенных загрязнений в системе «почва — растение — атмосферный воздух» // *Вестник ИрГСХА*, 2011. № 44–8. С. 92–97.
- [33] Петров В.Г., Шумилова М.А. Способ изучения в лабораторных условиях подвижности техногенных загрязнений в почве // *Химическая физика и мезоскопия*, 2012. Т. 14. № 2. С. 249–252.
- [34] Батова Ю.В., Казнина Н.М., Титов А.Ф., Лайдинен Г.Ф. Состояние травянистой растительности и накопление тяжелых металлов растениями, произрастающими в условиях техногенного загрязнения почвы // *Вестник Тамбовского университета. Сер.: Естественные и технические науки*, 2014. Т. 19. № 5. С. 1642–1645.
- [35] Тарханов С.Н. Хвойные насаждения в условиях атмосферного загрязнения // *Лесное хозяйство*, 2004. № 3. С. 18–20.
- [36] Ворончихина Е.А., Запоров А.Ю., Касимов А.К. Функциональное значение лесных экосистем в нейтрализации атмосферного загрязнения // *Формирование лесного кадастра, системы плат за лесопользование и аренды лесов Урала / под ред. С.А. Мамаева, Р.П. Исаевой*. Екатеринбург: Изд-во Института леса Уральского отделения Российской академии наук, 1996. С. 21–23.
- [37] Усольцев В.А., Воробейчик Е.Л., Бергман И.Е. Биологическая продуктивность лесов Урала в условиях техногенного загрязнения: Исследование системы связей и закономерностей. Екатеринбург: Изд-во УГЛТУ, 2012. 366 с.
- [38] Bugmann H. A review of forest gap models // *Climatic Change*, 2001, t. 51, no. 3–4, pp. 259–305.

Сведения об авторах

Завьялов Константин Евгеньевич✉ — канд. с.-х. наук, науч. сотр. ФГБУН «Ботанический сад Уральского отделения РАН», zavyalov.k@mail.ru

Меншиков Сергей Леонидович — д-р с.-х. наук, ст. науч. сотр., зав. лабораторией экологии техногенных растительных сообществ, ФГБУН «Ботанический сад Уральского отделения РАН», m.sergei1951@yandex.ru

Мохначев Павел Евгеньевич — канд. биол. наук, науч. сотр., ФГБУН «Ботанический сад Уральского отделения РАН», mokhnachev74@mail.ru

Кузьмина Надежда Александровна — науч. сотр., ФГБУН «Ботанический сад Уральского отделения РАН», yarkaya05@mail.ru

Поступила в редакцию 07.11.2022.

Одобрено после рецензирования 10.01.2023.

Принята к публикации 25.01.2023.

MAGNESITE PRODUCTION AEROTECHNOGENIC EMISSIONS IMPACT ON THE ELEVATED PHYTOMASS *BETULA PENDULA* ROTH DEPENDING ON SOIL FERTILITY

K.E. Zav'yalov, S.L. Menshchikov, P.E. Mokhnachev, N.A. Kuz'mina

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

zavyalov.k@mail.ru

The study of the test crop European birch elevated phytomass at the magnesite production impact zone (the Southern Urals, Satka) was carried out. Two plots of test crops of the same age (created in 1983) growing 3 km away from the source of technogenic pollution from magnesite production and with different soil fertility were studied. The elevated phytomass of the stand was calculated using sample trees. The selection of trees was carried out from different thickness levels within the entire range. A regression method was used to estimate the phytomass of the stand. In the course of our work, we tested the null hypothesis that soil fertility is a significant factor for the adaptation of the *Betula pendula* Roth to pollution since it was noted that stands on rich soils have the best growth (height, diameter) and the vital condition of the stand. A comparative analysis of the elevated phytomass of test crops with the same level of pollution by magnesite production emissions, but growing on soils of different fertility, allowed us to assess the effect of the soil factor on the ability of the European birch to adapt to technogenic pollution. Under the conditions of magnesite production emissions, the elevated phytomass of experimental *Betula pendula* Roth crops growing on highly fertile soils is not reduced to the same extent as that of birch growing on low-fertile soils. Under the negative emissions impact, the mass of wood and branches of the *Betula pendula* Roth growing on highly fertile soils decreases to a smaller extent than the mass of other fractions. The wood and branches weight of the *Betula pendula* Roth growing on highly fertile soils is 3.8 and 3.0 times higher, respectively, and the weight of leaves and bark is 2.3 and 2.4 respectively, compared with test plot No. 5 on low-fertile soils.

Keywords: *Betula pendula* Roth, technogenic pollution, overground phytomass

Suggested citation: Zav'yalov K.E., Menshchikov S.L., Mokhnachev P.E., Kuz'mina N.A. *Vliyanie aerotekhnogennykh vybrosov magnезитового производства на наземную фитомассу Betula pendula Roth в зависимости от плодородия почвы* [Magnesite production aerotechnogenic emissions impact on the elevated phytomass *Betula pendula* Roth depending on soil fertility]. *Lesnoy vestnik / Forestry Bulletin*, 2023, vol. 27, no. 2, pp. 104–111. DOI: 10.18698/2542-1468-2023-2-104-111

References

- [1] Maiti R., Rodriguez H.G. Mystery of Coexistence and Adaptation of Trees in a Forest Ecosystem. *Forest Research*, 2015, no. 4, p. e120. DOI: 10.4172/2168-9776.1000e120
- [2] Bukharina I.L., Dvoeglazova A.A. *Bioekologicheskie osobennosti travyanistykh i drevesnykh rasteniy v gorodskikh nasazhdeniyakh* [Bioecological features of herbaceous and woody plants in urban plantations]. Izhevsk: Udmurt State University, 2010, 184 p.
- [3] Lugovskaya A. Yu., Khramova E.P., Chankina O.V. *Vliyanie transportno-promyshlennogo zagryazneniya na morfometricheskie parametry i elementnyy sostav Potentilla fruticosa* [Effect of transport and industrial pollution on morphometric parameters and element composition of *Potentilla fruticosa*]. *Sibirskiy ekologicheskiy zhurnal [Siberian Ecological Journal]*, 2018, v. 25, no. 1, pp. 111–121.
- [4] Dise N.B., Gundersen P. Forest Ecosystem Responses to Atmospheric Pollution: Linking Comparative With Experimental Studies. *Water, Air, & Soil Pollution: Focus*, 2004, no. 4(2), pp. 207–220. <https://doi.org/10.1023/B:WAFO.0000028355.20005.c5>
- [5] Mikhailova T.A., Afanasieva L.V., Kalugina O.V., Shergina O.V., Taranenko E.N. Changes in nutrition and pigment complex in pine (*Pinus sylvestris* L.) needles under technogenic pollution in Irkutsk region, Russia. *J. of Forest Research*, 2017, v. 22, no. 6, pp. 386–392. DOI: 10.1080/13416979.2017.1386020

- [6] Menon M., Hermle S., Günthardt-Goerg M.S., Schulin R. Effects of heavy metal soil pollution and acid rain on growth and water use efficiency of a young model forest ecosystem. *Plant and Soil*, 2007, v. 297, pp. 171–183. <https://doi.org/10.1007/s11104-007-9331-4>
- [7] Orozco-Aceves M., Standish R.J., Tibbett M. Soil conditioning and plant-soil feedbacks in a modified forest ecosystem are soil-context dependent. *Plant and Soil*, 2015, v. 390, pp. 183–194. <https://doi.org/10.1007/s11104-015-2390-z>
- [8] Bennett J.A., Maherali H., Reinhart K.O., Lekberg Y., Hart M.M., Klironomos J. Plant-soil feedbacks and mycorrhizal type influence temperate forest population dynamics. *Science*, 2017, v. 355, iss. 6321, pp. 181–184. DOI: 10.1126/science.aai8212
- [9] Soboleva S.V., Esyakova O.A., Voronin V.M. *Otsenka aerogennogo zagryazneniya s ispol'zovaniem sosny obyknovennoy (Pinus silvestris L.) i eli sibirskoy (Picea obovata)* [Assessment of aerogenic pollution using Scots pine (*Pinus silvestris* L.) and Siberian spruce (*Picea obovata*)]. *Khvoynye boreal'noy zony* [Conifers of the boreal area], 2020, v. 38, no. 3–4, pp. 115–122.
- [10] Gorbatenko V.M. *Struktura fitomassy drevsnogo yarusa sosnyakov* [The structure of the phytomass of the tree layer of pine forests]. *Izucheniye prirody lesov Sibiri* [Study of the nature of Siberian forests]. Krasnoyarsk: [b. and.], 1972, pp. 3–10.
- [11] Makarenko A.A. *O svoystvakh ryadov raspredeleniya derev'ev v drevostoyakh* [On the properties of tree distribution rows in forest stands]. *Lesovedenie*, 1975, no. 6, pp. 42–60.
- [12] Rubtsov V.I., Rubtsov V.V. *Biologicheskaya produktivnost' kul'tur sosny pri raznoy gustote posadki* [Biological productivity of pine crops at different planting density]. *Lesovedenie*, 1975, no. 1, pp. 28–36.
- [13] Semechikina M.G. *Struktura fitomassy sosnyakov* [The structure of the phytomass of pine forests]. Novosibirsk: Nauka, 1978, 65 p.
- [14] Zav'yalov K.E., Menshchikov S.L. *Opyt rekul'tivatsionnykh meropriyatiy po lesovosstanovleniyu narushennykh zemel' satkinskogo promuzla* [Experience of reclamation measures for reforestation of disturbed lands of the Satka industrial hub]. *Ekologiya i promyshlennost' Rossii* [Ecology and Industry of Russia], 2016, v. 20, no. 12, pp. 36–38. <https://doi.org/10.18412/1816-0395-2016-12-36-38>
- [15] Zav'yalov K., Menshchikov S., Mohnachev P., Kuz'mina N., Potapenko A., Ayan S. Response of Scotch pine, Sukachyov's larch, and silver birch to magnesite dust in Satkinsky industrial hub. *Forestry Ideas*, 2018, t. 24, no. 1, pp. 23–36.
- [16] Zav'yalov K.E., Menshchikov S.L. *Nadzemnaya fitomassa opytnykh kul'tur berezy povisloy v usloviyakh zagryazneniya magnezitovoy pyl'yu* [Above-ground phytomass of experimental cultures of birch under conditions of pollution with magnesite dust]. *Izvestiya Orenburgskogo gosudarstvennogo agrarnogo universiteta* [Proceedings of the Orenburg State Agrarian University], 2010, no. 4 (28), pp. 27–30.
- [17] Zav'yalov K.E. *Morfologiya i khimicheskiy sostav list'ev opytnykh kul'tur berezy povisloy (Betula Pendula Roth) v usloviyakh magnezitovogo zagryazneniya* [Morphology and chemical composition of the leaves of experimental cultures of silver birch (*Betula Pendula* Roth) under conditions of magnesite pollution]. *Izvestiya Orenburgskogo gosudarstvennogo agrarnogo universiteta* [Proceedings of the Orenburg State Agrarian University], 2013, no. 3 (41), pp. 230–232.
- [18] Mokhnachev P.E., Makhneva S.G., Menshchikov S.L. *Osobennosti reproduktzii sosny obyknovennoy (Pinus silvestris L.) v usloviyakh zagryazneniya magnezitovoy pyl'yu* [Peculiarities of reproduction of Scots pine (*Pinus silvestris* L.) under conditions of pollution with magnesite dust]. *Izvestiya Orenburgskogo gosudarstvennogo agrarnogo universiteta* [Proceedings of the Orenburg State Agrarian University], 2013, no. 3 (41), pp. 8–9.
- [19] Mohnachev P.E., Makhniova S.G., Menshchikov S.L., Zavyalov K.E., Kuzmina N., Potapenko A., Ayan S., Laaribya S. Scotch Pine Regeneration in Magnesite Pollution Conditions in South Ural, Russia. *SEEFOR*, 2018, v. 9(1). <https://doi.org/10.15177/seeфор.18-02>
- [20] Zav'yalov K.E. *Otklik radial'nogo prirosta Pinus sylvestris L. v opyte rekul'tivatsii tekhnogennonarushennykh zemel' Catkinskogo promuzla* [The response of the radial growth of *Pinus sylvestris* L. in the experience of reclamation of technogenically disturbed lands of the Satka industrial hub]. [Ecology and Industry of Russia], 2018, v. 22, no. 4, pp. 60–63. <https://doi.org/10.18412/1816-0395-2018-4-60-63>
- [21] Kolesnikov B.P. *Lesa Chelyabinskoy oblasti. Lesa SSSR* [Forests of the Chelyabinsk region. Forests of the USSR]. T. 4. Moscow: Nauka, 1969, pp. 125–157.
- [22] *Nauchno-prikladnoy spravochnik po klimatu SSSR. Seriya 3. Mnogoletnie dannye* [Scientific and applied reference book on the climate of the USSR. Series 3. Long-term data]. Book. 1, ch. 1–6, iss. 9. Leningrad: Gidrometeoizdat, 1990, 557 p.
- [23] Menshchikov S.L., Kuz'mina N. A., Mokhnachev P.E. *Vozdeystvie atmosferynykh vybrosov magnezitovogo proizvodstva na pochvy i snegovoy pokrov* [The impact of atmospheric emissions of magnesite production on soils and snow cover]. *Izvestiya Orenburgskogo gosudarstvennogo agrarnogo universiteta* [Proceedings of the Orenburg State Agrarian University], 2012, no. 5 (37), pp. 221–224.
- [24] Menshchikov S.L. *Issledovanie ekologicheskikh osobennostey rosta i obosnovanie agrotekhniki sozdaniya kul'tur khvoynnykh porod v usloviyakh magnezitovykh zapyleniy* [Research of ecological features of growth and substantiation of agricultural technology for the creation of coniferous crops in conditions of magnesite dusting]. *Dis. Cand. Sci. (Agric.)*. Sverdlovsk, 1985, 20 p.
- [25] Babich H.A., Merzlenko M.D. *Biologicheskaya produktivnost' lesnykh kul'tur* [Biological productivity of forest crops]. Arkhangelsk: AGTU Press, 1998, 89 p.
- [26] Yusupov I.A., Luganskiy N.A., Zalesov S.V. *Sostoyanie iskusstvennykh sosnovykh molodnyakov v usloviyakh aeropromvybrosov* [The state of artificial pine young stands under conditions of industrial emissions]. Ekaterinburg: UGLTA, 1999, 185 p.
- [27] Martynyuk A.A. *Osobennosti formirovaniya nadzemnoy fitomassy sosnovykh molodnyakov v usloviyakh tekhnogennogo zagryazneniya* [Peculiarities of formation of aboveground phytomass of young pine forests under conditions of technogenic pollution]. *Lesovedenie*, 2008, no. 1, pp. 39–45.
- [28] Alaouri H.A.A., Gene C.O., Aricak B., Kuzmina N., Menshchikov S., Cetin M. The possibility of using Scots pine needles as biomonitor in determination of heavy metal accumulation. *Environmental Science and Pollution Research*, 2020, t. 27, no. 16, pp. 20273–20280.
- [29] Menshchikov S.L., Kuz'mina N.A., Mokhnachev P.E. *Akkumulyatsiya metallov v khvoe sosny obyknovennoy (Pinus sylvestris L.) v pochve i snegovoy vode v usloviyakh tekhnogennogo zagryazneniya* [Accumulation of metals in Pine (*Pinus sylvestris* L.) needles, in soil and snow melt water in conditions of technogenic pollution]. *Lesnoy vestnik / Forestry Bulletin*, 2020, vol. 24, no. 3, pp. 94–102. DOI: 10.18698/2542-1468-2020-3-94-102

- [30] Sindireva A.V. *Prognozirovanie sodержaniya khimicheskikh elementov v pochve i rasteniyakh pri tekhnogenom zagryaznenii* [Forecasting the content of chemical elements in soil and plants under technogenic pollution]. Vestnik Omskogo gosudarstvennogo agrarnogo universiteta [Bulletin of the Omsk State Agrarian University], 2003, no. 3, pp. 13–15.
- [31] Kuznetsov M.N., Mogileva S.M. *Nakoplenie tyazhelykh metallov v plodakh i pochve v zone tekhnogennoho zagryazneniya* [Accumulation of heavy metals in fruits and soil in the zone of technogenic pollution]. Vestnik Rossiyskoy akademii sel'skokhozyaystvennykh nauk [Bulletin of the Russian Academy of Agricultural Sciences], 2008, no. 4, pp. 80–82.
- [32] Petrushenko V.V., Shikhaleeva G.N., Vasil'eva T.V., Ennan A.A. *Biologicheskaya utilizatsiya tekhnogennykh zagryazneniy v sisteme «pochva — rastenie — atmosferynyy vozdukh»* [Biological utilization of technogenic pollution in the system «soil-plant-atmospheric air»]. Vestnik IrGSHA, 2011, no. 44–8, pp. 92–97.
- [33] Petrov V.G., Shumilova M.A. *Sposob izucheniya v laboratornykh usloviyakh podvizhnosti tekhnogennykh zagryazneniy v pochve* [A method for studying the mobility of technogenic pollution in soil under laboratory conditions]. Khimicheskaya fizika i mezoskopiya [Chemical Physics and Mezoscopy], 2012, v. 14, no. 2, pp. 249–252.
- [34] Batova Yu.V., Kaznina N.M., Titov A.F., Laydinen G.F. *Sostoyanie travyanistoy rastitel'nosti i nakoplenie tyazhelykh metallov rasteniyami, proizrastayushchimi v usloviyakh tekhnogennoho zagryazneniya pochvy* [The state of herbaceous vegetation and the accumulation of heavy metals by plants growing in conditions of technogenic soil pollution]. Vestnik Tambovskogo universiteta. Seriya: Estestvennye i tekhnicheskie nauki [Bulletin of the Tambov University. Series: Natural and technical sciences], 2014, v. 19, no. 5, pp. 1642–1645.
- [35] Tarkhanov S.N. *Khvoynnye nasazhdeniya v usloviyakh atmosfernogo zagryazneniya* [Coniferous plantations under conditions of atmospheric pollution]. Lesnoe khozyaystvo [Forestry], 2004, no. 3, pp. 18–20.
- [36] Voronchikhina E.A., Zaporov A.Yu., Kasimov A.K. *Funktsional'noe znachenie lesnykh ekosistem v neytralizatsii atmosfernogo zagryazneniya* [The functional significance of forest ecosystems in the neutralization of atmospheric pollution]. Formirovanie lesnogo kadastra, sistemy plat za lesopol'zovanie i arendy lesov Urala [Formation of the forest cadastre, systems of payments for forest use and lease of forests in the Urals]. Eds. S.A. Mamaev, R.P. Isaeva. Ekaterinburg: Forest Institute of the Ural Branch of the Russian Academy of Sciences, 1996, pp. 21–23.
- [37] Usol'tsev V.A., Vorobeychik E.L., Bergman I.E. *Biologicheskaya produktivnost' lesov Urala v usloviyakh tekhnogennoho zagryazneniya: Issledovanie sistemy svyazey i zakonomernostey* [Biological productivity of forests in the Urals under conditions of technogenic pollution: Study of the system of relationships and patterns]. Ekaterinburg: UGLTU, 2012, 366 p.
- [38] Bugmann H. A review of forest gap models. Climatic Change, 2001, t. 51, no. 3–4, pp. 259–305.

The work was carried out within the framework of the State task of the Ural Branch Botanical Garden of the Russian Academy of Sciences.

Authors' information

Zav'yalov Konstantin Evgen'evich✉ — Cand. Sci. (Agriculture), Researcher, Ecology Laboratory of Technogenic plant communities, Forest Department, Russian Academy of Sciences, Ural Branch: Institute Botanic Garden, zavyalov.k@mail.ru

Menshchikov Sergey Leonidovich — Dr. Sci. (Agriculture), Head Laboratory of Ecology of Technogenic Plant Communities, FGBUN Botanical Garden of the Ural Branch of the Russian Academy of Sciences, m.sergei1951@yandex.ru

Mokhnachev Pavel Evgen'evich — Cand. Sci. (Biology), Researcher, Ecology Laboratory of Technogenic plant communities, Forest Department, Russian Academy of Sciences, Ural Branch: Institute Botanic Garden, mohnachev74@mail.ru

Kuz'mina Nadezhda Aleksandrovna — Researcher, Ecology Laboratory of technogenic plant communities, Forest Department, Russian Academy of Sciences, Ural Branch: Institute Botanic Garden, yarkaya05@mail.ru

Received 07.11.2022.

Approved after review 10.01.2023.

Accepted for publication 25.01.2023.

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

ОСОБЕННОСТИ ТРАНСФОРМАЦИИ НЕФТЕЗАГРЯЗНЕНИЯ В МЕРЗЛОТНЫХ ПОЧВАХ ТЕХНОГЕННЫХ ОБЪЕКТОВ ЯКУТИИ

С.Х. Лифшиц, Ю.С. Глянцева✉, О.Н. Чалая, И.Н. Зуева

ФГБУН ФИЦ «Якутский научный центр Сибирского отделения Российской академии наук» Институт проблем нефти и газа СО РАН, Россия, 677007, Республика Саха (Якутия), г. Якутск, ул. Автодорожная, д. 20

gchlab@ipng.ysn.ru

Приведены результаты исследований биодegradации нефтезагрязнений на техногенных объектах (нефтебазах) различных климатических зон Якутии. Все изученные территории характеризуются сплошным распространением многолетнемерзлых пород, однако установлены различные механизмы биодegradации нефтезагрязнений в почвах этих территорий. Показано, что механизм дegradации нефтезагрязнения зависит от климатических условий, а температура является главным фактором, влияющим на активность почвенной микрофлоры и ее разнообразие. Установлено, что окислительная деструкция нефтезагрязнения в умеренной зоне с резко-континентальным климатом протекает преимущественно благодаря процессам биодegradации, а в арктической зоне под влиянием физико-химических факторов среды. Биодegradация нефтезагрязнения в арктических почвах осуществляется по типу гниения. В результате эти почвы начинают заселять гнилостные и патогенные микроорганизмы. Рекомендуется проведение исследований по разработке эффективных способов очистки арктических почв от нефтезагрязнений.

Ключевые слова: нефтезагрязнение почв, криолитозона, окислительная деструкция, биодegradация

Ссылка для цитирования: Лифшиц С.Х., Глянцева Ю.С., Чалая О.Н., Зуева И.Н. Особенности трансформации нефтезагрязнения в мерзлотных почвах техногенных объектов Якутии // Лесной вестник / Forestry Bulletin, 2023. Т. 27. № 2. С. 112–120. DOI: 10.18698/2542-1468-2023-2-112-120

В настоящее время нефтезагрязнение почв стало одним из наиболее распространенных явлений негативного характера. Нефтяные углеводороды классифицируются как приоритетные загрязнители окружающей среды [1]. В связи с возрастающим потреблением углеводородного сырья современным обществом эта проблема признана актуальной. Большой интерес вызывает Арктический регион, где, по мнению геологов, сосредоточены огромные запасы углеводородов [2, 3]. Согласно Стратегии защиты окружающей среды Арктики (АЕПС) нефть уже сейчас является одним из основных загрязнителей арктического региона [4]. Перспективное его освоение, связанное преимущественно с добычей углеводородов, ставит перед научным сообществом необходимость решения экологических задач, направленных на защиту окружающей среды от нефтезагрязнений [5, 6]. Своевременное выявление нефтезагрязнений и разработка методов их ликвидации позволит минимизировать негативные последствия антропогенного воздействия на окружающую среду. В связи с этим перед экологами стоит проблема разработки эффективных способов очистки мерзлотных почв от нефтезагрязнений. Выявление поверхностных углеводородных полей техногенного генезиса возможно лишь при сравнении полученных аналитических результатов о содержании углеводородных компонентов в почвах и

донных осадках с геохимическим фоном [7, 8]. Это позволяет определять нефтезагрязнение с учетом вклада углеводородов природного происхождения.

Территория Республики Саха (Якутия) расположена в трех широтных природно-климатических зонах: арктической, субарктической и умеренной с резко-континентальным климатом, представляющих также разные типы ландшафтов [9]. В пределах этих зон наблюдается распространение многолетнемерзлых пород [10]. Однако глубина протайки, толщина мерзлотного слоя, среднегодовые температуры пород существенно различаются для разных климатических зон [11], что, по-видимому, отражается на скоростях и механизме процессов трансформации нефтезагрязнения в почвах. Почвы криолитозоны обладают низкой способностью к самовосстановлению [12]. Исследования показали, что несмотря на существование большого количества разработанных способов восстановления территорий от загрязнения их нефтью [13], наиболее экологичны биологические способы очистки, особенно в северных регионах [14–16]. Деятельность микроорганизмов сосредоточена в основном в приповерхностных слоях почвы. В северных регионах температура в этих почвенных горизонтах большую часть времени сохраняется отрицательной, что накладывает отпечаток на активность почвенной микрофлоры и способность почв к восстановлению. Процесс самовосстановления растягивается на

длительное время. Кроме того, продукты деградации нефтезагрязнения могут оказывать токсическое влияние на почвенные биоценозы [12]. Накопление в почвах углеводородных поллютантов ведет к трансформации геохимического фона по углеводородным компонентам, изменяя качественный и количественный состав микрофлоры [17].

