

ЛЕСНОЙ ВЕСТНИК / FORESTRY BULLETIN

Научно-информационный журнал

№ 6 ' 2022 Том 26

Главный редактор

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

Редакционный совет журнала

Артамонов Дмитрий Владимирович, д-р техн. наук, профессор, Пензенский ГУ, Пенза

Ашраф Дарвиш, ассоциированный профессор, факультет компьютерных наук, Университет Хелуан, Каир, Египет, Исследовательские лаборатории Machine Intelligence (MIR Labs), США

Беляев Михаил Юрьевич, д-р техн. наук, начальник отдела, зам. руководителя НТЦ РКК «Энергия» им. С.П. Королёва, Москва

Бемманн Альбрехт, профессор, Дрезденский технический университет, Институт профессуры для стран Восточной Европы, Германия

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

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

Деглиз Ксавье, д-р с.-х. наук, профессор, Академик IAWS, академик Французской академии сельского хозяйства, Нанси, Франция

Драпалюк Михаил Валентинович, д-р техн. наук, профессор, ректор ВГЛТУ им. Г.Ф. Морозова, Воронеж

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

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

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

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

Кириухин Дмитрий Павлович, д-р хим. наук, ИПХФ РАН, Черноголовка

Классен Николай Владимирович, канд. физ.-мат. наук, ИФТТ РАН, Черноголовка

Ковачев Атанас, д-р архитектуры, профессор, член-корр. Болгарской АН, профессор Международной Академии Архитектуры, Лесотехнический университет, Болгария, Варна

Кожухов Николай Иванович, д-р экон. наук, профессор, академик РАН, Мытищинский филиал МГТУ им. Н.Э. Баумана, Москва

Козлов Александр Ильич, канд. техн. наук, ученый секретарь Совета ОАО «НПО ИТ», Королёв

Комаров Евгений Геннадиевич, д-р техн. наук, профессор, Мытищинский филиал МГТУ им. Н.Э. Баумана, Москва

Корольков Анатолий Владимирович, д-р физ.-мат. наук, профессор, Мытищинский филиал МГТУ им. Н.Э. Баумана, Москва

Котиев Георгий Олегович, д-р техн. наук, профессор, кафедра «Колесные машины» МГТУ им. Н.Э. Баумана, Москва

Кох Нильс Элерс, д-р агрономии в области лесной политики, профессор, Президент IUFRO, Центр лесного и ландшафтного планирования университета, Копенгаген, Дания

Кротт Макс, профессор, специализация «Лесная политика», Георг-Аугуст-Университет, Геттинген, Германия

Леонтьев Александр Иванович, д-р техн. наук, профессор, академик РАН, МГТУ им. Н.Э. Баумана, Москва

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. Йозенсу, Финляндия

Наквасина Елена Николаевна, д-р с.-х. наук, профессор, Северный (Арктический) федеральный университет им. М.В. Ломоносова, Высшая школа естественных наук и технологий, Архангельск

Нимц Петер, д-р инж. наук, профессор физики древесины, Швейцарская высшая техническая школа Цюриха

Обливин Александр Николаевич, д-р техн. наук, профессор, академик РАЕН, МАНВШ, заслуженный деятель науки и техники РФ, МГТУ им. Н.Э. Баумана, Москва

Пастори Золтан, д-р техн. наук, доцент, директор Инновационного центра Шопронского университета, Венгрия

Полещук Ольга Митрофановна, д-р техн. наук, профессор, Мытищинский филиал МГТУ им. Н.Э. Баумана, Москва

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

Ответственный секретарь Расева Елена Александровна

Редактор Л.В. Сивай

Перевод М.А. Карпухиной

Электронная версия Ю.А. Рязской

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

Дата выхода в свет 10.11.2022

Тираж 600 экз.

Заказ №

Объем 20,0 п. л.

Цена свободная

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

LESNOY VESTNIK / FORESTRY BULLETIN

Scientific Information journal
No. 6 ' 2022 Vol. 26

Editor-in-chief

Sanaev Victor Georgievich, Professor, Dr. Sci. (Tech.), Director of BMSTU (Mytishchi branch), Moscow

Editorial council of the journal

Artamonov