В настоящее время нефтезагрязнение почв в Якутии сосредоточено в основном на объектах нефтегазовых комплексов, поэтому исследования посвящены изучению почв криолитозоны, затронутых техногенным вмешательством, и механизму деструкции нефтяных углеводородов в различных климатических зонах территории республики. Это важно для разработки биологических способов восстановления мерзлотных почв от нефтезагрязнений и оценки их эффективности.

Цель работы

Цель работы — изучение процессов трансформации нефтезагрязнений на техногенных объектах (нефтебазах), расположенных в различных климатических зонах Якутии.

Объекты и методы исследования

Объектами для исследования служили территории нефтебаз разных природно-климатических зон:

- арктическая зона: действующая Нижнеколымская нефтебаза и нефункционирующая база «Нижние кресты» (пос. Петушки);
- граница субарктической и умеренной зон: Сангарская нефтебаза;
- умеренная зона с резко-континентальным климатом: Якутская нефтебаза.

Территории всех нефтебаз находятся в зоне сплошного распространения многолетнемерзлых пород [11]. На всех перечисленных нефтебазах были изучены участки со старыми сроками нефтезагрязнения: 10 лет и более.

Пробы почв отбирали с глубины 0...10 см чистым инструментом в соответствии с утвержденной методикой [18]. Для сравнения и изучения природного геохимического фона отбирали также пробы с чистых территорий, находящихся на расстоянии не менее 150 м от места разлива и не затронутых нефтезагрязнением.

Уровень нефтезагрязнения определяли по выходу холодного хлороформенного экстракта (ХЭ). Такой метод определения позволяет не только экстрагировать нефтяные углеводороды, но и изучать продукты их трансформации [19]. Выделенные экстракты изучали методами ИК-Фурье спектроскопии (ИК-Фурье спектрометр Protege 460, фирма Nicolet), жидкостно-адсорбционной

хроматографии и хромато-масс-спектрометрии (ГХ/МС). Метод жидкостно-адсорбционной хроматографии использовали для определения группового компонентного состава экстрактов. Суть метода [20] заключается в первоначальном осаждении асфальтенов петролейным эфиром с последующим вымыванием фракций углеводородов и смол различными органическими растворителями на сорбционной колонке с силикагелем. ГХ/МС-исследования по изучению индивидуального состава углеводородных фракций ХЭ проводили по методике [21] на системе, включающей газовый хроматограф Agilent 6890, имеющий интерфейс с высокоэффективным масс-селективным детектором Agilent 5973N. Хроматограф снабжен кварцевой капиллярной колонкой длиной 30 м, диаметром 0,25 мм, импрегнированной фазой HP-5MS. Газ-носитель — гелий, скорость потока 1 мл/мин. Температура испарителя — 320 °С. Программирование подъема температуры осуществлялось в интервале температур 100...300 °С со скоростью 6 °С/мин. Ионизирующее напряжение источника 70 эВ.

Все аналитические исследования проводили в трех повторностях. В таблицах полученные результаты представлены в виде средней арифметической величины и ее стандартной ошибки ($M \pm SEM$). Сравнение средних значений выборок проводили методом однофакторного дисперсного анализа (ANOVA). Значимость отличий от контроля определяли, используя критерий Даннета для множественных сравнений при уровне $p < 0,05$. Расчет проводился с помощью пакета AnalystSoft, StatPlus — программа статистического анализа, v.2007.

Результаты и обсуждение

Результаты исследований по определению уровня нефтезагрязнения изучаемых образцов почв и составу ХЭ приведены в таблице.

Как видно, уровень нефтезагрязнения в исследуемых пробах почв высокий и очень высокий. Поскольку пробы почв отбирались в местах, характеризующихся давними загрязнениями (10 лет и более), нефтяные углеводороды подверглись окислительной деструкции. Так, в ИК-спектрах ХЭ всех нефтезагрязненных проб появились полосы поглощения (п. п.) кислородсодержащих групп: карбонильных 1700 см^{-1} и гидроксильных $3300...3400 \text{ см}^{-1}$ (рис. 1).

Тем не менее в структурно-групповом составе ХЭ все еще велика доля ароматических структур (п. п. 1600 см^{-1} , см. рис. 1), характерных для нефти и нефтепродуктов. Для сравнения на рис. 1 приведен ИК-спектр ХЭ чистой пробы почв. Как видно, в чистых почвах компоненты с ароматическими структурами практически отсутствуют.

Выход и состав хлороформных экстрактов

Yield and composition of chloroform extracts

Природно-климатическая зона	Место отбора проб	Выход ХЭ, %	Углеводороды, %	Групповой состав ХЭ, %	
				Сумма смол	Асфальтены
Умеренная зона с резко-континентальным климатом	Якутская нефтебаза	8,662 ± 0,433	66,67 ± 3,33	32,96 ± 1,65	0,37 ± 0,02
Граница умеренной и субарктической зон	Сангарская нефтебаза	4,701 ± 0,235	61,47 ± 3,07	36,56 ± 1,83	1,97 ± 0,09
Арктическая зона	Нижнеколымская нефтебаза	3,459 ± 0,173	64,90 ± 3,25	15,84 ± 0,79	19,26 ± 0,96
	Нефтебаза «Нижние кресты»	4,815 ± 0,241	60,23 ± 3,01	29,33 ± 1,46	10,43 ± 0,52

Несмотря на протекающие процессы окислительной деструкции в составе ХЭ образцов почв с нефтебаз все еще велика доля углеводородов 61,5...66,7 % (см. таблицу). Для сравнения в составе чистых почв содержание углеводородов обычно не превышает 15...28 % [19].

Известно, что нефтезагрязнение способно подвергаться процессам окислительной деструкции под влиянием физико-химических факторов среды и микробиологического окисления. Микробиологическое окисление характеризуется избирательностью окисления нефтяных насыщенных углеводородов. Первыми в процессы биodeградации вовлекаются n-алканы и затем только изопреноиды [22, 23]. В результате обычно на хроматограммах углеводородных фракций из старых загрязнений появляется так называемый «горб», обусловленный высокомолекулярными неразделенными структурами нафтеново-ароматического строения. На рис. 2 представлены масс-хроматограммы углеводородных фракций изученных образцов и для сравнения — фоновой пробы почвы. Видно, что на территориях Якутской и Сангарской нефтебаз протекали процессы трансформации нефтяных углеводородов (см. рис. 2, а, б). По результатам микробиологического анализа из проб почв этих нефтебаз были выделены углеводородоокисляющие микроорганизмы (УОМ) [24].

На действующей Нижнеколымской нефтебазе распределение индивидуальных углеводородов все еще сохраняет характер, близкий к таковому в нефтепродуктах (дизельное топливо) (см. рис. 2, в). На этой нефтебазе в местах отбора проб новых разливов не было зафиксировано. Однако вследствие высокой подвижности нефтяных углеводородов с дождевыми, талыми и сезонно-талыми водами возможно повторное загрязнение этих мест углеводородами от свежих разливов с других участков нефтебазы. Нефтебаза «Нижние кресты» более 10 лет назад выведена из эксплуатации. Следовательно, на этой терри-

тории не было свежих разливов. Тем не менее и там состав ХЭ все еще носит углеводородный характер — 60,23 %, а в составе углеводородных фракций присутствуют относительно низкомолекулярные n-алканы (см. рис. 2, з). В пробах почв, отобранных с арктических нефтебаз, углеводородоокисляющие микроорганизмы либо не были обнаружены, либо содержание их было крайне мало [17], при том, что питательная среда из углеводородов нефти для них еще не была исчерпана. Вследствие этого можно предположить, что на территории этих объектов окислительная деструкция нефтезагрязнения протекала преимущественно под влиянием физико-химических факторов среды, а не микробиологического окисления. В результате в нефтезагрязненных арктических почвах началось распространение гнилостных и патогенных микроорганизмов [17], как конкурентов за доступное органическое вещество [25, 26].

Под биodeградацией нефтезагрязнения обычно понимают процесс окислительной деструкции нефтяных компонентов, протекающий в результате деятельности углеводородоокисляющих микроорганизмов (УОМ). Такой тип биodeградации наиболее эффективен, экологичен и безопасен с точки зрения норм санитарно-гигиенических показателей для почв. Этот механизм лежит в основе всех разрабатываемых способов биологической очистки почв от нефтезагрязнений [27–30].

Однако, вследствие низкого содержания или вообще отсутствия в нефтезагрязненных арктических почвах УОМ, эти почвы начали обживать гнилостные и патогенные микроорганизмы [17], т. е. биodeградация нефтезагрязнения преимущественно протекала по типу гниения.

Вероятно, механизм биodeградации нефтезагрязнения в почвах криолитозоны в первую очередь зависит от приповерхностной почвенной температуры. Согласно работам [31–32], температура является главным фактором, влияющим на активность почвенной микрофлоры и ее разнообразие.

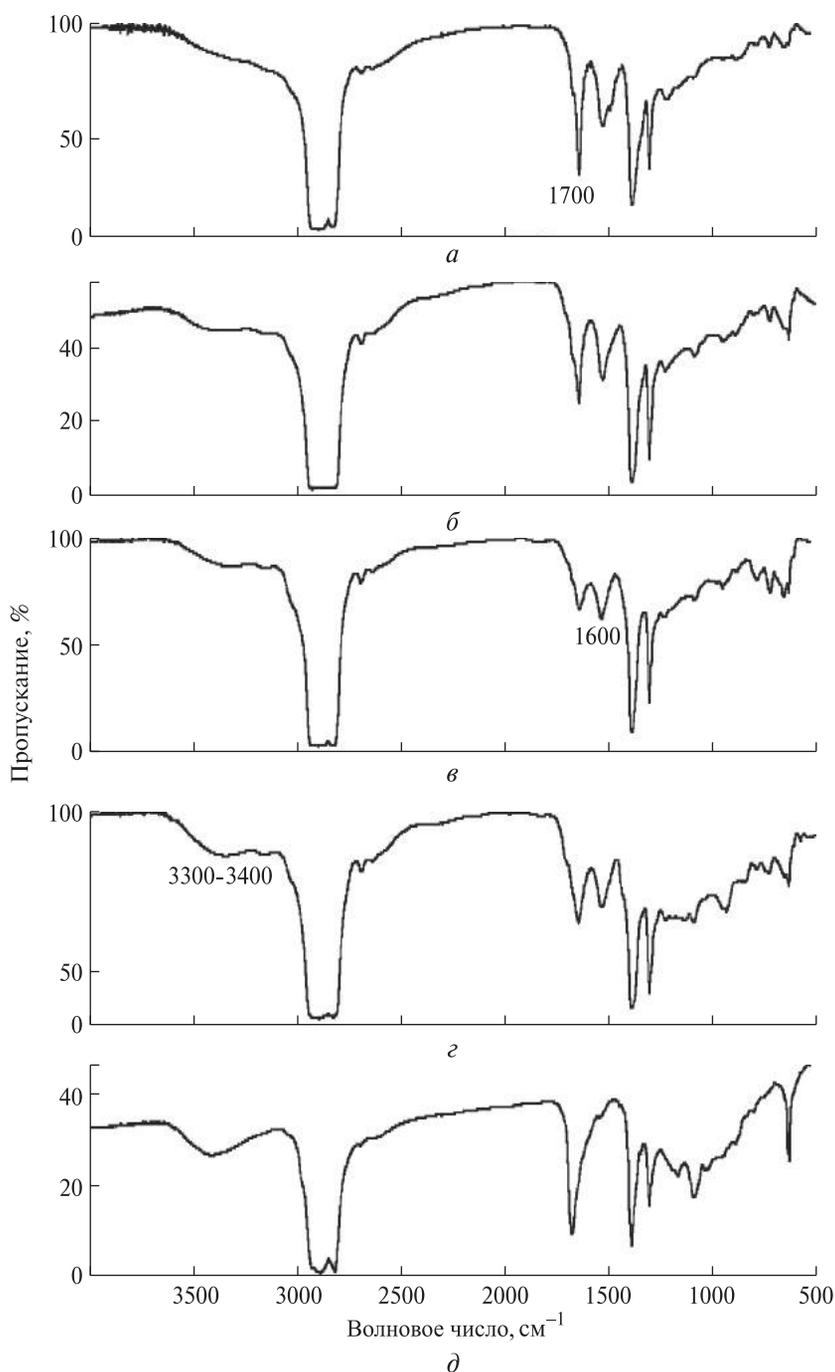


Рис. 1. ИК-спектры ХЭ исследуемых проб почв: нефтебазы: а — Якутская; б — Сангарская; в — Нижнеколымская; г — «Нижние кресты»; д — фоновая проба почвы

Fig. 1. IR spectra of CE of the studied soil samples: oil depots: а — Yakutsk; б — Sangarskaya; в — Nizhnekolymskaya; г — «Nizhnie cresty»; д — background soil sample

Так, среднегодовая температура пород в Арктике варьирует в диапазоне $-9...-11$, в то время как в Центральной Якутии (Якутск и Сангар) $-3...-5$ [11]. Различается и длительность зимнего сезона: в Нижнеколымском районе он составляет 247 сут, а в центральной Якутии — 212 сут. По-видимому, УОМ менее жизнеспособны в

условиях длительного периода отрицательных температур. К тому же в замерзших почвах они испытывают недостаток поступления кислорода. Вследствие этого численность их в арктических почвах невелика, и биodeградация нефтезагрязнения в этих почвах протекает преимущественно по типу гниения.

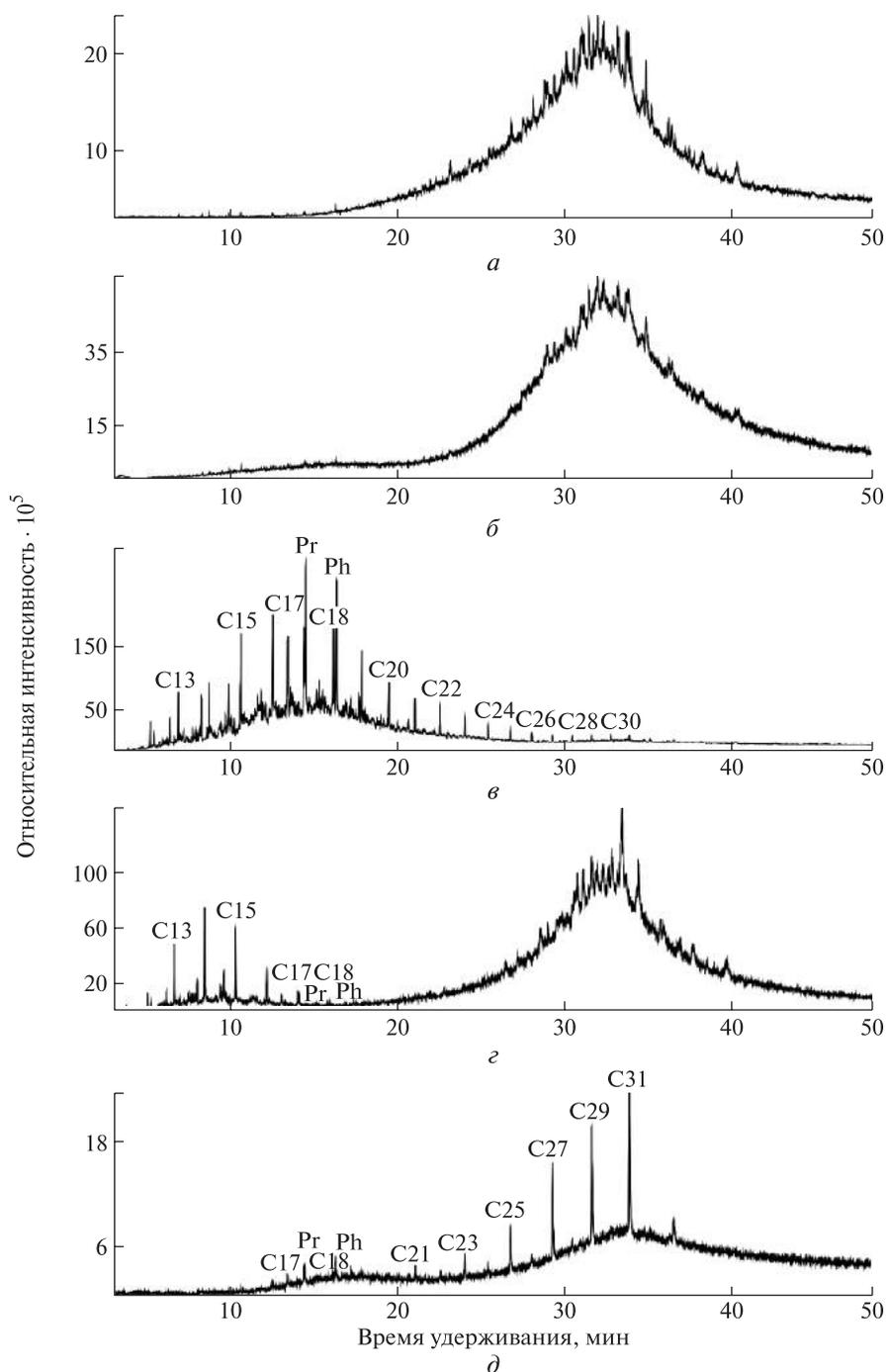


Рис. 2. Масс-хроматограммы углеводородных фракций ХЭ исследуемых проб почв: нефтебазы: а — Якутская; б — Сангарская; в — Нижнеколымская; г — «Нижние кресты»; д — фоновая проба почвы; C₁₃...C₃₁ — н-алканы; Pr — пристан; Ph — фитан

Fig. 2. Hydrocarbon fractions of CE mass chromatograms of the studied soil samples: oil depots: а — Yakutsk; б — Sangarskaya; в — Nizhnekolymskaya; г — «Nizhnie cresty»; д — background soil sample; C₁₃...C₃₁ — n-alkanes; Pr — pristan; Ph — phytane

Выводы

Результаты исследований, проведенных на территориях нефтебаз Якутии, показали, что процессы биодegradации нефтезагрязнений протекают по разным механизмам. Все изученные территории характеризуются сплошным распространением многолетнемерзлых пород, однако

различаются по климатическим условиям. Так, Якутская нефтебаза находится в умеренной зоне с резко-континентальным климатом, Сангарская — на границе умеренной и субарктической зон, Нижнеколымская и нефтебаза «Нижние кресты» — в арктической зоне. Длительный период отрицательных температур (247 сут), более низкая

среднегодовая температура пород (–9...–11) в арктической зоне по сравнению с Центральной Якутией (–3...–5, продолжительность зимнего периода 212 сут), накладывают отпечаток на протекание процессов биодegradации нефтезагрязнения. В Центральной Якутии (в умеренной зоне) окислительная деструкция происходит в основном под влиянием углеводородокисляющих микроорганизмов, а в арктической зоне под влиянием физико-химических факторов среды. Как результат, процессы биодegradации нефтезагрязнения в арктических почвах протекают в основном по типу гниения и техногенно нарушенные нефтезагрязнением почвы начинают заселять гнилостные и патогенные микроорганизмы. Все это свидетельствует о необходимости разработки способов восстановления мерзлотных почв от нефтезагрязнений.

Работа выполнена в рамках Госзадания Министрства науки и высшего образования РФ № 122011200369-1 с использованием научного оборудования ЦКП ФИЦ ЯНЦ СО РАН в рамках гранта №13.ЦКП.21.0016.

Список литературы

- [1] Abbasian F., Lockington R., Mallavarapu M., Naidu R. A comprehensive review of aliphatic hydrocarbon biodegradation by bacteria // Appl. Biochem. Biotechnol., 2015, v. 176, pp. 670–699. <https://doi.org/10.1007/s12010-015-1603-5/>
- [2] Арчegov В.Б., Нефедов Ю.В. Стратегия нефтегазописковых работ в оценке топливно-энергетического потенциала шельфа арктических морей России // Записки Горного института, 2015. Т. 212. С. 6–13.
- [3] Carayannis E., Ilinova A., Chanysheva A. Russian arctic offshore oil and gas projects: methodological framework for evaluating their prospects // J. Knowl. Econ., 2020, v. 11, pp. 1403–1429. <https://doi.org/10.1007/s13132-019-00602-7>
- [4] Heininen L., Everett K., Padrtova B., Reissell A. Arctic Policies and Strategies-Analysis, Synthesis, and Trends. ПАСА, Laxenburg, Austria, 2020, 263 p. <https://doi.org/10.22022/AFI/11-2019.16175>
- [5] Капелькина Л.П. Нарушенные земли Севера и проблемы рекультивации // Арктика. Экология и экономика, 2011. Т. 3. С. 60–67.
- [6] Сафронов А.Ф. Некоторые проблемы освоения углеводородных ресурсов Восточного Арктического сектора России // Экономика Востока России, 2015. Т. 02(004). С. 21–25.
- [7] Glyaznetsova Y.S., Lifshits S.K., Zueva I.N., Chalaya O.N. Transformation of oil-contaminated soils of cryolithozone // Proceedings of the International Conference on Port and Ocean Engineering under Arctic Conditions, POAC : 26, Moscow, 14–18 июня 2021 года. Moscow, 2021. URL: <https://www.poac.com/Proceedings/2021/POAC21-021.pdf> (дата обращения 05.04.2022).
- [8] White D.M., Garland D.S., Woollard C.R. Analytical methods for petroleum in cold region soils // Bioremediation of Petroleum Hydrocarbons in Cold Regions / Eds. D.M. Filler, I. Snape, D.L. Barnes. Cambridge University Press., 2008, pp. 212–230. <https://doi.org/10.1017/SBO9780511535956>
- [9] Якутская АССР. Атлас. Атлас сельского хозяйства Якутской АССР / под ред. И.А. Матвеева. М.: ГУГК, 1989. 1 атл. 115 с.
- [10] Муравьев Ф.А. Геокриологические карты и разрезы. Казань: Изд-во Казанского федерального университета, 2014. 39 с.
- [11] Спектор В.Б., Шестакова А.А., Торговкин Я.И., Спектор В.В. Обобщение данных о криолитозоне на инженерно-геологической карте Республики Саха (Якутия) масштаба 1:1 500 000 // Научный вестник, 2015. № 2(4). С. 59–73.
- [12] Иларионов С.А., Маркарова М.Ю., Назаров А.В., Оборин А.А., Хмурчик В.Т. Нефтезагрязненные биогеоценозы (процессы образования, научные основы восстановления, медико-экологические проблемы). Пермь: Изд-во УрО РАН, 2008. 511 с.
- [13] Camenzuli D., Freidman B.L. On-site and in situ remediation technologies applicable to petroleum hydrocarbon contaminated sites in the Antarctic and Arctic // Polar Research, 2015, v. 34, 24492. pp. 1–19 <http://dx.doi.org/10.3402/polar.v34.24492>
- [14] Rike A.G., Haugen K.B., Børresen M., Engene B., Kolstad P. In situ biodegradation of petroleum hydrocarbons in frozen arctic soils // Cold Regions Science and Technology, 2003, v. 37, pp. 97–120.
- [15] Shen T., Youngrui P., Mutai B., Xu N., Inren L. Bioremediation of different petroleum hydrocarbons by free and immobilized microbial consortia // Environ Sci: Processes Impacts, 2015, v. 17, no. 12, pp. 2022–2033.
- [16] Lifshits S.Kh., Glyaznetsova Yu.S., Chalaya O.N., Zueva I.N. Increase in remediation processes of oil-contaminated soils // Remediation J., 2017, v. 28, pp. 97–104.
- [17] Lifshits S., Glyaznetsova Yu., Erofeevskaya L., Chalaya O., Zueva I. Effect of oil pollution on the ecological condition of soils and bottom sediments of the arctic region (Yakutia) // Environmental Pollution, 2021, v. 288, p. 117680. <https://doi.org/10.1016/j.envpol.2021.117680>ГОСТ 17.4.4.02-2017
- [18] ГОСТ 17.4.4.02–2017. Охрана природы. Почвы. Методы отбора и подготовки проб для химического, бактериологического, гельминтологического анализа. М.: Стандартинформ, 2018. 14 с.
- [19] Нефтезагрязнение почвогрунтов и донных отложений на территории Якутии (состав, распространение, трансформация) / под ред. Ю.С. Глязнецовой, А.Ф. Сафронова. Якутск: Ахсаан, 2010. 160 с.
- [20] Методика измерений № 222.0119/01.00258/2014. Определение группового состава хлороформенных битумидов пород, почв и отбензиненных нефтей гравиметрическим методом, 2014. 15 с. URL: <https://ckp-rf.ru/catalog/ckp/3053/> (дата обращения 05.04.2022).
- [21] Методика измерений № 222.0118/01.00258/2014. 2014. Определение состава углеводородных фракций пород, почв и отбензиненных нефтей методом хромато-масс-спектрометрии, 2014. 10 с. URL: <http://ipng.ysn.ru/wp-content/uploads/2020/04/hms-scaled.jpg> (дата обращения 05.04.2022).
- [22] Петров А.А. Углеводороды нефти / под ред. Н.С. Наметкина. М.: Наука, 1984. 263 с.
- [23] Jovančićević B., Antić M., Pavlović I., Vrvic M., Beškoski V., Kronimus A., Schwarzbauer J. Transformation of Petroleum Saturated Hydrocarbons during Soil Bioremediation Experiments // Water Air Soil Pollut, 2008, v. 190, pp. 299–307. DOI 10.1007/s11270-007-9601-z
- [24] Ерофеевская Л.А. Мониторинг биологической активности почвенных экосистем в условиях нефтяного загрязнения // Перспективы науки, 2014. № 3(54). С. 117–120.

- [25] Барышникова Н.В., Павлова М.А., Черемная Е.В., Макаревич Е.В. Биодegradация нефтяных углеводородов в почвенных образцах с внесением концентрата сточных вод и биопрепарата «микрозим» // Успехи современного естествознания, 2011. № 8. С. 22–23.
- [26] Алиев И.А., Ибрагимов Э.А. Развитие и характерные особенности потенциально патогенных грибов загрязненных почв // Почвоведение и агрохимия, 2021. № 4. С. 33–42.
- [27] Zhou H., Jiang L., Chen C. Enhanced bioremediation of diesel oil-contaminated seawater by a biochar-immobilized biosurfactant-producing bacteria *Vibrio* sp. LQ2 isolated from cold seep sediment // The Science of the Total Environment, 2021, v. 793, p. 148529. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2021.148529>
- [28] Bioremediation of Petroleum Hydrocarbons in Cold Regions / Ed. D.M. Filler, I. Snape, D.L. Barnes. Cambridge University Press, 2008, 273 p.
- [29] Ossai I.C., Ahmed A., Hassan A. Remediation of soil and water contaminated with petroleum hydrocarbon: A review. *Environmental Technology & Innovation*, 2019. <https://doi.org/10.1016/j.eti.2019.100526>
- [30] Sui X., Wang X., Li Y., Ji H. Remediation of petroleum-contaminated soils with microbial and microbial combined methods: Advances, mechanisms and challenges // *Sustainability*, 2021, v. 13, p. 9267. <https://doi.org/10.3390/su13169267>
- [31] Chong C.W., Silvaraj S., Supramaniam Y., Snape I., Tan I.K.P. Effect of temperature on bacterial community in petroleum hydrocarbon-contaminated and uncontaminated Antarctic soil // *Polar Biol.*, 2018, v. 41, pp. 1763–1775. <https://doi.org/10.1007/s00300-018-2316-3>
- [32] Nemirovskaya I.A., Glyaznetsova Yu.S. The effect of accidental spill of diesel fuel in Noril'sk on hydrocarbon concentrations and composition in bottom sediments // *Water Resources*, 2022, v. 49, no. 6, pp. 1027–1039. <https://doi.org/10.1134/S0097807822060100>

Сведения об авторах

Лифшиц Сара Хаимовна — канд. хим. наук, ведущий науч. сотр., ФГБУН ФИЦ ЯНЦ Институт проблем нефти и газа СО РАН, shlif@ipng.ysn.ru

Глязнецова Юлия Станиславовна — канд. хим. наук, ведущий науч. сотр., заведующая лабораторией геохимии каустобиолитов ФГБУН ФИЦ ЯНЦ Институт проблем нефти и газа СО РАН, gchlab@ipng.ysn.ru

Чалая Ольга Николаевна — канд. геолого-минералогических наук, ведущий науч. сотр., ФГБУН ФИЦ ЯНЦ Институт проблем нефти и газа СО РАН, oncha@ipng.ysn.ru

Зуева Ираида Николаевна — канд. геолого-минералогических наук, ведущий науч. сотр., ФГБУН ФИЦ ЯНЦ Институт проблем нефти и газа СО РАН, inzu@ipng.ysn.ru

Поступила в редакцию 07.11.2022.

Одобрено после рецензирования 10.01.2023.

Принята к публикации 30.01.2023.

OIL POLLUTION TRANSFORMATION IN CRYOGENIC SOILS OF TECHNOGENIC ENTITIES IN YAKUTIA

S.Kh. Lifshits, Yu.S. Glyaznetsova[✉], O.N. Chalaya, I.N. Zueva

Institute of Oil and Gas Problems of Federal Research Center «Yakut Scientific Center of Siberian Branch of the Russian Academy of Sciences», 20, Avtodorozhnaya st., 677007, Yakutsk, Republic of Sakha (Yakutia), Russia

gchlab@ipng.ysn.ru

The study results on the oil pollution biodegradation at technogenic entities (oil depots) of various climatic zones in Yakutia are presented. All the studied territories are characterized by a perennially frozen rocks, however, various mechanisms of oil pollution biodegradation of the soils in these territories have been established. It is shown that the degradation mechanism of oil pollution depends on climatic conditions, and a temperature is the main factor affecting the activity of soil microflora and its diversity. It has been established the oxidative degradation of oil pollution in the temperate zone with a sharply continental climate runs mainly due to biodegradation processes, and in the Arctic zone it is carried out under the influence of physical and chemical environmental factors. In Arctic soils biodegradation of oil pollution occurs by decay. As a result, the soils begin to colonize putrefactive and pathogenic microorganisms. It is recommended to carry out research on the development of effective methods for cleaning Arctic soils from oil pollution.

Keywords: oil pollution of soils, cryogenic, oxidative degradation, biodegradation

Suggested citation: Lifshits S.Kh., Glyaznetsova Yu.S., Chalaya O.N., Zueva I.N. *Osobennosti transformatsii neftezagryazneniya v merzlotnykh pochvakh tekhnogennykh ob'ektov Yakutii* [Oil pollution transformation in cryogenic soils of technogenic entities in Yakutia]. *Lesnoy vestnik / Forestry Bulletin*, 2023, vol. 27, no. 2, pp. 112–120. DOI: 10.18698/2542-1468-2023-2-112-120

References

- [1] Abbasian F., Lockington R., Mallavarapu M., Naidu R. A comprehensive review of aliphatic hydrocarbon biodegradation by bacteria. *Appl. Biochem. Biotechnol.*, 2015, v. 176, pp. 670–699. <https://doi.org/10.1007/s12010-015-1603-5/>
- [2] Arhegov V.B., Nefedov Yu.V. *Strategiya neftegazopoyiskovykh rabot v otsenke toplivno-energeticheskogo potentsiala shel'fa arkticheskikh morey Rossii* [Strategy for oil and gas prospecting in assessing the fuel and energy potential of the shelf of the Arctic seas of Russia]. *Zapiski Gornogo instituta* [Journal of Mining Institute], 2015, v. 212, pp. 6–13.
- [3] Carayannis E., Ilinova A., Chanysheva A. Russian arctic offshore oil and gas projects: methodological framework for evaluating their prospects. *J. Knowl. Econ.*, 2020, v. 11, pp. 1403–1429. <https://doi.org/10.1007/s13132-019-00602-7>
- [4] Heininen L., Everett K., Padrtova B., Reissell A. *Arctic Policies and Strategies-Analysis, Synthesis, and Trends*. IIASA, Laxenburg, Austria, 2020, 263 p. <https://doi.org/10.22022/AFI/11-2019.16175>
- [5] Kapel'kina L.P. *Narushennyye zemli Severa i problemy rekul'tivatsii* [Disturbed lands of the North and the problems of reclamation]. *Arktika. Ekologiya i ekonomika* [Arctic. Ecology and economics], 2011, v. 3, pp. 60–67.
- [6] Safronov A.F. *Nekotorye problemy osvoeniya uglevodorodnykh resursov Vostochnogo Arkticheskogo sektora Rossii* [Some Problems of Development of Hydrocarbon Resources in the Eastern Arctic Sector of Russia]. *Ekonomika Vostoka Rossii* [Economy of the East of Russia], 2015, no. 02(004), pp. 21–25.
- [7] Glyaznetsova Y.S., Lifshits S.K., Zueva I.N., Chalaya O.N. Transformation of oil-contaminated soils of cryolithozone. Proceedings of the International Conference on Port and Ocean Engineering under Arctic Conditions, POAC : 26, Moscow, 14–18 июня 2021 года. Moscow, 2021. URL: <https://www.poac.com/Proceedings/2021/POAC21-021.pdf> (дата обращения 05.04.2022).
- [8] White D.M., Garland D.S., Woolard C.R. Analytical methods for petroleum in cold region soils. *Bioremediation of Petroleum Hydrocarbons in Cold Regions*. Eds. In D.M. Fuller, I. Snape, D.L. Barnes. Cambridge University Press., 2008, pp. 212–230. <https://doi.org/10.1017/CBO9780511535956>
- [9] *Yakutskaya ASSR. Atlas. Atlas sel'skogo khozyaystva Yakutskoy ASSR* [Yakut ASSR. Atlas. Atlas of Agriculture of the Yakut ASSR]. Moscow: GUGK, 1989, 1 at., 115 p.
- [10] Murav'ev F.A. *Geokriologicheskie karty i razrezy* [Geocryological maps and sections]. Kazan': Kazanskiy federal'nyy universitet, 2014, 39 p.
- [11] Spektor V.B., Shestakova A.A., Torgovkin Ya.I., Spektor V.V. *Obobshchenie dannykh o kriolitozone na inzhenerno-geologicheskoy karte Respubliki Sakha (Yakutiya) masshtaba 1:1 500 000* [Generalization of data on permafrost on the engineering-geological map of the Republic of Sakha (Yakutia) at a scale of 1:1500000]. *Nauchnyy vestnik* [Scientific Bulletin], 2015, no. 2(4), pp. 59–73.
- [12] Ilarionov S.A., Markarova M.Yu., Nazarov A.V., Oborin A.A., Khmurchik V.T. *Neftezagryaznennyye biogeotsenozy (protsessy obrazovaniya, nauchnye osnovy vosstanovleniya, mediko-ekologicheskie problemy)* [Oil-contaminated biocenoses]. Perm': UrO RAN, 2008, 511 p.
- [13] Camenzuli D., Freidman B.L. On-site and in situ remediation technologies applicable to petroleum hydrocarbon contaminated sites in the Antarctic and Arctic. *Polar Research*, 2015, v. 34, 24492. pp. 1–19 <http://dx.doi.org/10.3402/polar.v34.24492>
- [14] Rike A.G., Haugen K.B., Børresen M., Engene B., Kolstad P. In situ biodegradation of petroleum hydrocarbons in frozen arctic soils. *Cold Regions Science and Technology*, 2003, v. 37, pp. 97–120.
- [15] Shen T., Youngrui P., Mutai B., Xu N., Inren L. Bioremediation of different petroleum hydrocarbons by free and immobilized microbial consortia. *Environ Sci: Processes Impacts*, 2015, v. 17, no. 12, pp. 2022–2033.
- [16] Lifshits S.Kh., Glyaznetsova Yu.S., Chalaya O.N., Zueva I.N. Increase in remediation processes of oil-contaminated soils. *Remediation J.*, 2017, v. 28, pp. 97–104.
- [17] Lifshits S., Glyaznetsova Yu., Erofeevskaya L., Chalaya O., Zueva I. Effect of oil pollution on the ecological condition of soils and bottom sediments of the arctic region (Yakutia). *Environmental Pollution*, 2021, v. 288, p. 117680. <https://doi.org/10.1016/j.envpol.2021.117680>
- [18] GOST 17.4.4.02–2017 *Okhrana prirody. Pochvy. Metody otbora i podgotovki prob dlya khimicheskogo, bakteriologicheskogo, gel'mintologicheskogo analiza* [Nature protection. Soils. Methods for sampling and preparation of soil for chemical, bacteriological, helminthological analysis]. Moscow: Standartinform Publ., 2018, 14 p.
- [19] *Neftezagryaznenie pochvogruntov i donnykh otlozheniy na territorii Yakutii (sostav, rasprostraneniye, transformatsiya)* [Oil pollution of soils and bottom sediments in the territory of Yakutia (composition, distribution, transformation)]. Eds. Yu.S. Glyaznetsova, A.F. Safronov. Yakutsk: Akhsaan, 2010, 160 p.
- [20] *Metodika izmereniy № 222.0119/01.00258/2014. Opredeleniye gruppovogo sostava khloroformnykh bitumoidov porod, pochv i otbenzinennykh neftey gravimetricheskim metodom* [Measurement procedure No. 222.0119/01.00258/2014. Determination of the group composition of chloroform bitumoids of rocks, soils and stripped oils by the gravimetric method]. 2014. 15 p. Available at: <https://ckp-rf.ru/catalog/ckp/3053/> (accessed 05.04.2022).
- [21] *Metodika izmereniy № 222.0118/01.00258/2014. 2014. Opredeleniye sostava uglevodorodnykh fraktsiy porod, pochv i otbenzinennykh neftey metodom khromato-mass-spektrometrii* [Measurement procedure No. 222.0118/01.00258/2014. Determination of the composition of hydrocarbon fractions of rocks, soils and stripped oils by chromatography-mass spectrometry]. 2014. 10 p. Available at: <http://ipng.ysn.ru/wp-content/uploads/2020/04/hms-scaled.jpg> (accessed 25.04.2022).
- [22] Petrov A.A. *Uglevodorody nefii* [Petroleum hydrocarbons]. Moscow: Nauka, 1984, 263 p.
- [23] Jovančićević B., Antić M., Pavlović I., Vrvic M., Beškoski V., Kronimus A., Schwarzbauer J. Transformation of Petroleum Saturated Hydrocarbons during Soil Bioremediation Experiments. *Water Air Soil Pollut*, 2008, v. 190, pp. 299–307. DOI 10.1007/s11270-007-9601-z
- [24] Erofeevskaya L.A. *Monitoring biologicheskoy aktivnosti pochvennykh ekosistem v usloviyakh neftyanogo zagryazneniya* [Monitoring the biological activity of soil ecosystems under conditions of oil pollution]. *Perspektivy nauki* [Science perspectives], 2014, no. 3(54), pp. 117–120.

- [25] Baryshnikova N.V., Pavlova M.A., Cheremnaya E.V., Makarevich E.V. *Biodegradatsiya neftyanykh uglevodorodov v pochvennykh obraztsakh s vneseniem kontsentrata stochnykh vod i biopreparata «Mikrozim»* [Biodegradation of petroleum hydrocarbons in soil samples with the introduction of wastewater concentrate and the biological product «Mikrozim»]. *Uspekhi sovremennogo estestvoznaniya* [Successes of modern natural science], 2011, no. 8, pp. 22–23.
- [26] Aliev I.A., Ibragimov E.A. *Razvitie i kharakternye osobennosti potentsial'no patogennykh gribov zagryaznennykh pochv* [Development and Characteristic Features of Potentially Pathogenic Fungi in Contaminated Soils]. *Pochvovedenie i agrokhimiya* [Soil science and agrochemistry], 2021, no. 4, pp. 33–42.
- [27] Zhou H., Jiang L., Chen C. Enhanced bioremediation of diesel oil-contaminated seawater by a biochar-immobilized biosurfactant-producing bacteria *Vibrio* sp. LQ2 isolated from cold seep sediment. *The Science of the Total Environment*, 2021, v. 793, p. 148529. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2021.148529>
- [28] *Bioremediation of Petroleum Hydrocarbons in Cold Regions* / Ed. D.M. Filler, I. Snape, D.L. Barnes. Cambridge University Press, 2008, 273 p.
- [29] Ossai I.C., Ahmed A., Hassan A. Remediation of soil and water contaminated with petroleum hydrocarbon: A review. *Environmental Technology & Innovation*, 2019. <https://doi.org/10.1016/j.eti.2019.100526>
- [30] Sui X., Wang X., Li Y., Ji H. Remediation of petroleum-contaminated soils with microbial and microbial combined methods: Advances, mechanisms and challenges. *Sustainability*, 2021, v. 13, p. 9267. <https://doi.org/10.3390/su13169267>
- [31] Chong C.W., Silvaraj S., Supramaniam Y., Snape I., Tan I.K.P. Effect of temperature on bacterial community in petroleum hydrocarbon-contaminated and uncontaminated Antarctic soil. *Polar Biol.*, 2018, v. 41, pp. 1763–1775. <https://doi.org/10.1007/s00300-018-2316-3>
- [32] Nemirovskaya I.A., Glyaznetsova Yu.S. The effect of accidental spill of diesel fuel in Noril'sk on hydrocarbon concentrations and composition in bottom sediments. *Water Resources*, 2022, v. 49, no. 6, pp. 1027–1039. <https://doi.org/10.1134/S0097807822060100>

The work was carried out within the framework of the State Assignment of the Ministry of Science and Higher Education of the Russian Federation No. 122011200369-1 using the scientific equipment of the Common Use Center of the Federal Research Center of the YaNC SB RAS under grant No. 13.TsKP.21.0016.

Authors' information

Lifshits Sara Khaimovna — Cand. Sci. (Chem.), Leading Researcher, Institute of Oil and Gas Problems of Federal Research Center «Yakut Scientific Center of Siberian Branch of the Russian Academy of Sciences», shlif@ipng.ysn.ru

Glyaznetsova Yuliya Stanislavovna✉ — Cand. Sci. (Chem.), Leading Researcher, Head of the Laboratory of Geochemistry of Caustobioliths, Institute of Oil and Gas Problems of Federal Research Center «Yakut Scientific Center of Siberian Branch of the Russian Academy of Sciences», gchlab@ipng.ysn.ru

Chalaya Ol'ga Nikolaevna — Cand. Sci. (Geological and Mineralogical), Leading Researcher, Institute of Oil and Gas Problems of Federal Research Center «Yakut Scientific Center of Siberian Branch of the Russian Academy of Sciences», oncha@ipng.ysn.ru

Zueva Iraida Nikolaevna — Cand. Sci. (Geological and Mineralogical), Leading Researcher, Institute of Oil and Gas Problems of Federal Research Center «Yakut Scientific Center of Siberian Branch of the Russian Academy of Sciences», inzu@ipng.ysn.ru

Received 07.11.2022.

Approved after review 10.01.2023.

Accepted for publication 30.01.2023.

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

ПРИМЕНЕНИЕ АРАБИНОГАЛАКТАНА ДЛЯ МИНЕРАЛИЗАЦИИ ДРЕВЕСИНЫ

Н.В. Килюшева[✉], В.Е. Данилов, А.О. Беляев, А.М. Айзенштадт

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

n.volkova@narfu.ru

Представлены разработанные и научно обоснованные рецептурно-технологические решения, направленные на улучшение физико-химических и физико-механических характеристик строительных материалов из древесины сосны путем минерализации матрицы растительного сырья в результате его обработки водной органоминеральной суспензией на основе арабиногалактана и предварительно механоактивированного кремнеземсодержащего песка. Приведены экспериментальные данные по калориметрическому измерению тепловых эффектов энтальпии комплексообразования для серии опытных образцов с различным содержанием кремнеземсодержащего песка и результаты, подтверждающие высокую эффективность арабиногалактана в качестве поверхностно-активного вещества. Обнаружен факт образования химической связи в процессе пропитки образцов древесины указанной органоминеральной суспензией между органическими макромолекулами (целлюлоза, лигнин, гемицеллюлоза) растительного сырья и диоксидом кремния минерального компонента, что способствует закреплению последнего в структуре древесной матрицы. Установлено, что минерализация поверхности древесины композициями, содержащими арабиногалактан и наночастицы диоксида кремния, увеличивает ее плотность и твердость, а также способствует приобретению гидрофобных свойств и формированию устойчивости к окислительному разрушению, что указывает на возможность использования органоминеральной суспензии данного состава для окаменения древесины. Изложено кинетическое описание процесса комплексообразования, определены условия стабильного длительного существования комплекса в водной среде. Показано, что обработка древесины органоминеральной суспензией в продолжение 24 ч в самопроизвольном режиме рационально подобранным составом приводит к возрастанию плотности растительного сырья на 10 %, приросту прочности вдоль волокон — на 80 %, твердости по Бринеллю — в 3,4 раза. Получены данные о значительной интенсификации процесса минерализации растительного сырья путем пропитки образцов древесины в автоклавном режиме органоминеральной суспензией (под избыточным давлением 1,35...1,40 МПа), а также об увеличении плотности древесины на 70 % за 24 ч, о приросте прочности вдоль волокон до 91 %, о возрастании твердости по Бринеллю в 3,5 раза и уменьшении водопоглощения на 21 %. Установлено, что пропитка древесины суспензией разработанного органоминерального состава не приводит к изменению геометрических размеров и текстуры образцов. Рекомендуется обработка образцов из древесины органоминеральной суспензией с минимальным содержанием компонентов: арабиногалактан — 2 %, механоактивированный кварцсодержащий песок — 9 % в режиме повышенного давления в течение 24 ч для улучшения физико-механических свойств.

Ключевые слова: арабиногалактан, кремнеземсодержащий песок, петрификация древесины, автоклав, прирост прочности

Ссылка для цитирования: Килюшева Н.В., Данилов В.Е., Беляев А.О., Айзенштадт А.М. Применение арабиногалактана для минерализации древесины // Лесной вестник / Forestry Bulletin, 2023. Т. 27. № 2. С. 121–127. DOI: 10.18698/2542-1468-2023-2-121-127

Древесина является одним из наиболее распространенных строительных материалов, особенно для Северо-Западного региона России. Несмотря на наличие положительных качеств, древесине присущи такие недостатки, как анизотропия, усушка, разбухание при контакте с водой с последующим биологическим разрушением [1–6]. В целях устранения части указанных недостатков в настоящее время используют фунгицидные и антисептирующие составы. Они образуют тонкую пленку или мономолекулярный слой на стенках капилляров, перекрывающие попадание молекул воды, тем самым увеличивая срок службы материала [7]. Однако существующие

в настоящее время композиционные составы характеризуются недолговечностью вследствие окислительной деструкции, негативным воздействием на окружающую среду и незначительной глубиной пропитки [8].

Увеличение срока службы материалов из древесины может быть связано с созданием композиционных структур с верхними слоями, содержащими минеральные микро- и наночастицы. Это, как предполагается, будет способствовать увеличению плотности, прочности, твердости древесины и устойчивости ее к окислительному разрушению. Древесина на 99 % состоит из органических компонентов: около половины ее массы составляет целлюлоза, другую половину — гемицеллюлоза и лигнин.

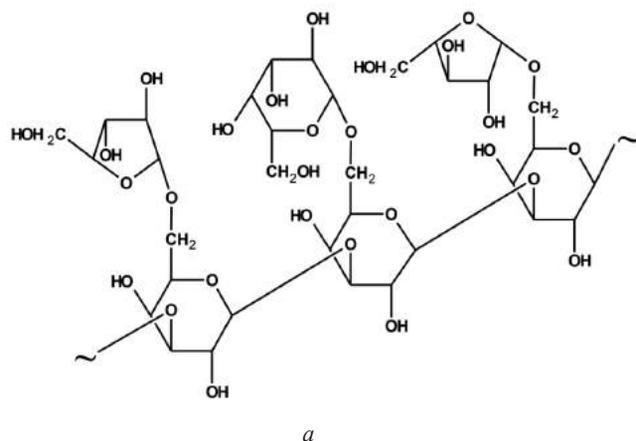


Рис. 1. Арабиногалактан: *a* — фрагмент макромолекулы; *б* — внешний вид
Fig. 1. Arabinogalactan: *a* — macromolecule fragment; *б* — surface appearance

Они также содержат вещества ароматической природы, поли- и моносахариды, органические кислоты. Однако в составе древесины также могут присутствовать минеральные компоненты [9]. Для улучшения сцепления минеральных частиц с поверхностью древесины в суспензии и золи необходимо вводить стабилизирующие агенты [10].

Цель работы

Цель работы — разработка научно обоснованных технологических решений, обеспечивающих получение строительных материалов из древесины с улучшенными физико-механическими свойствами за счет поверхностной минерализации растительной матрицы органоминеральной кварцсодержащей водной суспензией.

Материалы и методы

Используемая нами технология ускоренной минерализации древесины заключается в ее обработке растворимым органоминеральным комплексом, который можно получить из арабиногалактана (АГ) и механоактивированных кремнеземсодержащих горных пород [11–14], например полиминерального кремнеземсодержащего песка (КП), который обладает очень высокой термостойкостью и при использовании в условиях атмосферного воздействия не изменяет свои свойства и не вступает в химические реакции с иными веществами [13, 14]. КП характеризуется весьма многообразным применением, а изделия из него имеют высокие показатели прочности и привлекательный внешний вид [14]. Для интенсификации процессов переработки сырья успешно используются процессы механической и механохимической активации [15]. Степень дисперсности минерального компонента, необходимую для комплексообразования с АГ, получают тонким размолотом в различных помольных агрегатах [16]. Арабиногалактан в составе органо-минерального комплекса стабилизирует агрегативную и седиментационную устойчивость частиц полученных суспензий (рис. 1).

Арабиногалактан — природный полисахарид, содержащийся в древесине лиственных пород, хорошо растворимый в воде [17]. Благодаря определенному строению и свойству проходить через клеточные мембраны древесины АГ в комплексе с нерастворимыми веществами способен действовать как стабилизатор размера частиц и комплексообразователь при минерализации древесины [18–21]. Разработка технологии поверхностной минерализации древесных материалов помогает решить вопрос сохранения конструкций из дерева и полностью исключить гниение и последующее разрушение строений с сохранением текстуры дерева [21]. Для успешного процесса петрификации необходимо определить рациональный пропиточный состав, содержащий наибольшее количество нанодисперсных частиц. Наиболее простым и распространенным методом их получения является золь-гель технология [10]. В золь-гель технологиях для получения наноразмерного дисперсного диоксида кремния применяется реакция гидролиза в растворах с последующими стадиями появления новой фазы и образования геля или отделения осадка [22–24].

Результаты и обсуждение

Известно, что для образования растворимого органоминеральной суспензии из АГ и КП частицы песка должны иметь размерность, близкую к нанометровой [25]. Для решения этой задачи перед смешиванием компонентов песок измельчали на шаровой мельнице методом сухого помола. Ранее нами было установлено, что для эффективного комплексообразования средний размер частиц диоксида кремния не должен превышать 1000 нм.

На рис. 2 представлена зависимость изменения относительной оптической плотности раствора при $\lambda = 700$ нм ($\delta D_{700} = D_{\text{комп}}/D_{\text{АГ}}$) от времени, которая показывает, что процесс комплексообразования проходит в течение 40 мин, причем активное комплексообразование при взаимодействии компонентов протекает 8...10 мин. Кроме того,

Таблица 1

Энтальпия комплексообразования в зависимости от содержания минерального компонента

Enthalpy of complexation depending on the content of the mineral component

Содержание АГ, %	Содержание КП по массе, %	pH	Изменение температуры Δt , °C	Энтальпия $-\Delta H$, кДж/кг
2	3	4,34	0,15	0,281
	6	4,50	0,2	0,375
	9	4,86	0,6	1,125
	12	4,87	0,3	0,563
	15	4,87	0,1	0,188

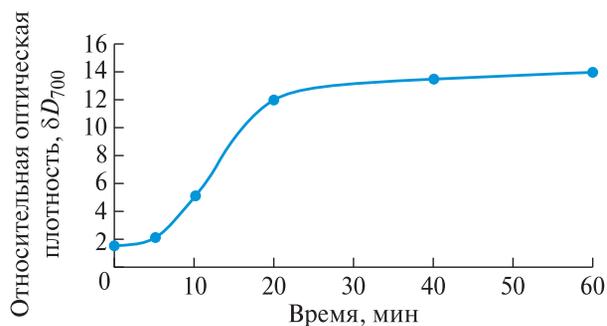


Рис. 2. Изменение относительной оптической плотности суспензии в зависимости от времени

Fig. 2. Change in the relative optical density of the suspension depending on time

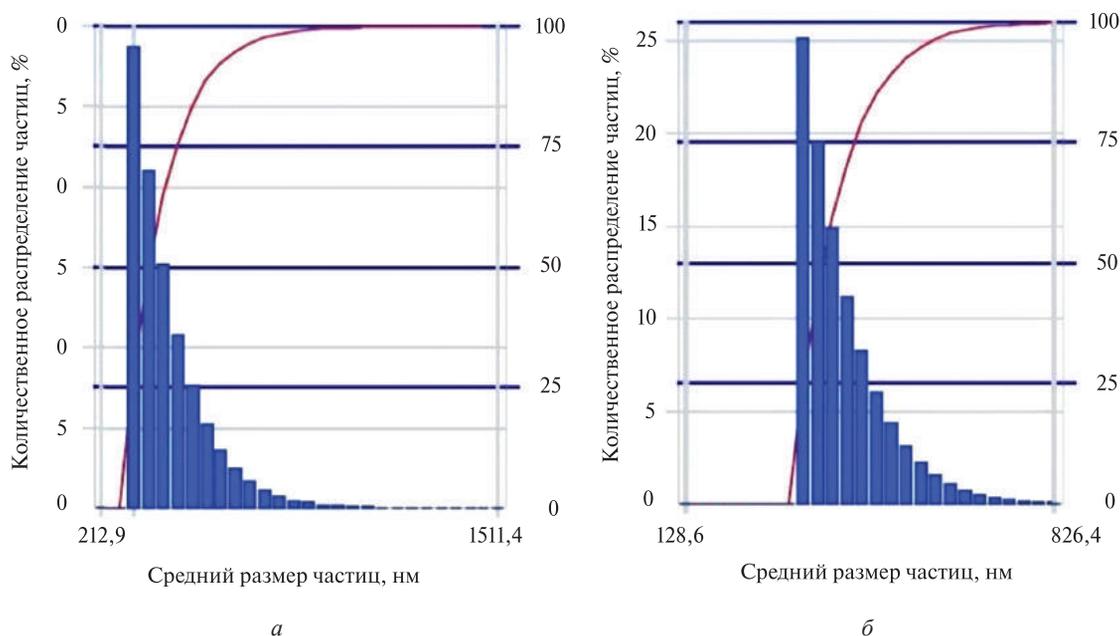


Рис. 3. Количественное распределение частиц (%) по размерам: а — 1 % суспензии диоксида кремния; б — суспензии АГ-КП

Fig. 3. Quantitative particle size distribution (%): а — 1 % silica suspension; б — suspensions of AG-KP

процесс комплексообразования сопровождается изменением окраски раствора (потемнением).

Результаты расчета на основе экспериментальных данных по калориметрическому измерению тепловых эффектов энтальпии комплексообразования для серии опытных образцов с различным содержанием кремнеземсодержащего компонента представлены в табл. 1.

Таким образом, по данным эксперимента рациональный состав компонентов в суспензии характеризуется массовым содержанием АГ 2 % и КП 9 %.

Арабиногалактан в водной суспензии, содержащей микрочастицы (или наночастицы) диоксида кремния выступает в роли комплексообразователя и стабилизатора размерных характеристик.

Параллельно потенциометрически контролировали величину pH исследуемых реакцион-

ных растворов. Данный параметр для всех серий эксперимента изменяется в диапазоне от 4,34 (суспензия с 3%-м содержанием КП) до 4,87 (суспензия с 15%-м содержанием КП). При увеличении концентрации КП значение pH суспензии растет, но при содержании КП 9 % оно стабилизируется. Данный факт, по нашему мнению, также свидетельствует о наличии химического взаимодействия в системе между органическим и минеральными компонентами и подтверждает состав суспензии, определенный калориметрически.

Среднее значение размера частиц диоксида кремния в водной суспензии составляет 324 нм. После добавления АГ и выдержки в течение 10 сут средний размер частиц составил 361 нм. Полученные результаты подтверждают высокую эффективность АГ в качестве поверхностно-активного вещества (рис. 3).

Для применения полученной органоминеральной суспензии были изготовлены опытные образцы из древесины сосны с размером основания 20×20 мм и длиной вдоль волокон — 30 мм. Повышение температуры суспензии интенсифицирует процесс комплексообразования, поэтому перед погружением образцов древесины для пропитки суспензию нагревали до 80 °С в течение 1 ч.

Доведенные до постоянной массы в сушильном шкафу образцы древесины обрабатывали в течение 24 ч двумя способами:

- 1) погружением в суспензию (с использованием пригруза) и последующим выдерживанием при температуре 25 °С в естественных условиях;
- 2) обработкой суспензией в автоклаве под избыточным давлением 1,5 МПа.

Для сравнительной оценки изменений эксплуатационных характеристик были изготовлены контрольные образцы древесины, которые не подвергались вышеописанной обработке (рис. 4).

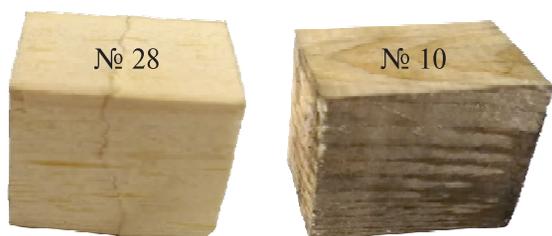


Рис. 4. Опытные образцы: контрольный образец (№ 28) и обработанная древесина (№ 10)

Fig. 4. Experimental samples: control sample (No. 28) and treated wood (No. 10)

Определение механических характеристик (твердости и прочности) древесины до модификации и после нее проводили на прессе испытательном ТП-1-100 и машине испытательной Shimadzu AGS-5kNX.

У обработанных опытных образцов проводили анализ на твердость и прочность. Предел прочности на сжатие (R) вдоль волокон выполняли на установке ТП-1-100 согласно ГОСТ 16483.10–73. Опытный образец размещали между двух опорных частей установки, в компьютер заносили данные скорости нагружения (25000 ± 5000 Н/мин) и размеры образца древесины. По итогу нагружения отмечали наивысшее значение примененной разрушающей нагрузки (P) и проводили расчет предела прочности при сжатии, учитывая площадь поперечного сечения опытных образцов. Твердость образцов определяли по методу Бринелля в соответствии с методикой, описанной в ГОСТ 9012–59 на испытательной установке Shimadzu-AGS-X. Результаты определения физико-механических свойств образцов древесины приведены в табл. 2.

Т а б л и ц а 2

Физико-механические свойства образцов древесины

Physical and mechanical properties of wood samples

Параметр	Контрольный образец	Пропитка	
		Самопроизвольная	Автоклавная
Предел прочности при сжатии (средний), $R_{ср}$, МПа	42,0	75,2	80,3
Прирост плотности (средний), $\Delta\rho_{ср}$, %	–	10,7	18,3
Твердость, НВW, МПа	1,09	3,71	3,8
Водопоглощение W , %	143,3	136,7	122,0

Полученные данные исследований прочности древесины, модифицированной органоминеральной суспензией, показали, что предел прочности на сжатие вдоль волокон испытанных образцов увеличился по сравнению с контрольными образцами на 80 % при самопроизвольной обработке и на 91 % при автоклавной. Модификация образцов древесины исследуемой органоминеральной суспензией в течение 24 ч также увеличивает твердость (по Бринеллю) обработанной древесины более чем в 3 раза. При повышенном давлении (автоклавной обработке) наблюдается значительное снижение водопоглощения — на 21,3 %. Причем, пропитка древесины разработанной органоминеральной суспензией не влияет на геометрические размеры и текстуру опытных образцов.

Выводы

Модификация образцов из древесины сосны с помощью суспензии, содержащей полисахарид арабиногалактан и полиминеральный кварцевый песок, улучшает физико-механические свойства растительной матрицы. Лучшую интенсификацию процесса минерализации показывает автоклавная пропитка (по сравнению с самопроизвольной). После 24 ч автоклавной пропитки плотность образцов увеличивается на 18 % (при самопроизвольной — на 10 %). Благодаря увеличению плотности опытных образцов возрастает и их прочность на сжатие вдоль волокон — на 80 % при самопроизвольной пропитке и на 91 % при автоклавной. Твердость по Бринеллю не зависит от условий протекания процесса и увеличивается более чем в 3 раза.

Список литературы

- [1] Marais B., Brischke C., Militz H. Wood durability in terrestrial and aquatic environments – A review of biotic and abiotic influence factors // Wood Material Science & Engineering, 2020, pp. 1–4. DOI: 10.1080/17480272.2020.1779810

- [2] Sivrikaya H., Can A., Yaman B., Palanti S., Morrell J. Effect of tallow impregnation on moisture behavior and decay resistance of various wood species // *Wood Material Science & Engineering*, 2020, no. 15(6), pp. 260–268. DOI: 10.1080/17480272.2020.1862298
- [3] Wentao G., Ying L., Likun G., Xianxu Zh., Jian L. Magnetic Property, Thermal Stability, UV-Resistance, and Moisture Absorption Behavior of Magnetic Wood Composites. DOI:10.1002/pc.23733
- [4] Holy S., Temiz A., Demirel G., Aslan M., Hazim M., Amiri M. Physical properties, thermal and fungal resistance of Scots pine wood treated with nano-clay and several metal-oxides nanoparticles // *Wood Material Science & Engineering*, 2020. DOI: 10.1080/17480272.2020.1836023
- [5] Zaripov Sh., Chizhov A., Kormienko V., Semenova N. The Influence of Water-Soluble Substances on Moisture Distribution in Larch Lumber Before Drying // *Forestry Journal*, 2019, no. 6, pp. 185–193.
- [6] Dong Y., Yan Y., Ma H., Zhang S., Li J., Xia C., Shi S. Q., Cai L. In-Situ Chemosynthesis of ZnO Nanoparticles to Endow Wood with Antibacterial and UV-Resistance Properties // *J. of Materials Science & Technology*, 2017, № 33(3), pp. 266–270.
- [7] Elam J., Björndal C. A review and case studies of factors affecting the stability of wooden foundation piles in urban environments exposed to construction work // *International Biodeterioration & Biodegradation*, 2020, 148 p. DOI:10.1016/j.ibiod.2020.104913
- [8] Lesovik V., Ayzenshtadt A., Frolova M., Lesovik R., Strokova V. «Green» Composites for North-Arctic Region Development // *The Open Ecology Journal*, 2014, t. 7, no. 1, pp. 32–36.
- [9] Килушева Н.В., Феклистов П.А., Ежова Н.В., Болотов И.Н., Филиппов Б.Ю. Сравнительный анализ содержания минеральных элементов в древесине сосны и ели // *ИзВУЗ Лесн. журнал*, 2017. № 5. С. 64–72.
- [10] Shin, Y., Liu J., Chang J.H., Nie Z., & Exarhos, G.J. Hierarchically Ordered Ceramics Through Surfactant-Templated Sol-Gel Mineralization of Biological Cellular Structures // *Advanced Materials*, 2001, v. 13, pp. 728–731.
- [11] Danilov V., Ayzenshtadt A., Kilyusheva N., Makhova T., Belyaev A. Colloid chemical aspects accelerated artificial petrification of wood // *J. of Physics: Conference Series*, 2019, v. 1400, p. 077053.
- [12] Данилов В.Е., Туробова М.А., Айзенштадт А.М., Русинова Я.М. Гидрофобные покрытия на основе кремнеземсодержащего сырья низкого качества // *Строительные материалы*, 2019. № 7. С. 61–65.
- [13] Zhang N., Xu M., Cai L. Improvement of mechanical, humidity resistance and thermal properties of heat-treated rubber wood by impregnation of SiO₂ precursor // *Scientific Reports*, 2019, v. 9, article number 982.
- [14] Danilov V., Ayzenshtadt A., Kilyusheva, N., Belyaev A. Wood surface modification with an arabinogalactan-silica composition // *J. of Wood Chemistry and Technology*, 2021, v. 41(6), pp. 1–13.
- [15] Mustoe G.E. Wood Petrification: A New View of Permineralization and Replacement // *Geosciences*, 2017, no. 7 (4), pp. 1191–1191/17. DOI:10.3390/geosciences7040119
- [16] Ишмуратов Ф.Г. Полисахариды: получение и влияние на ингибирование солеотложения и газогидратообразования: автореферат дис. ... канд. техн. наук 02.00.03. ФГБОУ ВО «Уфимский государственный нефтяной технический университет», 2018.
- [17] Килушева Н.В., Айзенштадт А.М., Данилов В.Е., Беляев А.О. Модификация древесины органоминеральным комплексом // *Промышленное и гражданское строительство*, 2020. № 2. С. 47–51.
- [18] Килушева Н.В., Айзенштадт А.М., Стенин А.А., Морозова М.В. Органоминеральный комплекс для поверхностной минерализации древесины // *Материаловедение*, 2019. № 4. С. 45–48.
- [19] Kilyusheva N., Danilov V., Ayzenshtadt A., Belyaev A. Compounding and technological methods for increasing the efficiency of wood matrix mineralization // *J. of Physics: Conference Series*, 2020, v. 1697, p. 012242.
- [20] Kiliusheva N., Ayzenshtadt A., Danilov V., Stenin A. Organic-mineral modifier for petrification of wood // 18-th International multidisciplinary scientific Geoconference S-GEM-2018: nano, bio and green-technologies for a sustainable future, 2–8 July, 2018, v. 18, pp. 385–392. DOI: 10.5593/sgem2018/6.1/S24.052
- [21] Kilyusheva N., Danilov V., Ayzenshtadt A., Belyaev A. Compounding and technological methods for increasing the efficiency of wood matrix mineralization // *J. of Physics: Conference Series*, 2020, v. 1697, p. 012242.
- [22] Bak M., Molnár F., Németh R. Improvement of dimensional stability of wood by silica nanoparticles // *Wood Material Science & Engineering*, 2019, no. 14, pp. 48–58. DOI: 10.1080/17480272.2018.1528568
- [23] Wentao G., Likun G., Shaoliang X., Wenbo Zh. Transparent magnetic wood composites based on immobilizing Fe₃O₄ nanoparticles into a delignified wood template // *J. of Materials Science*, 2017, v. 52(6). DOI:10.1007/s10853-016-0619-8
- [24] Батин М.О. Повышение биологической стойкости полов из модифицированной древесины введением наноразмерных добавок // *Строительные материалы*, 2018. № 1–2. С. 52–57.
- [25] Semenzin E., Subramanian V., Pizzol L., Zabeo A., Fransman W., Hristozov C., Marcomini A. Controlling the risks of nano-enabled products through the life cycle: The case of nano copper oxide paint for wood protection and nano-pigments used in the automotive industry // *Environment International*, 2019, v. 131, p. 104901. DOI:10.1016/j.envint.2019.06.011

Сведения об авторах

Килушева Наталья Владимировна — соискатель кафедры «Композиционные материалы и строительная экология», ФГАУ ВО «Северный (Арктический) федеральный университет имени М.В. Ломоносова» (САФУ), n.volkova@narfu.ru

Данилов Виктор Евгеньевич — канд. техн. наук, доцент кафедры «Композиционные материалы и строительная экология», ФГАУ ВО «Северный (Арктический) федеральный университет имени М.В. Ломоносова» (САФУ), v.danilov@narfu.ru

Беляев Александр Олегович — аспирант кафедры «Композиционные материалы и строительная экология», ФГАУ ВО «Северный (Арктический) федеральный университет имени М.В. Ломоносова» (САФУ), mr.oba0509@mail.ru

Айзенштадт Аркадий Михайлович — д-р хим. наук, профессор, зав. кафедрой «Композиционные материалы и строительная экология», ФГАУ ВО «Северный (Арктический) федеральный университет имени М.В. Ломоносова» (САФУ), a.isenshtadt@narfu.ru

Поступила в редакцию 25.11.2022.

Одобрено после рецензирования 10.01.2023.

Принята к публикации 25.01.2023.

ARABINO GALACTAN APPLICATION FOR WOOD MINERALIZATION

N.V. Kilyusheva[✉], V.E. Danilov, A.O. Belyaev, A.M. Ayzenshtadt

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

n.volkova@narfu.ru

Formulation and technological solutions aimed at improving the physico-chemical and physico-mechanical characteristics of pine wood construction materials by mineralization of the plant raw materials matrix due to its treatment with an aqueous organomineral suspension based on arabinogalactan and pre-mechanoactivated silica-containing sand have been developed and scientifically substantiated. The natural polysaccharide arabinogalactan isolated from larch wood can act as a stabilizer of aggregation and sedimentation stability of suspension particles for wood processing. Experimental data on the thermal effect calorimetric measurement of the enthalpy of complexation for a series of experimental samples with different contents of a silica-containing component are presented. The results confirming the high efficiency of arabinogalactan as a surfactant have been obtained. The fact of the formation of a chemical bond during the impregnation of wood samples with an organomineral suspension between organic macromolecules (cellulose, lignin, hemicellulose) of vegetable raw materials and silica of the mineral component was found, which contributes to the consolidation of the latter in the structure of the wood matrix. Mineralization of the wood surface with compositions containing arabinogalactan and silica nanoparticles gives an increase in density and hardness, as well as the acquisition of hydrophobic properties and resistance to oxidative degradation. This indicates the possibility of using this composition for petrifying wood. The kinetic description of the complexation process is given, the conditions of stable long-term existence of the complex in an aqueous medium are established. It is shown that the treatment of wood with suspension for 24 hours in a spontaneous mode with a rationally selected composition leads to an increase in the density of vegetable raw materials by 10 %, an increase in strength along the fibers by 80 %, Brinell hardness by 3,4 times. Impregnation of wood samples in autoclave mode with a similar suspension (under an excess pressure of 1,35...1,40 MPa) significantly intensifies the process of mineralization of plant raw materials. Thus, over a time period of 24 hours, the density of wood increases by 70 %, the increase in strength along the fibers was 91 %, Brinell hardness increases by 3,5 times, water absorption decreases by 21 %. It was found that the impregnation of wood with a suspension of the developed organomineral composition does not lead to a change in the geometric dimensions and texture of the samples.

Keywords: arabinogalactan, silica-containing sand, petrification of wood, autoclave, strength gain

Suggested citation: Kilyusheva N.V., Danilov V.E., Belyaev A.O., Ayzenshtadt A.M. *Primenenie arabinogalaktana dlya mineralizatsii drevesiny* [Arabinogalactan application for wood mineralization]. *Lesnoy vestnik / Forestry Bulletin*, 2023, vol. 27, no. 2, pp. 121–127. DOI: 10.18698/2542-1468-2023-2-121-127

References

- [1] Marais B., Brischke C., Militz H. Wood durability in terrestrial and aquatic environments – A review of biotic and abiotic influence factors. *Wood Material Science & Engineering*, 2020, pp. 1–4. DOI: 10.1080/17480272.2020.1779810
- [2] Sivrikaya H., Can A., Yaman B., Palanti S., Morrell J. Effect of tallow impregnation on moisture behavior and decay resistance of various wood species. *Wood Material Science & Engineering*, 2020, no. 15(6), pp. 260–268. DOI: 10.1080/17480272.2020.1862298
- [3] Wentao G., Ying L., Likun G., Xianxu Zh., Jian L. Magnetic Property, Thermal Stability, UV-Resistance, and Moisture Absorption Behavior of Magnetic Wood Composites. DOI:10.1002/pc.23733
- [4] Holy S., Temiz A., Demirel G., Aslan M., Hazim M., Amini M. Physical properties, thermal and fungal resistance of Scots pine wood treated with nano-clay and several metal-oxides nanoparticles. *Wood Material Science & Engineering*. 2020. DOI: 10.1080/17480272.2020.1836023
- [5] Zaripov Sh., Chizhov A., Kornienko V., Semenova N. The Influence of Water-Soluble Substances on Moisture Distribution in Larch Lumber Before Drying. *Forestry Journal*, 2019, no. 6, pp. 185–193.
- [6] Dong Y., Yan Y., Ma H., Zhang S., Li J., Xia C., Shi S. Q., Cai L. In-Situ Chemosynthesis of ZnO Nanoparticles to Endow Wood with Antibacterial and UV-Resistance Properties. *J. of Materials Science & Technology*, 2017, № 33(3), pp. 266–270.
- [7] Elam J., Björndal C. A review and case studies of factors affecting the stability of wooden foundation piles in urban environments exposed to construction work. *International Biodeterioration & Biodegradation*, 2020, 148 p. DOI:10.1016/j.ibiod.2020.104913
- [8] Lesovik V., Ayzenshtadt A., Frolova M., Lesovik R., Strokova V. «Green» Composites for North-Arctic Region Development. *The Open Ecology Journal*, 2014, t. 7, no. 1, pp. 32–36.
- [9] Kilyusheva N.V., Feklistov P.A., Ezhova N.V., Bolotov I.N., Filippov B.Yu. *Sravnitel'nyy analiz sodержaniya mineral'nykh elementov v drevesine sosny i eli* [Comparative analysis of the content of mineral elements in pine and spruce wood]. *Lesnoy Zhurnal (Russian Forestry Journal)*, 2017, no. 5, pp. 64–72.
- [10] Shin, Y., Liu J., Chang J.H., Nie Z., & Exarhos, G.J. Hierarchically Ordered Ceramics Through Surfactant-Templated Sol-Gel Mineralization of Biological Cellular Structures. *Advanced Materials*, 2001, v. 13, pp. 728–731.
- [11] Danilov V., Ayzenshtadt A., Kilyusheva N., Makhova T., Belyaev A. Colloid chemical aspects accelerated artificial petrification of wood. *J. of Physics: Conference Series*, 2019, v. 1400, p. 077053.

- [12] Danilov V.E., Turobova M.A., Ayzenshtadt A.M., Rusinova Ya.M. *Gidrofobnye pokrytiya na osnove kremnezemsoderzhashchego syr'ya nizkogo kachestva* [Hydrophobic coatings based on low quality silica-containing raw materials]. *Stroitel'nye materialy* [Building materials], 2019, no. 7, pp. 61–65.
- [13] Zhang N., Xu M., Cai L. Improvement of mechanical, humidity resistance and thermal properties of heat-treated rubber wood by impregnation of SiO₂ precursor. *Scientific Reports*, 2019, v. 9, article number 982.
- [14] Danilov V., Ayzenshtadt A., Kilyusheva, N., Belyaev A. Wood surface modification with an arabinogalactan–silica composition. *J. of Wood Chemistry and Technology*, 2021, v. 41(6), pp. 1–13.
- [15] Mustoe G.E. Wood Petrification: A New View of Permineralization and Replacement. *Geosciences*, 2017, no. 7 (4), pp. 119/1–119/17. DOI:10.3390/geosciences7040119
- [16] Ishmuratov F.G. *Polisakharidy: poluchenie i vliyanie na ingibirovanie soletozheniya i gazogidratoobrazovaniya* [Polysaccharides: obtaining and influence on the inhibition of scaling and gas hydrate formation]. Abstract Diss. Cand. Sci. (Tech.) 02.00.03. Ufa State Oil Technical University, 2018.
- [17] Kilyusheva N.V., Ayzenshtadt A.M., Danilov V.E., Belyaev A.O. *Modifikatsiya drevesiny organomineral'nym kompleksom* [Modification of wood with an organomineral complex]. *Promyshlennoe i grazhdanskoe stroitel'stvo* [Industrial and civil construction], 2020, no. 2, pp. 47–51.
- [18] Kilyusheva N.V., Ayzenshtadt A.M., Stenin A.A., Morozova M.V. *Organomineral'nyy kompleks dlya poverkhnostnoy mineralizatsii drevesiny* [Organo-mineral complex for surface mineralization of wood]. *Materialovedenie*, 2019, no. 4, pp. 45–48.
- [19] Kilyusheva N., Danilov V., Ayzenshtadt A., Belyaev A. Compounding and technological methods for increasing the efficiency of wood matrix mineralization. *J. of Physics: Conference Series*, 2020, v. 1697, p. 012242.
- [20] Kilyusheva N., Ayzenshtadt A., Danilov V., Stenin A. Organic-mineral modifier for petrification of wood. 18-th International multidisciplinary scientific GeoconferenceSGEM-2018: nano, bio and green-technologies for a sustainable future, 2–8 July, 2018, v. 18, pp. 385–392. DOI: 10.5593/sgem2018/6.1/S24.052
- [21] Kilyusheva N., Danilov V., Ayzenshtadt A., Belyaev A. Compounding and technological methods for increasing the efficiency of wood matrix mineralization. *J. of Physics: Conference Series*, 2020, v. 1697, p. 012242.
- [22] Bak M., Molnár F., Németh R. Improvement of dimensional stability of wood by silica nanoparticles. *Wood Material Science & Engineering*, 2019, no. 14, pp. 48–58. DOI: 10.1080/17480272.2018.1528568
- [23] Wentao G., Likun G., Shaoliang X., Wenbo Zh. Transparent magnetic wood composites based on immobilizing Fe₃O₄ nanoparticles into a delignified wood template. *J. of Materials Science*, 2017, v. 52(6). DOI:10.1007/s10853-016-0619-8
- [24] Batin M.O. *Povyshenie biologicheskoy stoykosti polov iz modifitsirovannoy drevesiny vvedeniem nanorazmernykh dobavok* [Improving the biological resistance of floors made of modified wood by introducing nano-sized additives]. *Stroitel'nye materialy* [Building materials], 2018, no. 1–2, pp. 52–57.
- [25] Semenzin E., Subramanian V., Pizzol L., Zabeo A., Fransman W., Hristozov C., Marcomini A. Controlling the risks of nano-enabled products through the life cycle: The case of nano copper oxide paint for wood protection and nano-pigments used in the automotive industry // *Environment International*, 2019, v. 131, p. 104901. DOI:10.1016/j.envint.2019.06.011

Authors' information

Kilyusheva Natal'ya Vladimirovna [✉] — pg. of the Department of Composite Materials and Construction Ecology, Northern (Arctic) Federal University named after M.V. Lomonosov, n.volkova@narfu.ru

Danilov Viktor Evgen'evich, — Cand. Sci. (Tech.), Associate Professor of the Department of Composite Materials and Construction Ecology, Northern (Arctic) Federal University named after M.V. Lomonosov, v.danilov@narfu.ru

Belyaev Aleksandr Olegovich — pg. of the Department of Composite Materials and Construction Ecology, Northern (Arctic) Federal University named after M.V. Lomonosov, mr.oba0509@mail.ru

Ayzenshtadt Arkadiy Mikhaylovich — Dr. Sci. (Chem.), Professor, Head of the Department of Composite Materials and Building Ecology. Northern (Arctic) Federal University named after M.V. Lomonosov, a.isenshtadt@narfu.ru

Received 25.11.2022.

Approved after review 10.01.2023.

Accepted for publication 25.01.2023.

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

ЛАНДШАФТНАЯ АРХИТЕКТУРА ТЕРРИТОРИИ КАМПУСОВ УНИВЕРСИТЕТОВ

В.В. Кругляк^{1✉}, С.Ф. Барруху², А.В. Царегородцев²

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

²ФГБОУ ВО «Воронежский государственный лесотехнический университет имени Г.Ф. Морозова», Россия, 394087,
г. Воронеж, ул. Тимирязева, д. 8

kruglyak_vl@mail.ru

Представлено положение о реализации проекта по созданию инновационной образовательной среды кампусов. Дано определение: кампус, колледж, научно-образовательный комплекс, научно-образовательный центр. Охарактеризованы критерии отбора проектов по созданию университетских кампусов мирового уровня. Приведены данные о лучших кампусах университетов мира. Проанализирован список лучших кампусов университетов России. Выявлены функциональные зоны на территории кампуса Московского государственного университета имени М.В. Ломоносова. Разработана концепция ландшафтной организации территории кампуса Воронежского государственного лесотехнического университета, рекомендуемая для реализации. Определена структура территории кампуса Воронежского государственного аграрного университета имени Императора Петра I. Установлены виды научно-образовательных комплексов университетских кампусов мира и России по размеру территории (площади кампуса) и количеству обучающихся.

Ключевые слова: ландшафтная архитектура, кампус, цветочное оформление, ботанический сад

Ссылка для цитирования: Кругляк В.В., Барруху С.Ф., Царегородцев А.В. Ландшафтная архитектура территории кампусов университетов // Лесной вестник / Forestry Bulletin, 2023. Т. 27. № 2. С. 128–145.
DOI: 10.18698/2542-1468-2023-2-128-145

В России к 2030 г. должна быть создана сеть университетских кампусов мирового уровня и технологических долин (инновационных научно-технологических центров — ИНТЦ), которые станут частью единой экосистемы среды образования в стране. В Центрально-Черноземном районе России расположены известные объекты ландшафтной архитектуры и уникальные кампусы университетов [1]. Сотрудничество университетов и ботанических садов России в подготовке специалистов по ландшафтной архитектуре имеет давние традиции [2]. Важное значение в эколого-биологическом образовании студентов придает ботаническим садам и дендрариям университетов [3–5]. В соответствии с Указом Президента Российской Федерации в 2022 г. отпраздновано 350-летие со дня рождения Императора Петра I. В Воронежском государственном аграрном университете имени Императора Петра I (ВГАУ) проведены мероприятия, посвященные этому важному событию в жизни страны. Особая важность этих мероприятий в том, что университет в 2022 году отметил свой 110-летний юбилей. За время существования, территории кампусов Воронежского государственного лесотехнического университета имени Г.Ф. Морозова (ВГЛУ) [6] и ВГАУ [7] имели тенденцию к уменьшению своих площадей. Сведения, приведенные в кадастре особо

охраняемых территорий Воронежской обл. [8], и уникальное биоразнообразие города Воронежа [9] свидетельствуют о многофункциональной структуре кампусов ВГЛУ и ВГАУ. В документации о процедуре определения инвестиционных проектов, реализация которых осуществляется в соответствии с Положением о реализации проекта по созданию инновационной образовательной среды (кампусов) с применением механизмов государственно-частного партнерства и концессионных соглашений в рамках федерального проекта «Развитие инфраструктуры для научных исследований и подготовки кадров» национального проекта «Наука и университеты», утвержденного постановлением Правительства Российской Федерации от 28 июля 2021 г. № 1268, дается определение: «Кампус — планируемый к созданию (строительству) и (или) реконструкции и последующему использованию (эксплуатации) в рамках исполнения соглашения комплекс зданий, плоскостных сооружений для обучающихся, научно-педагогических работников, научных работников и иных категорий сотрудников образовательных организаций высшего образования и научных организаций для их проживания или размещения, самостоятельной работы, досуга и занятий спортом, который может включать в том числе объекты образования, культуры, спорта, объекты, используемые для организации отдыха граждан и туризма, иные объекты социального обслуживания населения» (www.garant.ru/products/ipo/prime/doc/401486710/).

Цель работы

Цель работы — разработка научно обоснованного подхода для ландшафтной организации территорий университетских кампусов

Методология и методы исследований

Архитектура университетских комплексов исследована по методике М.В. Пучкова [10], базирующейся на системном подходе и комплексных принципах оценки [15]. Ассортимент используемых растений дополнен растениями Красной книги России из коллекций ботанических садов и дендрариев [16–18]. Использованы также методики, применяемые в декоративном растениеводстве [15]. Инновационные композиции составлены с учетом требований ГОСТ 25769–83, ГОСТ 28329–89. Работы выполнялись с учетом правил создания, содержания и охраны зеленых насаждений [18], инструкции по проведению инвентаризации и паспортизации городских озелененных территорий [19], а также с помощью дендрологической методики, применяемой в Центральном Черноземье [20, 21]. В ботаническом саду и дендропарке ВГАУ ассортимент декоративных растений Северного Кавказа представлен по изданию Ю.Н. Карпуна [22, 23]. Степень достоверности полученных результатов подтверждена многолетними, комплексными и многофакторными экспериментальными исследованиями [24]. Оценка состояния растений в городской среде проведена по методике В.С. Теодоронского [25–27]. Перспективные элементы ландшафтной архитектуры кампусов университетов составлены с учетом строительства городских объектов озеленения [28].

Результаты и обсуждение

В России при проектировании и строительстве университетских кампусов мирового уровня необходимо четкое определение понятий кампус, колледж, научно-образовательный комплекс (НОК), научно-образовательный центр (НОЦ).

Кампус (лат. *campus* — «открытое пространство») — это территория высшего учебного заведения, а именно университета, с внутренней инфраструктурой, различными заведениями образовательного и развлекательного характера. По сути, кампус — город в городе. В России их чаще называют студенческими городками.

Колледж — пространственный (функциональный) тип организации объектов НОК в классических университетах, периметральная структура застройки вокруг центрального двора — общественного пространства, выполняющая все основные функции комплекса — учебную, иссле-

довательскую, жилую, религиозную, административную, хозяйственную.

Научно-образовательный комплекс — комплекс объектов, осуществляющих функцию высшего образования, проведения исследований, внедрения результатов в опытно-инновационном производстве.

Научно-образовательный центр — ключевой объект НОК, построенный по модели образовательного цикла нового поколения.

Министерство образования и науки Российской Федерации утвердило «критерии отбора проектов по созданию университетских кампусов мирового уровня:

- межвузовский принцип реализации проекта по созданию кампусов;
- уникальная концепция архитектурно-градостроительных решений;
- потребность в местах для проживания обучающихся;
- взаимосвязь проекта со стратегией развития субъекта РФ;
- качество городской среды;
- интегрированность проекта в городскую среду;
- наличие маркетингового исследования общественного мнения;
- подтвержденное наличие сформированного земельного участка;
- обеспеченность территории кампуса инженерными сетями и транспортной инфраструктурой» (<https://ppunity.ru/blogs/Minobrnavki-Rossii-utverzhdeny-kriterii-otboraproektov-po-sozdaniyu-universitetskih-kampusov>).

Для достижения поставленной задачи по созданию в России университетских кампусов мирового уровня можно использовать опыт других стран (табл. 1).

Кампус Гонконгского университета занимает площадь 160 га, расположен в плотной городской застройке, одним из элементов его ландшафтной архитектуры являются озелененные крыши отдельных корпусов университета (рис. 1).

Ландшафтная архитектура территории кампуса Киотского университета (Япония) включает в себя как аборигенные японские растения, так и интродуценты в сочетании с традиционными архитектурными формами (рис. 2).

Ландшафтная архитектура территории кампуса Мюнхенского технического университета, сочетает водные устройства и солитерные насаждения (рис. 3).

Массачусетский технологический институт расположен в Кембридже (штат Массачусетс), около промышленного города Бостон. Элементы озеленения территории института включают в себя рядовые посадки, ландшафтные группы и солитеры (рис. 4).

Список лучших кампусов университетов мира

List of the best university campuses in the world

Университет	Год основания	Численность студентов, тыс. чел.	Страна	Город	Численность населения города, тыс. чел.
Австралийский национальный университет	1947	18,4	Австралия	Канберра	410,2
Массачусетский технологический институт	1861	11,3	США	Кембридж Массачусетс	105,2
Оксфордский университет	1282	20,8	Великобритания	Оксфорд	154,6
Университет Гонконга	1911	20,1	Китай	Гонконг	7567,4
Университет Макгилла	1821	29,7	Канада	Квебек	1704,7
Киотский университет	1897	22,7	Япония	Киото	1475,2
Мюнхенский технический университет	1868	40,7	Германия	Мюнхен	1471,5
Сорбонский университет	1257	55,4	Франция	Париж	2148,3
Белорусский государственный университет	1921	28,9	Белоруссия	Минск	1996,2
Казахский национальный университет	1934	40,0	Казахстан	Алма-Ата	1997,4



Рис. 1. Ландшафтная архитектура территории кампуса Гонконгского университета, Китай
(<https://viva-mundo.com/en/noticia/post/study-business-hong-kong-gateway-china>)

Fig. 1. Landscape architecture of the Hong Kong University campus, China
(<https://viva-mundo.com/en/noticia/post/study-business-hong-kong-gateway-china>)

В Российской Федерации накоплен большой опыт по созданию благоустроенных университетских кампусов [29, 30] (табл. 2).

Создание кампуса на территории Московского государственного университета имени М.В. Ломоносова (рис. 5) предусматривает организацию следующих функциональных зон:

- образовательных;
- информационно-интеллектуальных;
- научно-исследовательских;
- культурно-досуговых;
- физкультурно-спортивных;
- зоны международного сотрудничества.

Территория кампуса Российского государственного аграрного университета является

памятником садово-паркового искусства, в пределах которого расположен дендрологический сад имени Р.И. Шредера, основанный в 1862 г. на участке площадью 12,4 га (рис. 6).

На территории кампуса Санкт-Петербургского государственного лесотехнического университета располагается ботанический сад, который расположен в границах памятника истории и культуры общероссийского значения «Комплекс Лесного института» (1820–1840 гг., 1900 гг., архитекторы А.Д. Нелингер, И.Ф. Лукини, А.И. Дитрих) (рис. 7).

Кампус ВГЛТУ включает в себя учебную территорию и здания университета — учебные, лабораторные, жилые, спортивные, административные, хозяйственные корпуса.

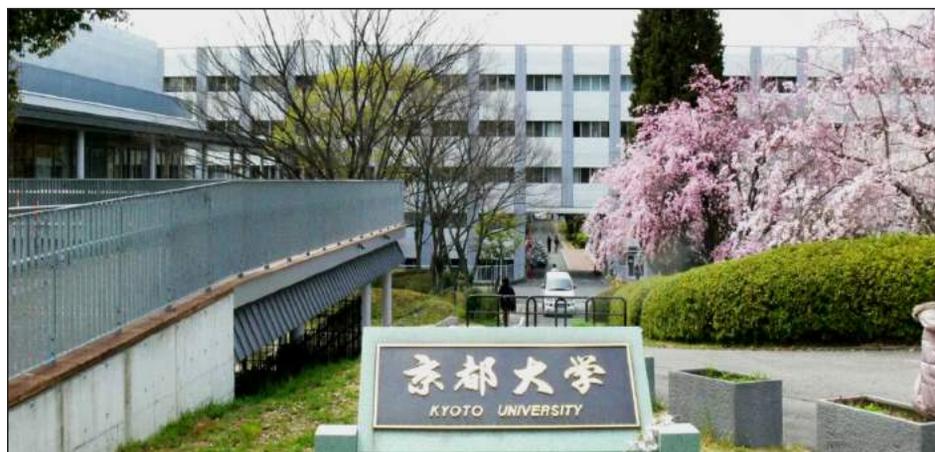


Рис. 2. Ландшафтная архитектура территории кампуса Киотского университета, Япония (<https://schoolynk.com/media/articles/531d570d-504c-4b2e-89ca-6108af872196>)

Fig. 2. Landscape architecture of the Kyoto University campus, Japan (<https://schoolynk.com/media/articles/531d570d-504c-4b2e-89ca-6108af872196>)



Рис. 3. Ландшафтная архитектура территории кампуса Мюнхенского технического университета, Германия (<https://rabota-za-granicej.ru/hudozestvennoe-obrazovanie-v-germanii-v-2021-godu-universitety/>)

Fig. 3. Landscape architecture of the Munich Technical University campus, Germany (<https://rabota-za-granicej.ru/hudozestvennoe-obrazovanie-v-germanii-v-2021-godu-universitety/>)

Однако общественные пространства также имеют немаловажное значение в структуре кампуса. Их можно разделить на следующие виды:

- пространство для самостоятельной работы;
- внутренний двор — открытый двор и атриум — перекрытый;
- площадь — градообразующий элемент;
- газон — основное зеленое рекреационное пространство кампуса.

Предметом исследования служили современные подходы к использованию ландшафтной архитектуры в качестве средства экологичной реконструкции городских открытых пространств в целях достижения устойчивости среды. Нами рассмотрены различные концепции организации территории кампуса ВГЛУ. Его территория занима-

ет площадь 4 га, по территориальному признаку она относится к внутригородским объектам, а по функциональному — к объектам ограниченного пользования [31]. Здесь расположен главный корпус университета, семь учебных корпусов, четыре здания общежития, столовая и спортивный зал (рис. 8).

Важное условие проекта — комфортность среды, подбор малых архитектурных форм, адаптированного ассортимента растений и удобная организация пространства для свободного транзита студентов и жителей района. Один из элементов проекта расположен между главным и седьмым корпусом университета и представляет собой защитное насаждение вдоль дороги по ул. Тимирязева (рис. 9).



Рис. 4. Ландшафтная архитектура территории кампуса Массачусетского технологического института, США (<https://www.education-medelle.com/upload/iblock/9aa/9aaad14379ddaf539f002d36d29c8b5b.jpg>)
Fig. 4. Landscape architecture of the Massachusetts Technology Institute campus, USA (<https://www.education-medelle.com/upload/iblock/9aa/9aaad14379ddaf539f002d36d29c8b5b.jpg>)

Т а б л и ц а 2

Список лучших кампусов университетов России
List of the best university campuses in Russia

Университет	Год основания	Численность студентов, тыс. чел	Город	Численность населения города, тыс. чел
Московский государственный университет	1755	38,1	Москва	12635,5
Российский государственный аграрный университет	1865	18,0	Москва	12635,5
Санкт-Петербургский государственный университет	1724	20,0	Санкт-Петербург	5377,7
Санкт-Петербургский государственный лесотехнический университет	1803	9,3	Санкт-Петербург	5377,7
Научно-технологический университет «Сириус»	2014	8,0	Сочи	433,5
Казанский федеральный университет	1804	50,2	Казань	1259,1
Уральский федеральный университет	1920	57,0	Екатеринбург	1493,6
Дальневосточный федеральный университет	1899	23,0	Владивосток	600,8
Воронежский государственный лесотехнический университет	1930	10,0	Воронеж	1048,7
Воронежский государственный аграрный университет	1912	14,0	Воронеж	1048,7



Рис. 5. Ландшафтная архитектура территории кампуса Московского государственного университета (https://www.msu.ru/info/struct/dep/universitet-mgu-ppi-v-shenchzhene.php?tmpl=clear&sphrase_id=2328888)

Fig. 5. Landscape architecture of the Moscow State University campus (https://www.msu.ru/info/struct/dep/universitet-mgu-ppi-v-shenchzhene.php?tmpl=clear&sphrase_id=2328888)



Рис. 6. Ландшафтная архитектура территории кампуса Российского государственного аграрного университета (<https://argumenti.ru/images/arhnews/574100.jpg>)

Fig. 6. Landscape architecture of the Russian State Agrarian University campus (<https://argumenti.ru/images/arhnews/574100.jpg>)

Такое благоустройство направлено на создание комфортной среды для студентов, проживающих в общежитиях университета. Защитное насаждение по ул. Тимирязева, примыкающее к аллее «Любви», располагается между общежитиями и столовой, далее идет остановка «ул. Морозова». Это формирует не только удобный транзит, но и место отдыха, встреч и небольших общественных мероприятий (рис. 10).

По ходу маршрута имеются «островки» с организованными площадками и скамьями. Они окружены насаждениями из деревьев и кустарников декоративных форм, цветочными растениями, создающими барьер от примыкающей дороги. Мощение представлено газонной решеткой (рис. 11).

Проход к площадке со скамьями идет через туннель в виде чередующихся пергол, формирующих полутьнь (рис. 12).



Рис. 7. Ландшафтная архитектура территории кампуса Санкт-Петербургского государственного лесотехнического университета (<http://sovretectorov.ru/wp-content/uploads/2022/06/%D0%A1%D0%9F%D0%B1%D0%93%D0%9B%D0%A2%D0%A3-800x445.jpg>)

Fig. 7. Landscape architecture of the St. Petersburg State Forest Engineering University campus (<http://sovretectorov.ru/wp-content/uploads/2022/06/%D0%A1%D0%9F%D0%B1%D0%93%D0%9B%D0%A2%D0%A3-800x445.jpg>)



Рис. 8. Общий план кампуса Воронежского государственного лесотехнического университета (внутренний проект озеленения разработан А.В. Царегородцевым)

Fig. 8. The general plan of the Voronezh State Forest Engineering University campus

Имидж вуза оказывает непосредственное влияние на то, как воспринимается город и регион, в котором функционирует университет в масштабах всей страны. Одна из концепций направлена на благоустройство главного корпуса ВГЛТУ — трехэтажного здания, сооруженного в стиле Сталинский ампи́р (рис. 13).

Архитектуру главного корпуса подчеркивают симметричные посадки туи западной. От дороги

здание защищено плотной рядовой посадкой ели обыкновенной. Выход из главного корпуса и пешеходный переход к остановке разделяют вазоны с однолетними цветущими растениями (рис. 14).

В 7-м учебном корпусе университета расположены экономический и лесопромышленный факультеты. Для маршрута, соединяющего главный корпус ВГЛТУ и 7-й учебный корпус необходимо создание ландшафтно выразительной и комфортной зоны.



Рис. 9. Благоустройство защитного насаждения вдоль ул. Тимирязева в г. Воронеже
Fig. 9. Improvement of protective planting along Timiryazev Street

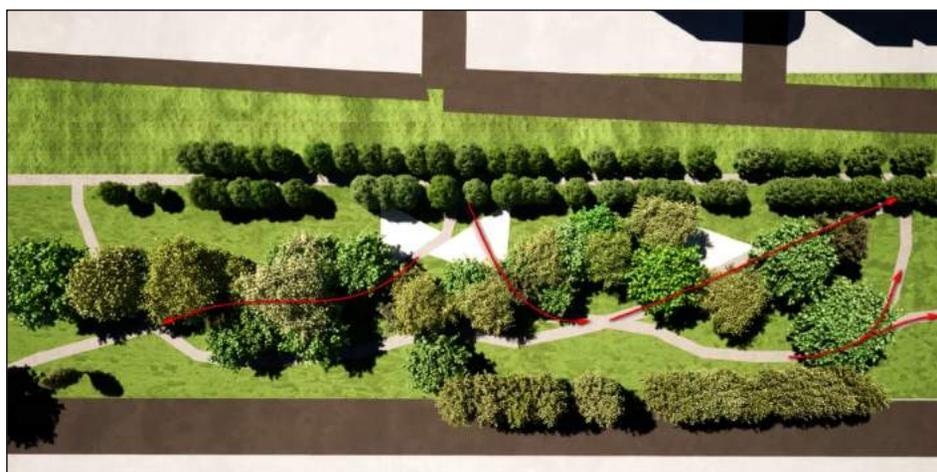


Рис. 10. Схема пешеходных маршрутов по ул. Тимирязева (концепция озеленения ВГЛТУ) в г. Воронеже
Fig. 10. Scheme of walking routes along Timiryazev street



Рис. 11. Площадка тихого отдыха (концепция озеленения ВГЛТУ)
Fig. 11. Quiet rest area (the concept of landscaping VSFEU)



Рис. 12. Зона тихого отдыха (концепция озеленения ВГЛТУ)
Fig. 12. Quiet zone (the concept of landscaping VSFEU)



Рис. 13. Ландшафтная архитектура главного корпуса ВГЛТУ (концепция озеленения ВГЛТУ)
Fig. 13. Landscape architecture of the university main building (the concept of landscaping VSFEU)



Рис. 14. Площадь перед главным корпусом ВГЛТУ (концепция озеленения ВГЛТУ)
Fig. 14. Square in front of the main university building (the concept of landscaping VSFEU)



Рис. 15. Благоустройство территории 7-го корпуса ВГЛТУ (концепция озеленения ВГЛТУ)
Fig. 15. Improvement of the territory of the 7th university building (the concept of landscaping VSFEU)



Рис. 16. План благоустройства парковки и восточной части кампуса ВГЛТУ (концепция озеленения ВГЛТУ)
Fig. 16. Plan for the improving the parking lot and the eastern part of the VGLTU campus (the concept of landscaping VSFEU)

Ландшафтные группы несут в себе эмоциональный эффект, поскольку наличие зеленых живых изгородей и отдельных растений придает маршруту передвижения особую комфортность (рис. 15).

В комплекс решаемых задач включена разработка благоустройства парковки, расположенной рядом с общежитиями. Парковка с системами освещения, дренажа и зелеными насаждениями

станет полноценным элементом ландшафтной архитектуры кампуса ВГЛТУ, пригодным для комфортного использования владельцами автотранспорта (рис. 16).

Рядовые посадки растений между парковочными местами уменьшают влияние пыли и выхлопных газов на воздушную среду. Ассортимент растений следует подбирать с учетом их декоративности и долговечности (рис. 17).



Рис. 17. Парковка на территории кампуса ВГЛТУ (концепция озеленения ВГЛТУ)
Fig. 17. Parking at the university campus (the concept of landscaping VSFEU)



Рис. 18. Структура системы озеленения территории кампуса ВГЛТУ осенью
 (http://vgltu.ru/images/17.12.20/img_20201017_102026_200_kopiya.jpg)
Fig. 18. The structure of the university campus landscaping system in autumn
 (http://vgltu.ru/images/17.12.20/img_20201017_102026_200_kopiya.jpg)

Структура системы озеленения территории кампуса ВГЛТУ в осенний период представлена на рис. 18, в зимний период — на рис. 19.

Инновационный ассортимент декоративных древесных растений, кустарников и уникальные цветочные композиции расположены по территории кампуса ВГЛТУ с учетом сезонности цветения и методических рекомендаций Tim Newbury [32].

В 1912 г. в Российской империи существовало два сельскохозяйственных института. На сегодняшний день только Российский госу-

дарственный аграрный университет — МСХА им. К.А. Тимирязева (РГАУ) старше Воронежского государственного аграрного университета имени Императора Петра I (ВГАУ) — бывшего Воронежского сельскохозяйственного института (ВСХИ). Здание ВСХИ было рассчитано на обучение 600 студентов. При сооружении здания было принято решение о строительстве домово-вой церкви, а также квартир для проживания профессоров, ассистентов, лаборантов и других сотрудников [33].



Рис. 19. Структура системы озеленения территории кампуса ВГЛТУ зимой
(https://i1.photo.2gis.com/images/branch/31/4362862179915580_4e8f.jpg)
Fig. 19. The structure of the university campus landscaping system in winter
(https://i1.photo.2gis.com/images/branch/31/4362862179915580_4e8f.jpg)

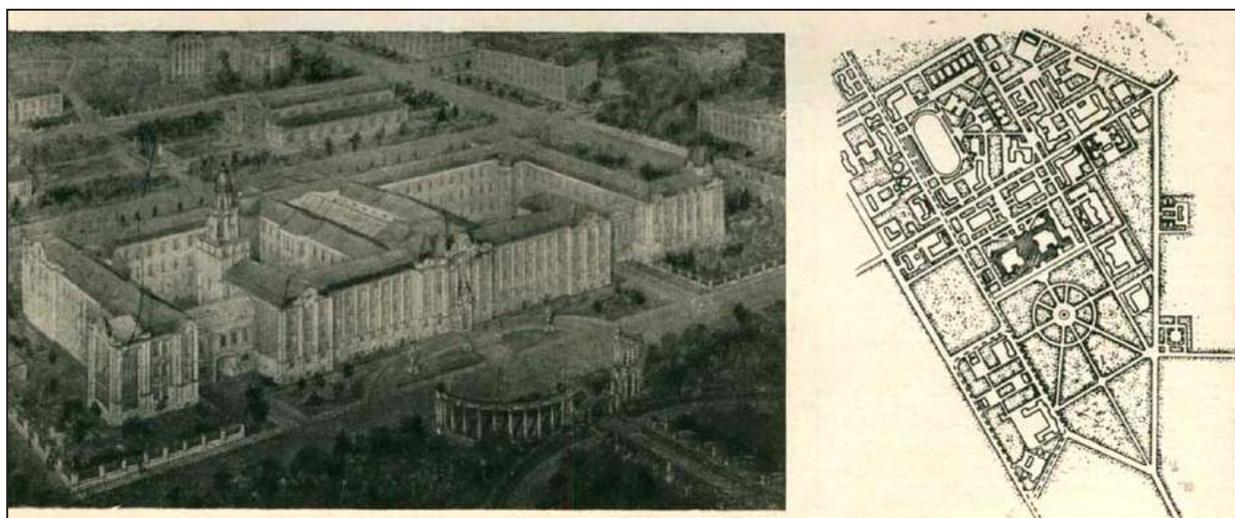


Рис. 20. Воронежский сельскохозяйственный институт. Перспектива и схема планировки учебного городка 1912 г.
(из фондов музея ВГАУ, <https://www.etoretro.ru/data/media/379/1486560423f07.jpg>)
Fig. 20. Voronezh Agricultural Institute. Perspective and layout plan of the campus in 1912
(<https://www.etoretro.ru/data/media/379/1486560423f07.jpg>)

Ректор ВСХИ профессор К.Д. Глинка в 1913 г. пригласил профессора Б.А. Келлера для работы в институте в качестве заведующего кафедрой ботаники. Ботанические сады в структуре университетов России предусматривались Уставом от 18 июня 1863 г. В общем Уставе Императорских Российских Университетов в 1884 г. также были предусмотрены ботанический сад и ботанический кабинет [34, 35]. Перспектива и схема планировки учебного городка ВСХИ (1912) представлена на рис. 20.

За период с момента основания ВСХИ в 1912 г. до настоящего времени произошли значительные изменения в планировочной структуре района расположения ВГАУ и ВГЛТУ (рис. 21).

В состав объектов ландшафтной архитектуры территории кампуса ВГАУ входят особо охраняемые природные территории. К таким объектам относятся Ботанический сад имени профессора Б.А. Келлера, сквер «Северный», Парк имени К.Д. Глинки. Проект реконструкции Ботанического сада имени профессора Б.А. Келлера выполнен в 2016 г. (рис. 22).



Рис. 21. Генеральный план планировочного района ВГАУ — ВГЛУ, 2020 г. (<https://vgltu.ru/>)

Fig. 21. General plan of the planning area VSAU–VSFEU, 2020 (<https://vgltu.ru/>)



Рис. 22. Ландшафтная архитектура территории кампуса ВГАУ (<https://nesiditsa.ru/wp-content/uploads/obrazovanie-870x726.jpg>)

Fig. 22. Landscape architecture of the Voronezh SAU campus (<https://nesiditsa.ru/wp-content/uploads/obrazovanie-870x726.jpg>)

Т а б л и ц а 3

Структура территории кампуса ВГАУ
The Voronezh State Agrarian University campus structure

Наименование объекта	Площадь, га	Наименование документа	Примечание
Ботанический сад	2,2	Свидетельство о государственной регистрации права от 23.05.2016 г.	Парковые композиции. Коллекции растений
Сквер «Северный»	1,86	То же	Коллекции растений. Аллеи посадки
Парк им. К.Д. Глинки	11,9	«←→»	Коллекции растений. Рядовые посадки
Южный городок	4,0	Свидетельство о государственной регистрации права	Коллекции растений. Юбилейная аллея
Комплекс зданий	*	Постановление Совета Министров РСФСР от 30.12.1960 г.	Коллекции растений. Цветочное оформление
*Комплекс зданий ВГАУ является объектом культурного наследия федерального значения «Комплекс зданий аграрного университета имени Императора Петра I».			

Наименования объектов, входящих в структуру территории кампуса ВГАУ, приведены в табл. 3.

Ландшафтные композиции, созданные на видовых местах территории кампуса ВГАУ выполнены с учетом показателей устойчивости среды [36] и рекомендаций Geoffrey Young [37]. Эколого-градостроительный анализ состояния зеленых насаждений на территории кампуса университета проведен с использованием показателей Н.В. Фирсовой [38].

Научно-образовательный комплекс университетских кампусов ВГЛТУ и ВГАУ по размеру

территории (площади кампуса) и количеству обучающихся соответствует макрокампусу мирового уровня.

Выводы

1. Научно-образовательные комплексы университетских кампусов мира и России по размеру территории (площади кампуса) и количеству обучающихся можно классифицировать на следующие виды:

- микрокампусы — до 1 тыс. обучающихся;
- миникампусы — 1...5 тыс. обучающихся;
- классические — 5...20 тыс. обучающихся;

– макрокампусы — 20...30 тыс. обучающихся;

– мегакампусы — 30...50 тыс. обучающихся;

2. Университетские кампусы мира и России, объединяющие несколько колледжей, могут быть распределены по территории городской застройки и создавать градостроительные кластеры, могут использоваться для территориального роста и развития на перспективу.

3. Состав проектной документации по озеленению, благоустройству и реконструкции территории Ботанического сада имени профессора Б.А. Келлера ВГАУ соответствует первоначальному проекту профессора Б.А. Келлера «Проект общего плана деятельности ботанического сада при Сельскохозяйственном институте Императора Петра I в г. Воронеже» и «Проекту реконструкции Ботанического сада имени профессора Б.А. Келлера» от 26.10.2016 г. (автор проекта профессор В.В. Кругляк), соответствует градостроительным регламентам по проектированию ботанических садов мира с учетом существующих региональных нормативов.

4. За 110-летний период существования кампуса ВГАУ (1912–2022), и 106-летний период существования Ботанического сада имени профессора Б.А. Келлера ВГАУ (1916–2022) их территориальная и планировочная структура, состав дендрологических и цветочных коллекций, ботанических и ландшафтных экспозиций, объем ежегодного финансирования, штатное расписание сотрудников и студентов претерпели существенные изменения и имели постоянную тенденцию к достижению лучших мировых стандартов в области образования.

5. Высокохудожественный архитектурный облик, наличие общественной зоны и особо охраняемых природных территорий в структуре кампуса будет способствовать большей привлекательности и функциональности территории. Правильный подбор адаптированного ассортимента древесных растений, кустарников и цветочных композиций усилят экологическую устойчивость, снизят уровень шумового, пылевого и канцерогенного загрязнений.

Список литературы

- [1] Кругляк В.В. Ландшафтное проектирование территории кампуса Воронежского ГАУ // Актуальные проблемы землеустройства, кадастра и природообустройства: материалы I международной научно-практической конференции факультета землеустройства и кадастров ВГАУ, 30 апреля 2019 г. Воронеж: Воронежский ГАУ, 2019. С. 182–185.
- [2] Кругляк В.В. Мировой опыт реконструкции ботанических садов на примере ботанического сада имени профессора Б.А. Келлера Воронежского ГАУ // Прошлое, настоящее ботанического сада им. проф. Б.А. Келлера и его роль в науке и образовании: материалы международной научно-практической конференции, г. Воронеж, 22 сентября 2016 г. Воронеж: Воронежский ГАУ, 2016. С. 113–121.
- [3] Кругляк В.В. Реконструкция ботанического сада имени профессора Б.А. Келлера Воронежского ГАУ имени императора Петра I // Вестник Мичуринского государственного аграрного университета, 2018. № 1. С. 8–15.
- [4] Гордиенко О.А., Балкушкин Р.Н. Особенности почв городских рекреационных территорий сухостепной природной зоны (на примере парка «Дружба») // Научно-агрономический журнал, 2022, № 3 (118). С. 86–93.
- [5] Ковязин В.Ф., Иванова Е.А. Почвенно-растительный комплекс парка «Дубки» Санкт-Петербурга // Известия Санкт-Петербургской лесотехнической академии, 2022. Вып. 238. С. 6–22.
- [6] Воронежская государственная лесотехническая академия. Воронеж: ИПФ «Воронеж», 2000. 240 с.
- [7] Шевченко В.Е., Филоненко С.И., Плаксин В.Н., Логунов В.И. Первый ВУЗ Центрального Черноземья России. К 90-летию Воронежского государственного аграрного университета им. К.Д. Глинки. Воронеж: Кварта, 2002. 512 с.
- [8] Кадастр особо охраняемых территорий Воронежской области / Под ред. О.П. Негрובה. Воронеж: Воронежский государственный университет, 2001. 146 с.
- [9] Биоразнообразие города Воронежа / Под ред. О.П. Негрובה. Воронеж: Воронежский государственный университет, 2004. 98 с.
- [10] Пучков М.В. Архитектура университетских комплексов. Екатеринбург: Изд-во УрФУ, 2011. 200 с.
- [11] Методика системных исследований лесоаграрных ландшафтов. М.: Изд-во ВАСХНИЛ, 1985. 112 с.
- [12] Растения Красной книги России в коллекциях ботанических садов и дендрариев. М.: Изд-во ГБС РАН; Тула: ИПШ «Гриф и К», 2005. 144 с.
- [13] Шустов М.В., Швецов А.Н. Растения природной флоры России в Главном ботаническом саду им. Н.В. Цицина РАН: изучение, сохранение, экспонирование // Бюллетень Главного ботанического сада, 2019. № 4. С. 3–6.
- [14] Дворяковская В.М. Редкие растения флоры Российской Дальнего Востока в Главном ботаническом саду им. Н.В. Цицина РАН // Бюллетень Главного ботанического сада, 2019. № 3. С. 3–14.
- [15] Соколова Т.А., Бочкова И.Ю. Декоративное растениеводство. М.: Академия, 2004. 432 с.
- [16] ГОСТ 25769–83. Саженцы деревьев хвойных пород для озеленения городов. Технические условия от 23 июня 2009 г. М.: Росстандарт, 2009. 10 с.
- [17] ГОСТ 28329–89. Озеленение городов. Термины и определения. М.: Изд. Стандартов, 1990. 13 с.
- [18] Правила создания, содержания и охраны зеленых насаждений города Москвы. М.: Департамент природопользования и охраны окружающей среды, 2002. 140 с.
- [19] Инструкция по проведению инвентаризации и паспортизации городских озелененных территорий. М.: Прима М, 2002. 23 с.
- [20] Машкин С.И. Дендрология Центрального Черноземья. Систематика, кариология, география, генезис, экология и использование местных и интродуцированных деревьев и кустарников. Воронеж: Воронежский государственный университет, 1971. 344 с.
- [21] Дегтярева А.П. Сосна обыкновенная в изменяющихся климатических условиях Центрального Черноземья // Бюллетень Государственного Никитского ботанического сада, 2022. Вып. 144. С. 14–18.
- [22] Карпун Ю.Н. Декоративная дендрология Северного Кавказа. СПб.: Инновационный центр защиты растений, 2006. 392 с.

- [23] Лазарев С.Е. Формовое разнообразие и декоративные свойства представителей рода *Robinia* в условиях сухой степи // Научно-агрономический журнал, 2020. № 2 (109). С. 42–50.
- [24] Кругляк В.В., Гурьева Е.И. Древодводство. Воронеж: ВГЛТА, 2011. 144 с.
- [25] Теодоронский В.С., Авсиевич Н.А., Фролова В.А., Якубов Х.Г. О качественном и количественном аспектах оценки состояния растений в городских зеленых насаждениях // Экология большого города. Проблемы содержания зеленых насаждений в условиях Москвы. Вып. 4. М.: Прима-Пресс-М, 2000. С. 29–37.
- [26] Бубнова А.Б., Вагизов М.Р., Двадцатова Т.В., Крюковский А.С., Мельничук И.А. Применение беспилотных летательных аппаратов и наземных методов исследований для изучения изменения видового состава газонов в различных экологических условиях при воздействии рекреационной нагрузки (на примере Обуховского сквера, Санкт-Петербург) // Известия Санкт-Петербургской лесотехнической академии, 2022. Вып. 240. С. 64–83.
- [27] Теодоронский В.С., Жеребцова Г.П. Озеленение населенных мест. Градостроительные основы. М.: Академия, 2010. 256 с.
- [28] Фатиев М.М. Строительство городских объектов озеленения. М.: Форум, 2012. 204 с.
- [29] Онегин В.И. Санкт-Петербургская Лесотехническая академия (исторический очерк) // Известия Санкт-Петербургской Лесотехнической академии: Сборник трудов. СПб.: ЛТА, 1993. 240 с.
- [30] Сердюк О.В. Московский университет второй половины 18 в. как государственное учреждение. Преподавательская служба. М.: Спутник+, 2012. 186 с.
- [31] Воронежская государственная лесотехническая академия: 80 лет / Под ред. В.М. Бугакова. Воронеж: Изд. Дом «Кварта», 2010. 336 с.
- [32] Newbury T. The Ultimate Garden designer Word Lusk. London: Ward Lock ; New York, NY : Distributed in the U.S. by Sterling Pub. Co., 1995, p. 256.
- [33] Первый вуз Центрального Черноземья России: первые 100 лет / Под ред. В.И. Котарева. Воронеж: Кварта, 2012. 528 с.
- [34] Кругляк В.В. Ботанические сады и дендропарки ЦЧЭР России // Вестник ИРГСХА, 2011. Вып. 44. С. 99–106.
- [35] Головнев И.И., Плугатарь Ю.В., Корженевский В.В., Головнева Е.Е. Растительные сообщества парка «Гурзуфский» на градиентах факторов среды // Бюллетень Государственного Никитского ботанического сада, 2021. Вып. 141. С. 7–15.
- [36] Нефедов В.А. Ландшафтный дизайн и устойчивость среды. СПб.: Полиграфист, 2002. 295 с.
- [37] Young G. Walking Londons parks and gardens.. London (UK): New Holland Publishers, 1998, p. 222.
- [38] Фирсова Н.В. Эколого-градостроительный анализ состояния зеленых насаждений Воронежа // Проблемы озеленения крупных городов, 2005. Вып. 11. С. 69–71.

Сведения об авторах

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

Барруху Сабина Фуадовна — студентка ФГБОУ ВО «Воронежский государственный лесотехнический университет имени Г.Ф. Морозова», barruhu.sabina@yandex.ru

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

Поступила в редакцию 14.11.2022.

Одобрено после рецензирования 10.01.2023.

Принята к публикации 31.01.2023.

UNIVERSITY CAMPUS LANDSCAPE ARCHITECTURE

V.V. Kruglyak^{1✉}, S.F. Barruhu², A.V. Tsaregorodtsev²

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

²Voronezh State University of Forestry and Technologies named after G.F. Morozov, 8, Timiryazeva st., 39408, Voronezh, Russia

kruglyak_vl@mail.ru

The provision on the implementation of the project to create an innovative educational environment of campuses is presented. Definitions for a campus, college, science and education complex, science and education center were outlined. The criteria for selecting projects for the creation of world-class university campuses are characterized. Data on the best campuses of universities in the world are given. The list of the best Russian university campuses has been analyzed. Functional zones have been identified on the campus of the Moscow State University. The concept of landscape organization of the Voronezh State Forest Engineering University campus territory is recommended. The structure of the campus territory of the Voronezh State Agrarian University is determined. The types of scientific and educational complexes of university campuses of the world and Russia are established by the size of the territory (campus area) and the number of students.

Keywords: landscape architecture, campus, flower decoration, botanical garden

Suggested citation: Kruglyak V.V., Barruhu S.F., Tsaregorodtsev A.V. *Landshaftnaya arhitektura territorii kampusov universitetov* [University campus landscape architecture]. *Lesnoy vestnik / Forestry Bulletin*, 2023, vol. 27, no. 2, pp. 128–145. DOI: 10.18698/2542-1468-2023-2-128-145

References

- [1] Kruglyak V.V. *Landshaftnoe proektirovanie territorii kampusa Voronezhskogo GAU* [Landscape design of the campus of the Voronezh State Agrarian University]. Aktual'nye problemy zemleustroystva, kadastra i prirodoobustroystva: materialy I mezhdunarodnoy nauchno-prakticheskoy konferentsii fakul'teta zemleustroystva i kadastrav VGU [Actual problems of land management, cadastre and environmental management: materials of the I International Scientific and Practical Conference of the Faculty of Land Management and Cadastre of Voronezh State Agrarian University], 30 April 2019. Voronezh: Voronezh State Agrarian University, 2019, pp. 182–185.
- [2] Kruglyak V.V. *Mirovoy opyt rekonstruktsii botanicheskikh sadov na primere botanicheskogo sada imeni professora B.A. Kellera Voronezhskogo GAU* [World experience in the reconstruction of botanical gardens on the example of the botanical garden named after Professor B.A. Keller of the Voronezh State Agrarian University]. Proshloe, nastoyashchee botanicheskogo sada im. prof. B.A. Kellera i ego rol' v nauke i obrazovanii: materialy mezhdunarodnoy nauchno-prakticheskoy konferentsii [Past, Present of the Botanical Garden. prof. B.A. Keller and his role in science and education: materials of the international scientific and practical conference], Voronezh, 22 September 2016. Voronezh: Voronezh State Agrarian University, 2016, pp. 113–121.
- [3] Kruglyak V.V. *Rekonstruktsiya botanicheskogo sada imeni professora B.A. Kellera Voronezhskogo GAU imeni imperatora Petra I* [Reconstruction of the Botanical Garden named after Professor B.A. Keller of the Voronezh State Agrarian University named after Emperor Peter I]. Vestnik Michurinskogo gosudarstvennogo agrarnogo universiteta [Bulletin of the Michurinsky State Agrarian University], 2018, no. 1, pp. 8–15.
- [4] Gordienko O.A., Balkushkin R.N. *Osobennosti pochv gorodskikh rekreatsionnykh territoriy sukhostepnoy prirodnoy zony (na primere parka «Druzhba»)* [Soil characteristics of urban recreational areas of the dry steppe natural zone (on the example of the Druzhba park)]. Nauchno-agronomicheskii zhurnal [Scientific and Agronomic J.], 2022, no. 3 (118), pp. 86–93.
- [5] Kovyazin V.F., Ivanova E.A. *Pochvenno-rastitel'nyy kompleks parka «Dubki» Sankt-Peterburga* [Soil and plant complex of the park «Dubki» of St. Petersburg]. Izvestiya Sankt-Peterburgskoy lesotekhnicheskoy akademii [Proceedings of the St. Petersburg Forestry Academy], 2022, iss. 238, pp. 6–22.
- [6] *Voronezhskaya gosudarstvennaya lesotekhnicheskaya akademiya* [Voronezh State Forest Engineering Academy]. Voronezh: IPF «Voronezh», 2000, 240 p.
- [7] Shevchenko V.E., Filonenko S.I., Plaksin V.N., Logunov V.I. *Pervyy VUZ Tsentral'nogo Chernozem'ya Rossii. K 90-letiyu Voronezhskogo gosudarstvennogo agrarnogo universiteta im. K.D. Glinki* [The first university of the Central Chernozem region of Russia. To the 90th anniversary of the Voronezh State Agrarian University named after V.I. K.D. Glinka]. Voronezh: Kvarta, 2002, 512 p.
- [8] *Kadastr osobo okhranyaemykh territoriy Voronezhskoy oblasti* [Cadastre of Specially Protected Areas of the Voronezh Region]. Ed. O.P. Negrobov. Voronezh: Voronezh State University, 2001, 146 p.
- [9] *Bioraznoolivnaya goroda Voronezha* [Biodiversity of the city of Voronezh]. Ed. O.P. Negrobov. Voronezh: Voronezh State University, 2004, 98 p.
- [10] Puchkov M.V. [Architecture of university complexes]. Yekaterinburg: Publishing House of UrFU, 2011, 200 p.
- [11] *Metodika sistemnykh issledovaniy lesoagrarnykh landshaftov* [Methodology for systemic studies of forest agricultural landscapes]. Moscow: VASKHNIL, 1985, 112 p.
- [12] *Rasteniya Krasnoy knigi Rossii v kollektsiyakh botanicheskikh sadov i dendrariyev* [Plants of the Red Book of Russia in the collections of botanical gardens and arboretums]. Moscow: GBS RAS; Tula: IPP «Grif and K», 2005, 144 p.
- [13] Shustov M.V., Shvetsov A.N. *Rasteniya prirodnoy flory Rossii v Glavnom botanicheskom sadu im. N.V. Tsitsina RAN: izucheniye, sokhraneniye, eksponirovaniye* [Plants of the natural flora of Russia in the Main Botanical Garden. N.V. Tsitsina RAS: study, conservation, exposure]. Byulleten' Glavnogo botanicheskogo sada [Bulletin of the Main Botanical Garden], 2019, no. 4, pp. 3–6.
- [14] Dvorakovskaya V.M. *Redkie rasteniya flory Rossiyskogo Dal'nego Vostoka v Glavnom botanicheskom sadu im. N.V. Tsitsina RAN* [Rare plants of the flora of the Russian Far East in the Main Botanical Garden. N.V. Tsitsina RAS]. Byulleten' Glavnogo botanicheskogo sada [Bulletin of the Main Botanical Garden], 2019, no. 3, pp. 3–14.
- [15] Sokolova T.A., Bochkova I.Yu. *Dekorativnoye rastenievodstvo: Tsvetovodstvo* [Ornamental plant growing: Floriculture]. Moscow: Academy, 2004, 432 p.
- [16] GOST 25769–83 *Sazhentsy derev'ev khvoynnykh porod dlya ozeleneniya gorodov* [Saplings of coniferous trees for landscaping cities]. Moscow: Rosstandart, 2009, 10 p.
- [17] GOST 28329–89 *Ozeleneniye gorodov. Terminy i opredeleniya* [Greening of cities. Terms and Definitions]. Moscow: Ed. Standards, 1990, 13 p.
- [18] *Pravila sozdaniya, soderzhaniya i okhrany zelenykh nasazhdeniy goroda Moskvy* [Rules for the creation, maintenance and protection of green spaces in the city of Moscow]. Moscow: Department of Nature Management and Environmental Protection, 2002, 140 p.
- [19] *Instruktsiya po provedeniyu inventarizatsii i pasportizatsii gorodskikh ozelenennykh territoriy* [Instructions for inventory and certification of urban green areas]. Moscow: Prima M, 2002, 23 p.
- [20] Mashkin S.I. *Dendrologiya Tsentral'nogo Chernozem'ya. Sistematika, kariologiya, geografiya, genezis, ekologiya i ispol'zovanie mestnykh i introdutsirovannykh derev'ev i kustarnikov* [Dendrology of the Central Black Earth Region. Taxonomy, karyology, geography, genesis, ecology and the use of native and introduced trees and shrubs]. Voronezh: Voronezh State University, 1971, 344 p.
- [21] Degtyareva A.P. *Sosna obyknovennaya v izmenyayushchikhsya klimaticheskikh usloviyakh Tsentral'nogo Chernozem'ya* [Scotch pine in the changing climatic conditions of the Central Black Earth Region]. Byulleten' Gosudarstvennogo Nikitskogo botanicheskogo sada [Bulletin of the State Nikitsky Botanical Garden], 2022, iss. 144, pp. 14–18.
- [22] Karpun Yu.N. *Dekorativnaya dendrologiya Severnogo Kavkaza* [Decorative dendrology of the North Caucasus]. St. Petersburg: Innovation center for plant protection, 2006, 392 p.

- [23] Lazarev S.E. *Formovoe raznoobrazie i dekorativnye svoystva predstaviteley roda Robinia v usloviyakh sukhoy stepi* [Form diversity and decorative properties of representatives of the genus Robinia in the conditions of the dry steppe]. *Nauchno-agronomicheskii zhurnal* [Scientific and agronomic journal], 2020, no. 2 (109), pp. 42–50.
- [24] Kruglyak V.V., Gur'eva E.I. *Drevovodstvo* [Tree breeding]. Voronezh: VGLTA, 2011, 144 p.
- [25] Teodoronskiy V.S., Avsievich N.A., Frolova V.A., Yakubov Kh.G. *O kachestvennom i kolichestvennom aspektakh otsenki sostoyaniya rasteniy v gorodskikh zelenykh nasazhdeniyakh* [About the qualitative and quantitative aspects of assessing the state of plants in urban green areas]. *Ekologiya bol'shogo goroda. Problemy sodержaniya zelenykh nasazhdeniy v usloviyakh Moskvy* [Ecology of a big city. Problems of maintenance of green spaces in Moscow]. Moscow: Prima-Press-M, 2000, iss. 4, pp. 29–37.
- [26] Bubnova A.B., Vagizov M.R., Dvadtatova T.V., Kryukovskiy A.S., Mel'nichuk I.A. *Primenenie bespilotnykh letatel'nykh apparatov i nazemnykh metodov issledovaniy dlya izucheniya izmeneniya vidovogo sostava gazonov v razlichnykh ekologicheskikh usloviyakh pri vozdeystvii rekreatsionnoy nagruzki (na primere Obukhovskogo skvera, Sankt-Peterburg)* [The use of unmanned aerial vehicles and ground-based research methods to study changes in the species composition of lawns under various environmental conditions under the influence of recreational load (on the example of Obukhovsky public garden, St. Petersburg)]. *Izvestiya Sankt-Peterburgskoy lesotekhnicheskoy akademii* [News of the St. Petersburg Forestry Academy], 2022, iss. 240, pp. 64–83.
- [27] Teodoronskiy V.S., Zhrebtsova G.P. *Ozelenenie naselennykh mest. Gradostroitel'nye osnovy* [Greening populated areas. Town building foundations]. Moscow: Academy, 2010, 256 p.
- [28] Fatiev M.M. *Stroitel'stvo gorodskikh ob'ektov ozeleneniya* [Construction of urban landscaping facilities]. Moscow: Forum, 2012, 204 p.
- [29] Onegin V.I. *Sankt-Peterburgskaya Lesotekhnicheskaya akademiya (istoricheskiy ocherk)* [Petersburg Forestry Engineering Academy (historical essay)]. *Izvestiya Sankt-Peterburgskoy Lesotekhnicheskoy akademii: Sbornik trudov* [Proceedings of the St. Petersburg Forestry Engineering Academy: Collection of Works]. St. Petersburg: LTA, 1993, 240 p.
- [30] Serdyutskaya O.V. *Moskovskiy universitet vtoroy poloviny 18 v. kak gosudarstvennoe uchrezhdenie. Prepodavatel'skaya sluzhba* [Moscow University in the second half of the 18th century. as a government agency. Teaching service]. Moscow: Sputnik+, 2012, 186 p.
- [31] *Voronezhskaya gosudarstvennaya lesotekhnicheskaya akademiya: 80 let* [Voronezh State Forest Engineering Academy: 80 Years]. Ed. V.M. Bugakov. Voronezh: Ed. House «Kvarta», 2010, 336 p.
- [32] Newbury T. *The Ultimate Garden designer* Word Losk. London: Ward Lock ; New York, NY : Distributed in the U.S. by Sterling Pub. Co., 1995, p. 256.
- [33] *Pervyy vuz Tsentral'nogo Chernozem'ya Rossii: pervye 100 let* [The first university of the Central Chernozem region of Russia: the first 100 years]. Ed. V.I. Kotarev. Voronezh: Quarta, 2012, 528 p.
- [34] Kruglyak V.V. *Botanicheskie sady i dendroparki TsChER Rossii* [Botanical gardens and arboreta of the CChER of Russia]. *Vestnik IrGSKhA* [Bulletin of the IrGSHA], 2011, iss. 44, pp. 99–106.
- [35] Golovnev I.I., Plugatar' Yu.V., Korzhenevskiy V.V., Golovneva E.E. *Rastitel'nye soobshchestva parka «Gurzufskiy» na gradientakh faktorov sredey* [Plant communities of the Gurzufsky park on the gradients of environmental factors]. *Byulleten' Gosudarstvennogo Nikitskogo botanicheskogo sada* [Bulletin of the State Nikitsky Botanical Garden], 2021, iss. 141, pp. 7–15.
- [36] Nefedov V.A. *Landshaftnyy dizayn i ustoychivost' sredey* [Landscape design and sustainability of the environment]. St. Petersburg: Polygraphist, 2002, 295 p.
- [37] Young G. *Walking Londons parks and gardens*. London (UK): New Holland Publishers, 1998, p. 222.
- [38] Firsova N.V. *Ekologo-gradostroitel'nyy analiz sostoyaniya zelenykh nasazhdeniy Voronezha* [Environmental and urban planning analysis of the state of green plantations Voronezh]. *Problemy ozeleneniya krupnykh gorodov* [Problems landscaping large cities]. Moscow: Prima-M, 2005, v. 11, pp. 69–71.

Authors' information

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

Barrukhu Sabina Fuadovna — student of the Voronezh State University of Forestry and Technologies named after G.F. Morozov, barruhu.sabina@yandex.ru

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

Received 14.11.2022.

Approved after review 10.01.2023.

Accepted for publication 31.01.2023.

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

ЦВЕТ В ОБЪЕКТАХ САДОВО-ПАРКОВОГО ИСКУССТВА КАК СРЕДСТВО СОЗДАНИЯ ВЫРАЗИТЕЛЬНОГО ОБЩЕСТВЕННОГО ПРОСТРАНСТВА

О.И. Васильева[✉], А.Н. Васильев

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
v.olgai@yandex.ru

Рассмотрены важнейшее значение цвета в садово-парковом искусстве как инструмента гармонизации пространственной структуры общественных территорий и особенности его применения. Проанализирован опыт выдающихся мастеров прошлого и современных. Рассмотрены композиционные принципы взаимодействия компонентов пространства с использованием цвета и света, климата, формы, материала, фактуры, растительности. Охарактеризованы актуальные методы применения цвета на практике — от смысловой составляющей до колористического решения в виде контраста и нюанса как средства выразительности. Проведено исследование психологического и физиологического воздействия цветовой палитры на органы чувств человека. Даны рекомендации по созданию комфортного выразительного общественного пространства посредством грамотного применения цвета как искусства и науки. Таким образом, воссоздаются правильные научно-обоснованные цветовые гармонии и ландшафтно-визуальное проектирование объектов.

Ключевые слова: садово-парковое искусство, пространство, цвет, палитра, колористика, форма, композиция

Ссылка для цитирования: Васильева О.И., Васильев А.Н. Цвет в объектах садово-паркового искусства как средство создания выразительного общественного пространства // Лесной вестник / Forestry Bulletin, 2023. Т. 27. № 2. С. 146–157. DOI: 10.18698/2542-1468-2023-2-146-157

*«Краски, скрытые в окружающем пейзаже
и придающие ему загадочную атмосферу.
Прелестные цвета, затрагивающие душу...»*

Наоми Куно

Окружающая среда состоит из палитры многочисленных красок, поэтому важно грамотно использовать цвет как средство выразительности в объектах садово-паркового искусства. «Сознательное исследование сохранившихся в памяти цветных образов помогает оценить силу воздействия каждого цвета и является одновременно приятным и полезным опытом с точки зрения практической работы с ним» [1, с. 2]. «В наше время актуально целенаправленное использование цвета в составлении композиции проектной палитры парков, площадей и цветников городских территорий, что обусловлено изменениями эстетических предпочтений людей и развитием технологий» [2, с. 34]. Колорит паркового пейзажа, сада складывается из цветовой окраски растений, покрытий, малых архитектурных форм, сооружений, мощения. Влияние цвета дает нам возможность выявить основные композиционные центры, ритмические ряды, контраст и нюанс в «объектах визуального восприятия в их совокупности: городские площади, магистрали и

улицы, межселенные территории, озелененные и природные территории, предназначенные для отдыха населения» [3, с. 9].

Цель работы

Цель работы — развитие образного видения цвета в элементах окружающей среды, формирование колористики объектов садово-паркового искусства.

Материалы и методы

Для того чтобы выработать умение использовать цветовые гармонии и композиционные приемы в ландшафтном проектировании, следует обращаться к опыту выдающихся мастеров прошлых эпох и современности, чтобы «создавать собственные палитры» [4, с. 8]. Живопись и садово-парковое искусство взаимосвязаны с древнейших времен. Связь выражалась в стремлении живописцев запечатлеть существующие, представляющие интерес, сады и парки. В них выявлены не только общие решения композиции паркового пространства, но и отдельные пейзажные мотивы [5]. «Живописное изображение

учитывает фон, окружение, освещенность. И Ле Корбюзье считал, что цвет имеет ценность только в связи с окружением» [6, с. 29]. Парковая тематика прослеживается и в романтических пейзажах Сильвестра Щедрина, где просматривается связь архитектурной композиции с семантической основой парка (рис. 1), а также в полотнах В.А. Серова, К.А. Коровина, А.Н. Бенуа, И.И. Левитана. Садовую традицию русских живописцев поддержал Клод Моне, создав «импрессионистические мотивы в изображениях своего собственного сада с кувшинками, ивами и экзотическими растениями в Живерни» [7, с. 10] (рис. 2).

Законы художественной колористики в садово-парковом искусстве ввела Гертруда Джекилл. Гармония цвета в саду — феномен XX века. «В 1908 г. Джекилл опубликовала свою книгу «Как подбирать цвета в саду». Там она делает вывод, что не так уж просто создать удачную композицию цветов» [8, с. 7]. Джекилл спланировала специальный сад с чередованием оранжевого, серого, золотого, синего и зеленого участков. Как художник и архитектор в одном лице, она указала на важность выбора цвета в объектах сада. Палитра цветов дает возможность увидеть содержание, смысл концепции. Посадочный план градиентного миксбордера представлен на рис. 3. [8, 9].

Значительное влияние на выбор цветовой гаммы при проектировании объектов оказывает климат. В странах с жарким климатом используется нюанс, ахроматические или холодные цвета. Соответственно, в странах с холодным климатом используется контраст, теплая цветовая палитра. В 1970 г. Роберту Бурле Маркс использовал тему волн, в частности, за счет контрастного цвета в рисунке мощения на пляже Копакабана в Рио-де-Жанейро смог выразить движение и показать заданную тему (рис. 4). Привлекают внимание ландшафтные композиции Бурле Маркса, близкие абстрактной живописи Жоана Миро-и-Ферра. Влияние художника просматривается в абстрактной планировке, цветовой подаче, рисунке мощения и характере посадок.

Контраст и нюанс являются одними из наиболее используемых средств выразительности в живописи, которые охватывают различные уровни организации картинной плоскости: от смысловой составляющей до колористического решения. Это можно увидеть и в объектах садово-паркового искусства, например «Лабиринт кактусов» резиденции семьи Дэвис в Эль-Пасо, Техас, созданный дизайнером Мартой Шварц. За счет использования активного цвета стен сад выглядит выразительно и ярко. В саду использованы яркие, контрастные цвета: красный, пурпурный, фиолетовый, оранжевый, голубой и др. (рис. 5).



Рис. 1. Романтический пейзаж. С. Щедрин



Рис. 2. Сад в Живерни. Клод Моне

«Комфортным местом для отдыха является то пространство, где получаешь заряд вдохновения, где цвета, линии, формы ландшафтного пространства гармоничны и вызывают душевный отклик независимо от настроения человека» [2, с. 36]. Иоганнес Иттен считал, что звук придает сказанному слову свое сияние, а цвет придает форме особую одухотворенность [10]. Композиционные приемы использования цвета можно увидеть и в современных объектах ландшафтной архитектуры на примере парка «Суперкилен» в Копенгагене [11] (рис. 6). В спроектированном активном пространстве читается непринужденность и динамика форм, выраженная в гармоничном сочетании воздуха и сияющего цвета мощения. Необычность проектного решения демонстрирует новые композиционные принципы взаимодействия компонентов пространства с использованием цветовой гармонии. «Детали структуры, цвета, текстуры и света важны не только для придания богатства, разнообразия и сложности оживленному восприятию ландшафта, но и для придания простоты и целостности, чтобы объединить впечатления» [12, с. 192].

Проектирование растений является специальной дисциплиной в ландшафтной архитектуре и одним из методов архитектурного творчества. Растительность используется не только как основное средство по экологическим причинам, оказывая влияние на хроматические составляющие природного ландшафта и разграничивая пространство, но и для создания композиционных колористических эффектов в ландшафте. Очень часто именно расцветка листьев и цветов определяет характер сада. «На него влияет и местоположение сада: цвет местной почвы, гравия, камня или кирпича, а также то, куда падает солнце по утрам или вечером и сколько в саду тенистых мест» [13, с. 26].

Цвет оказывает на человека как психологическое, так и физиологическое воздействие. Известную роль в этом эмоциональном воздействии цветов играют и ассоциации [14]. Поэтому цветовые композиции следует рассматривать как абстрактный элемент дизайна. «Ваша палитра — весь мир» [15, с. 2]. Многообразие красок окружающего мира всегда поражало воображение человека. Естествоиспытатели прошлых веков, восхищаясь палитрой природы, стремились систематизировать ее оттенки. Цвета окружающего пространства сохраняются в памяти. Возникает необходимость приучить себя замечать важные детали и цвета, из которых складывается окружение [16, 17]. Обдуманное применение цвета на практике является необходимым в создании гармоничного пространства. Например, «зеленый цвет является нейтральным между теплыми и холодными тонами. Это цвет физического равновесия, который успокаивает, снимает напряжение» [18, с. 6]. В зеленой части спектра наибольшее количество оттенков. Колористика, опираясь на физические основы теории цвета, определяется как наука о цвете. Цветовое проектирование является основой цветового совершенства ландшафтного искусства и окружающей человека среды [19, с. 4]. Чтобы сад стал истинным раем, как отметила Виктория Финли [20], при создании пространственной композиции сада, парка важно использовать цветовой ритм элементов, под который посетитель непринужденно подстраивается. При этом в восточном искусстве, например, предпочтение отдается в основном одноцветности. Знание законов светотени и цвета не только дает возможность проектировать выразительные формы в пространстве, но и позволяет создать настроение, образ пространства по времени года. Летом при солнечном освещении можно бесконечно восхищаться «динамичными» тенями от деревьев. В осенний период вызывают восхищение насыщенные краски кроны деревьев и кустарни-



Рис. 5. «Лабиринт кактусов». Эль-Пасо. Техас.
Автор дизайна: Марта Шварц



Рис. 6. Парк «Суперкилен». Копенгаген

ков. При выборе палитры малых архитектурных форм (МАФ) и растительности особое внимание уделяется сочетанию текстур и окрасок в гармонии с размером пространства. Если использовать насыщенный цвет в отдалении, то он будет сокращать пространство и, наоборот, цвета прозрачные, гармонично сочетающиеся с дальним планом, увеличивают пространство. Высказывания Леонардо да Винчи о подаче цвета растительных форм актуально и сегодня в развитии дизайнерской концепции проекта «... При композиции покрытых листвою деревьев следует остерегаться повторять слишком много раз тот же самый цвет одного растения выступающим на фоне того же самого цвета другого растения; но всегда разнообразь их более светлой, ибо более темной, или более зеленой зеленью» [21, с. 237].

Одним из наиболее востребованных проектных решений для создания комфортного обще-

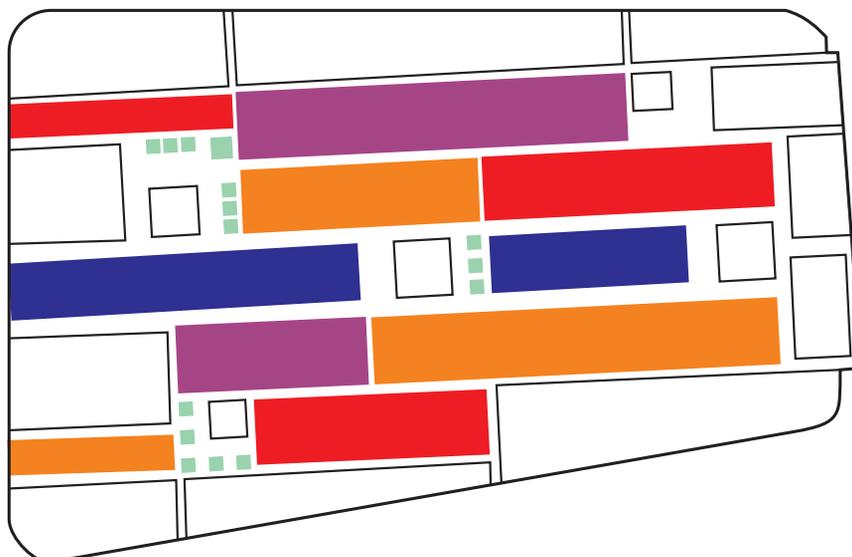


Рис. 7. Цветник «Большая картина полей» («Поля Кандинского»). ВДНХ. Москва



Рис. 8. Японский сад «Шесть чувств». Автор дизайна: Широ Накане. Санаторий «Айвазовское». Республика Крым

ственного пространства является водоем. Визуализация неподвижной водной глади и отражение в ней МАФ и растительных форм, цвета неба благоприятно и позитивно воздействует на психику человека. «Неправда, что вода бесцветна. Она как зеркало отражает все краски смотрящегося в нее мира» [22, с. 40]. В стоячей воде отражения почти зеркальны, но они как бы подернуты дымкой. Эстетическую ценность в проектировании выразительного пространства представляют композиции из камня в сочетании с растительностью. Форму и цвет элементов подбирают таким образом, чтобы подчеркнуть выразительность

каждого. С камнями прекрасно сочетаются хвойные породы растительных форм, такие как можжевельник, сосна, пихта. В данных композициях цвет связан с материалом и фактурой, создающие неразрывное единство формы и цвета [23], где гармоничные сочетания и взаимодействие элементов при визуальном восприятии, осязании положительно влияют на настроение человека. Для ландшафтного архитектора вопросы физиологических реакций человека на сочетания и спектральные цвета актуальны, так как тем или иным образом влияют на функциональные системы человека.

Сады и парки, являющиеся элементами современного города, «оказывают положительное воздействие на человека, создавая экологически и эстетически комфортную среду» [24, с. 125]. Цветовая палитра современных проектов ландшафтных архитекторов яркая, контрастная, динамичная. В качестве примера на сегодняшний день использования цвета как одного из средств создания выразительного общественного пространства являются часть Ландшафтного парка ВДНХ — цветник «Большая картина полей», или «Поля Кандинского», созданного в 2020 г. (рис. 7) и японский сад «Шесть чувств» в Крыму (рис. 8): буйство цвета и текстур наполняет сад, каждая деталь сада наполнена глубинным смыслом, соотносится с японской философией и несет гармонию [25]. Японский сад «Шесть чувств» создан в 2018 г. ландшафтным архитектором Широ Накане.

Выводы

Практическое применение цвета в садово-парковом искусстве является одним из главных инструментов, способным гармонизировать пространственную структуру общественных территорий, поэтому крайне важно развивать навыки видения и практического применения цвета, руководствуясь творческими методами прошлого и современными, учитывая актуальные тенденции.

Список литературы

- [1] Куно Н. Сочетание цветов на практике / Пер. с японского П.А. Самсонова. Минск: Попурри, 2020. 304 с.
- [2] Васильева О.И., Бочкова И.Ю. Цвет как средство выразительности в архитектурно-ландшафтной композиции // Сб. докл. III Междунар. науч.-практ. конф. Устойчивое развитие территорий. М.: Изд-во МИСИ-МГСУ, 2021. С. 34–38.
- [3] Теодоронский В.С., Боговая И.О. Объекты ландшафтной архитектуры. М.: МГУЛ, 2003. 300 с.
- [4] Ратковски Н. Нарисуй свой сад. Вдохновляющие техники ботанического рисунка. М.: Бомбора, 2021. 208 с.
- [5] Дормидонтова В.В. История садово-парковых стилей. М.: Архитектура-С, 2004. 208 с.
- [6] Панкисен Г.И. Живопись. Форма, цвет, изображение. М.: Академия, 2008. 44 с.
- [7] Васильева О.И. Сады и парки в изобразительном искусстве // Вестник ландшафтной архитектуры, 2017. Вып. 9. С. 7–13.
- [8] Нордхейс К.Т. Дизайн сада. М.: Лабиринт Пресс, 2002. 144 с.
- [9] Джелико Д., Джелико С. Ландшафт человека. М.: Перо, 2014. 400 с.
- [10] Иттен И. Искусство цвета. М.: Издатель Дмитрий Аронов, 2011. 95 с.
- [11] Общественное пространство «Суперкилен». URL: <https://archi.ru/projects/world/7843/obschestvennoe-prostranstvo-superkilen> (дата обращения 22.11.2022).
- [12] Ди К. Форма и материя в ландшафтной архитектуре / Пер. с англ. А. Полешука. М.: Виктория-Друк, 2003. 224 с.
- [13] Брукс Д. Как создать дизайн сада. М.: Буки Веди, 2022. 224 с.
- [14] Омеляненко Е.В. Цветоведение и колористика. М.: Планета Музыки, Лань, 2014. 104 с.
- [15] Халлер К. Маленькая книга цвета / Пер. с англ. Ю. Гольдберг. М.: Колибри, 2019. 272 с.
- [16] Бейти П., Дэвидсон П., Чарвот Э., Симонини Д., Карличек А. Цвет в природе. Коллекция красок окружающего мира / Пер. с англ. О. Быкова. М.: Манн, Иванов и Фербер, 2022. 290 с.
- [17] Стармер А. Умные решения для организации жизненного пространства / Пер. с англ. О. Лифинцева. М.: Колибри, 2021. 272 с.
- [18] Липницкий Л.З. Ландшафтный дизайн. Руководство по благоустройству вашего участка. Минск: Харвест, 2007. 128 с.
- [19] Алексахин Н.Н., Васильева О.И. Основы цветоведения в ландшафтном проектировании. М.: МГУЛ, 2010. 76 с.
- [20] Финли В. Цвет. Захватывающее путешествие по оттенкам палитры / Пер. с англ. А. Степанова. М.: Бомбора, 2021. 416 с.
- [21] Леонардо да Винчи (1452–1519). Избранные произведения / Под ред. Б.В. Леграна, А.М. Эфроса. М.; Л.: Academia, 1935. 480 с.
- [22] Ньютон У. Акварельная живопись. М.: Кристина – новый век, 2002. 48 с.
- [23] Маккаун Д. Цвет. Архитектура в деталях / Пер. с англ. В. Измайлов. М.: Феникс, 2006. 192 с.
- [24] Дормидонтова В.В., Васильева О.И. Цвет как средство композиции в садово-парковом искусстве и ландшафтной архитектуре // Материалы II Всерос. науч.-практ. конф. с междунар. участием, Санкт-Петербургская государственная художественно-промышленная академия имени А.Л. Штиглица, 26.09.2022 г. Санкт-Петербург: Изд-во СПГХПА им. А.Л. Штиглица, 2022. 430 с.
- [25] Японский сад в Крыму «Шесть чувств». URL: <https://xn---8sbmfnfeuhiwe3n.xn--p1ai/> (дата обращения 22.11.2022).

Сведения об авторах

Васильева Ольга Ивановна  — ст. преподаватель кафедры ландшафтной архитектуры и садово-паркового строительства, МГТУ им. Н.Э. Баумана (Мытищинский филиал), v.olgai@yandex.ru

Васильев Андрей Николаевич — соискатель кафедры ландшафтной архитектуры и садово-паркового строительства, МГТУ им. Н.Э. Баумана (Мытищинский филиал), v.andrey15@yandex.ru

Поступила в редакцию 23.11.2022.

Одобрено после рецензирования 16.12.2022.

Принята к публикации 25.01.2023.

COLOR IN LANDSCAPE ART OBJECTS AS A MEANS TO CREATE ATTRACTIVE PUBLIC SPACE

O.I. Vasil'eva✉, A.N. Vasil'ev

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

v.olgai@yandex.ru

The most important meaning of color in landscape art as a tool for harmonizing the spatial structure of public spaces and its application peculiarities are considered. The outstanding masters' experience of the past and modernity is analyzed. The compositional principles of the space components interaction using color and light, climate, shape, material, texture, vegetation are considered. The actual methods of applying color in practice from the semantic component to the coloristic solution in the form of contrast and nuance as expressive means are characterized. A study of the psychological and physiological effects of the color palette on the human senses was made. Recommendations are given for creating a comfortable attractive public space through the competent use of color as an art and science. Thus, the correct science-based color harmonies and landscape-visual design of objects are created.

Keywords: landscape art, space, color, palette, coloristics, form, composition

Suggested citation: Vasil'eva O.I., Vasil'ev A.N. *Tsvet v ob'ektakh sadovo-parkovogo iskusstva kak sredstvo sozdaniya vyrazitel'nogo obshchestvennogo prostranstva* [Color in landscape art objects as a means to create attractive public space]. *Lesnoy vestnik / Forestry Bulletin*, 2023, vol. 27, no. 2, pp. 146–157.

DOI: 10.18698/2542-1468-2023-2-146-157

*«Colors hidden in the surrounding landscape
and giving it a mysterious atmosphere.
Lovely colors that touch the soul...»*

Naomi Kuno

The space around us consists of a palette of numerous colors, so it is important to learn how to feel, see in any element and, as a result, competently use color as a means of expression in objects of landscape art. «A conscious study of color images preserved in memory helps to assess the impact of each color and is both a pleasant and useful experience from the point of view of practical work with it» [1, p. 2]. «Nowadays, the purposeful use of color in the composition of the design palette of parks, squares and flower beds of urban areas is relevant, which is due to changes in people's aesthetic preferences and the development of technology» [2, p. 34]. The color of the park landscape, the garden consists of the color coloring of plants, coatings, small architectural forms, structures, paving. The influence of color gives us the opportunity to identify the main compositional centers, rhythmic rows, contrast and nuance in «objects of visual perception in their totality: city squares, highways and streets, inter-settlement territories, landscaped and natural areas intended for recreation of the population» [3, p. 9].

Purpose of the work

The purpose of the work is to develop a figurative vision of color in the elements of the surrounding space, to learn how to apply these skills in the formation of coloristics of objects of landscape art.

Materials and methods

In order to develop the skills of using color harmonies, compositional techniques in landscape design, it is important to refer to the experience of great minds, canvases of artists, creative masters of past eras and modern times, «to create their own palettes» [4, p. 8]. Painting and landscape art have been interconnected since ancient times. The relationship between gardening and painting can be traced throughout the history of the existence of these types of art. One of the traditional ties was expressed in the desire of painters to capture real-life gardens and parks. They reveal not only general solutions to the composition of the park space, but also individual landscapes [5]. «The pictorial image takes into account the background, environment, illumination. Le Corbusier believed that color has value only in connection with the environment» [6, p. 29]. The park theme can be traced in the romantic landscapes of Sylvester Shchedrin, where the connection of the architectural composition with the semantic basis of the park is seen (Fig. 1). As well as in the canvases of V.A. Serov, K.A. Korovin, A.N. Benois, I. And Levitan. «The garden tradition of Russian painters was supported by Claude Monet, creating beautiful motifs in the images of his own garden with water lilies, willows and exotic plants in Giverny» [7, p. 10] (Fig. 2).



Fig. 1. Romantic landscape. S. Shchedrin

Gertrude Jekyll introduced the laws of artistic coloristics into landscape art. «The harmony of color in the garden is a phenomenon of the 20th century. In 1908, Jekyll published her book «How to pick colors in the garden». There she concludes that it is not so easy to create a successful composition of flowers» [8, p. 7]. Jekyll showed her special attention to the importance of color selection by planning a special garden with alternating orange, gray, gold, blue and green areas. The landing plan of the gradient mixborder is shown in Fig. 3 [8, 9]. The color palette makes it possible to see the content, the meaning of the concept.

Climate has a significant influence on the choice of colors when designing objects. In countries with hot climates, nuance, achromatic or cold colors are used. Accordingly, in countries with a cold climate, contrast and a warm color palette are used. In 1970, Burl Marx used the theme of waves, where due to the contrasting color in the paving pattern on Copacabana Beach, he was able to express movement and show a given theme (Fig. 4). The landscape compositions of Burl Marx, which are close to the abstract painting of Joan Miro, attract attention. The artist's influence can be seen in the abstract layout, color presentation, paving pattern and the nature of plantings.

Contrast and nuance are among the most used means of expression in painting, which cover various levels of the organization of the picture plane: from the semantic component to the coloristic solution. This can also be seen in the objects of the garden and park space, for example, the cactus garden of the Davis family residence in El Paso, created by Marta Schwartz, where the garden looks expressive and bright due to the use of active color of the walls. The garden uses bright, contrasting colors (red, purple, purple, orange, blue, yellow, etc.) (Fig. 5).

«A comfortable place to relax is the space where you get a charge of inspiration, where the colors, lines, shapes of the landscape space are harmoni-



Fig. 2. The Garden in Giverny. Claude Monet

ous and evoke a spiritual response regardless of the mood of the person» [2, p. 36]. Johannes Itten wrote: «Sound gives the spoken word its radiance, and color gives the form a special spirituality ...» [10]. Compositional techniques of using color can also be seen in modern objects of landscape architecture on the example of the park «Superkilen» in Copenhagen [11] (Fig. 6). In the designed active space, the ease and dynamics of forms are read, expressed in a harmonious combination of air and the shining color of the paving. The unusual design solution demonstrates new compositional principles of interaction of space components using color harmony. «Details of structure, color, texture and light are important not only to give richness, variety and complexity to the lively perception of the landscape, but also to give simplicity and integrity to combine impressions» [12, p. 192].

Plant design is a special discipline in landscape architecture and one of the methods of architectural creativity. Vegetation is used not only as the main means for a number of environmental reasons, it influences the chromatic components of the natural landscape, to delimit space, but also to create compositional coloristic effects in the landscape. «Often it is the coloring of leaves and flowers that largely determines the nature of the garden. It is also influenced by the location of the garden: the color of the local soil, gravel, stone or brick, as well as where the sun falls in the morning or evening and how many shady places there are in the garden» [13, p. 26].

Color has both psychological and physiological effects on a person. Associations also play a well-known role in this emotional impact of colors [14]. Therefore, color compositions should be considered as an abstract design element. «Your palette is the whole world» [15, p. 2]. The variety of colors of the surrounding world has always amazed the imagination of man. Admiring the palette of nature, naturalists of the past centuries sought to systematize its shades.



Fig. 5. «Cacti maze» El Paso. Texas. Designed by: Martha Schwartz



Fig.6. Superkilen Park in Copenhagen

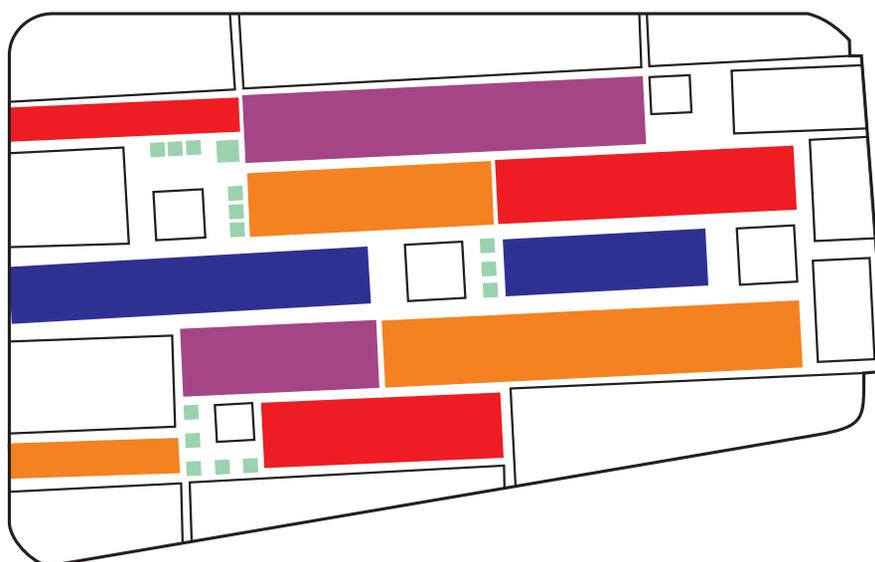


Fig. 7. Flower garden «Big Picture of the Fields» («Fields by Kandinsky»). VDNH. Moscow

The colors of the surrounding space are stored in memory. Train yourself to notice the details and colors that make up the environment [16, 17]. Because the deliberate application of color in practice is necessary in creating a harmonious space. For example, «green is neutral between warm and cold tones. This is the color of physical balance, which calms, relieves tension» [18, p. 6]. The green part of the spectrum has the largest number of shades. «Coloristics, based on the physical foundations of color theory, is defined as the science of color. Color design is the basis of the color perfection of landscape art and the human environment» [19, p. 4]. So that this garden becomes a true paradise [20]. When creating a spatial composition of a garden, park, it is important to use the color rhythm of the elements, to which the visitor easily adapts. At the same time, in oriental art, for example, preference is given mainly

to monochrome. Knowledge of the laws of chiaroscuro and color not only makes it possible to design expressive forms in space, but also makes it possible to create a mood, an image of space according to the time of year. In summer, in sunlight, you can endlessly admire the «dynamic» shadows from the trees. In autumn, the rich colors of the crowns of trees and shrubs are admired. When choosing a palette of small architectural forms (MAFS) and vegetation, special attention is paid to the combination of textures and colors in harmony with the size of the space. If you use a saturated color in the distance, it will reduce the space and vice versa, transparent colors, harmoniously combined with the background, increase the space. Leonardo da Vinci's statements about the presentation of the color of plant forms are still relevant today in the development of the design concept of the project «...When composing trees covered with



Fig. 8. Japanese garden «Six senses». Design by: Shiro Nakane. Sanatorium «Aivazovskoye» Republic of Crimea

foliage, one should beware of repeating too many times the same color of one plant protruding against the background of the same color of another plant; but always diversify them with a lighter, for darker, or greener green» [21, p. 237].

One of the most popular design solutions for creating a comfortable public space is a pond. Visualization of the motionless water surface and the reflection in it of MAFS and plant forms, the color of the sky has a positive and positive effect on the human psyche. «It is not true that water is colorless. It is like a mirror reflecting all the colors of the world looking into it. In still water, the reflections are almost mirror-like, but they seem to be covered with a haze» [22, p. 40]. The aesthetic value in designing an expressive space is represented by compositions made of stone in combination with vegetation. The shape and color of the elements are selected in such a way as to emphasize the expressiveness of each. Coniferous species of plant forms, such as juniper, pine, fir, are perfectly combined with stones. In these compositions, color is associated with the material and texture, «the inseparable unity of form and color» [23], where harmonious combinations and interaction of elements in visual perception, touch positively affect a person's mood. For a landscape architect, the issues of human physiological reactions to combinations and spectral colors are relevant, since they affect human functional systems in one way or another.

Gardens and parks, which are elements of a modern city, «have a positive impact on people, creating an ecologically and aesthetically comfortable environment. The color palette of modern landscape architects'

projects is bright, contrasting, dynamic» [24, p. 125]. As an example today of the use of color as one of the means of creating an expressive public space is a part of the Landscape Park of VDNH with the name «Kandinsky Fields», created in 2020 (Fig. 7), Japanese garden in Crimea «Six Senses» (Fig. 8), a riot of colors and textures fills the garden», «every detail of the Garden is filled with deep meaning, correlates with Japanese philosophy and brings harmony [25], created in 2018 by landscape architect Shiro Nakane.

Conclusions

The practical application of color in landscape art is one of the main tools capable of harmonizing the spatial structure of public space. Therefore, it is extremely important to develop the skills of vision and practical application of color, guided by the creative methods of past eras and improving skills, taking into account the current trends of the present day.

References

- [1] Kuno N. *Sochetanie tsvetov na praktike* [The combination of colors in practice]. Translated from the Japanese by P.A. Samsonov. Minsk: Popurri, 2020, 304 p.
- [2] Vasil'eva O.I., Bochkova I.Y. *Tsvet kak sredstvo vyrazitel'nosti v arkhitekturno-landshaftnoy kompozitsii*. [Color as a means of expression in architectural and landscape composition]. Sbornik dokladov III Mezhdunarodnoy nauchno-prakticheskoy konferentsii. Ustoychivoe razvitie territoriy [Collection of reports of the III International Scientific and Practical Conference. Sustainable development of territories]. Moscow: MISI-MGSU 2021, pp. 34-38.

- [3] Teodoronsky V.S., Bogovaya I.O. *Ob'ekty landshaftnoy arkhitektury* [Landscape architecture objects]. Moscow: MGUL, 2003, 300 p.
- [4] Ratkovski N. *Narisuy svoj sad. Vdokhnovlyayushchie tekhniki botanicheskogo risunka* [Draw your garden. Inspiring techniques of botanical drawing]. Moscow: Bombora, 2021, 208 p.
- [5] Dormidontova V.V. *Istoriya sadovo-parkovykh stiley* [History of garden and park styles]. Moscow: Architecture-S, 2004, 208 p.
- [6] Panksenov G.I. *Zhivopis'. Forma, tsvet, izobrazhenie* [Painting. Form, color, image]. Moscow: Academy, 2008, 44 p.
- [7] Vasilyeva O.I. *Sady i parki v izobrazitel'nom iskusstve*. [Gardens and parks in fine art]. *Vestnik landshaftnoy arkhitektury* [Bulletin of Landscape Architecture], 2017, iss. 9, pp. 7–13.
- [8] Nordkheys K.T. *Dizayn sada* [Garden design]. Moscow: Labyrinth Press, 2002, 144 p.
- [9] Dzheliko D., Dzheliko S. *Landshaft cheloveka* [The human landscape]. Moscow: Pero, 2014, 400 p.
- [10] Itten I. *Iskusstvo tsveta* [The art of color]. Moscow: D. Aronov, 2011, 95 p.
- [11] *Obschestvennoe prostranstvo «Superkilen»* [The public space «Superkilen»]. Available at: <https://archi.ru/projects/world/7843/obschestvennoe-prostranstvo-superkilen> (accessed 22.11.2022).
- [12] Di K. *Forma i materiya v landshaftnoy arkhitekture* [Form and matter in landscape architecture]. Moscow: Victoria-Druk, 2003, 224 p.
- [13] Brooks J. *Kak sozdat' dizayn sada* [How to create a garden design]. Moscow: Buki Vedi, 2022, 224 p.
- [14] Omel'yanenko E.V. *Tsvetovedenie i koloristika* [Color science and coloristics]. Moscow: Planet of Music, Lan', 2014, 104 p.
- [15] Haller K. *Malen'kaya kniga tsveta* [The Little book of color]. Moscow: Kolibri, 2019, 272 p.
- [16] Batey P., Davidson P., Charvot E., Simonini J., Karlicek A. *Tsvet v prirode. Kolleksiya krasok okruzhayushchego mira* [Color in nature. Collection of paints of the surrounding world]. Moscow: Mann, Ivanov, Ferber, 2022, 290 p.
- [17] Starmer A.. *Umnyye resheniya dlya organizatsii zhiznennogo prostranstva* [Smart solutions for the organization of living space]. Translated from English by O. Lifintseva. Moscow: Kolibri, 2021, 272 p.
- [18] Lipnitskiy L.Z. *Landshaftnyy dizayn. Rukovodstvo po blagoustroystvu vashego uchastka* [Landscape design. Guide to the improvement of your site]. Minsk: Harvest, 2007, 128 p.
- [19] Aleksakhin N.N., Vasil'eva O.I. *Osnovy tsvetovedeniya v landshaftnom proektirovanii* [Fundamentals of color science in landscape design]. Moscow: MSFU, 2010, 76 p.
- [20] Finley V. *Tsvet. Zakhvatyvayushchee puteshestvie po ottenkam palitry* [Colour. An exciting journey through the shades of the palette]. Moscow: Bombora, 2021, 416 p.
- [21] *Leonardo da Vinci (1452–1519). Izbrannyye proizvedeniya* [Leonardo da Vinci (1452–1519). Selected Works]. Moscow–Leningrad, 1935, 480 p.
- [22] Newton W. *Akvarel'naya zhivopis'* [Watercolor painting]. Moscow: Kristina – novy vek, 2002, 48 p.
- [23] McKeown J. *Tsvet. Arkhitektura v detalyakh* [Colour. Architecture in details]. Moscow: Phoenix, 2006, 192 p.
- [24] Dormidontova V.V., Vasilyeva O.I. *Tsvet kak sredstvo kompozitsii v sadovo-parkovom iskusstve i landshaftnoy arkhitekture. Materialy II Vserossiyskoy nauchno-prakticheskoy konferentsii s mezhdunarodnym uchastiyem* [Color as a means of composition in landscape art and landscape architecture]. *Materialy II Vserossiyskoy nauchno-prakticheskoy konferentsii s mezhdunarodnym uchastiyem*, Sankt-Peterburgskaya gosudarstvennaya khudozhestvenno-promyshlennaya akademiya imeni A.L.Shtiglitsa [Proceedings of the II All-Russian Scientific and Practical Conference with International Participation, St. Petersburg State Academy of Art and Industry named after A.L. Stieglitz], Stiglitz SPGHPA 26.09.2022. St. Petersburg: A.L. Stiglitz SPGHPA, 2022, 430 p.
- [25] *Yaponskiy sad v Krymu «Shest' chuvstv»* [Japanese garden in Crimea «Six senses»] Available at: <https://xn----8sbmfeuhiwe3n.xn--p1ai/> (accessed 22.11.2022).

Authors' information

Vasil'eva Ol'ga Ivanovna ✉ — Senior Lecturer of the Department of Landscape Architecture and Garden and Park Construction, BMSTU (Mytishchi branch), v.olgai@yandex.ru

Vasil'ev Andrey Nikolaevich — pg. of the Department of Landscape Architecture and Garden and Park Construction, BMSTU (Mytishchi branch), v.andrey15@yandex.ru

Received 23.11.2022.

Approved after review 16.12.2022.

Accepted for publication 25.01.2023.

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

ПАМЯТИ ФУРСОВОЙ ЛЮДМИЛЫ МИХАЙЛОВНЫ



Людмила Михайловна Фурсова (1934–2022 гг.) — выпускник Московского лесотехнического института по специальности «Озеленение городов и населенных мест». Получив диплом «Инженер зеленого строительства» в 1955 г. Людмила Михайловна поступила в специализированное Управление по озеленению города Москвы, где приобрела большой производственный опыт по городскому озеленению. Впоследствии, Людмила Михайловна поступила в Сектор озеленения городов Академии коммунального хозяйства, затем перешла в организацию «Леспроект», где включилась в лесопарковую экспедицию, касающиеся исследования лесов Большого Сочи. Большое влияние на Л.М. Фурсову оказали практические консультации Л.Е. Розенберга — американского ландшафтного архитектора, работающего в это время в СССР по ландшафтному планированию пригородных зон городов. По итогам экспедиционной работы Л.М. Фурсовой проведена систематизация качественных характеристик лесов Большого Сочи с эстетической оценкой отдельных лесных территорий (зон), пригодных для рекреации. В результате разработана оригинальная методика предпроектного, по факторного (ландшафтного) анализа,

как творческого процесса при формировании и освоении лесопаркового ландшафта для целей рекреации.

С 1973 г. Людмила Михайловна на кафедре «Озеленение населенных мест» Московского лесотехнического института проработала ст. преподавателем, доцентом, затем, профессором более 30 с лишним лет. На кафедре Фурсовой Л.М. продолжалась научная работа, направленная на развитие объемно-пространственной структуры и типологии зеленых насаждений, на их изменчивость, в зависимости от воздействия антропогенных факторов в урбанизированной среде. Проведенные исследования позволили уточнить и сформулировать ряд теоретических положений ландшафтного искусства, касающихся пейзажного разнообразия и композиции зеленых насаждений при создании (а также реконструкции) объектов ландшафтной архитектуры. В 70-е годы XX века научная работа Л.М. Фурсовой оформлена в виде кандидатской диссертации, которая успешно была защищена на ученом совете МЛТИ.

Полученные результаты научных исследований Людмилы Михайловны активно внедрялись в учебный процесс. Безусловной заслугой является применение оригинального метода, включающего использование исторического садово-паркового наследия и теории ландшафтного искусства в контексте с современной трактовкой создания произведений ландшафтной архитектуры. В результате у студентов формировалось более углубленное мировоззрение в области профессии и приобретение необходимых знаний и навыков для будущей практической работы. Незабываемы ее эмоциональные лекции полные глубокого смысла, учебные и производственные практики, проводимые на исторических объектах в пригородах Санкт-Петербурга и Москвы. Вместе с Л.М. Фурсовой работала творческая молодежь — аспиранты, защитившие кандидатские диссертации по актуальным вопросам ландшафтной архитектуры и садово-паркового искусства. Л.М. Фурсовой написан ряд учебников и учебных пособий для студентов по дисциплинам «История садово-паркового искусства», «Ландшафтное искусство», «Ландшафтная таксация». В учебнике Л.М. Фурсовой «Ландшафтное искусство» (в соавторстве с И.О. Боговой) изложены принципы гармонизации паркового пространства, рассмотрены приемы пейзажных композиций с учетом классических традиций и современных тенденций. Большая проектная работа проведена Л.М. Фурсовой по памятникам культурного наследия и в частности по монастырским объектам (Соловки, Сергиев Посад, и др.). За большие успехи в научной и учебно-методической работе Фурсова Л.М., была избрана членом корреспондентом РАЕН.

В последнее время Л.М. Фурсова взялась за работу в области истории садово-паркового искусства. В 2016 г вышла в свет книга «История садово-паркового искусства. Древний мир и Восточное Средневековье», где дается подробный разбор сохранившихся и ныне существующих садов и парков и Древней Греции и Рима, Японии, Китая, при этом большое значение придается пространственному освоению садов и парков. К сожалению, подготовка дальнейших работ в данной области не была закончена.

Заслуга Л.М. Фурсовой в том, что она применила новый оригинальный метод преподавания, включающий использование исторического наследия с современной трактовкой образов ландшафтной архитектуры.

*Профессор, д-р с.-х. наук, действ. чл. РАЕН,
чл. Союза архитекторов (московское отделение)
В.С. Теодоронский*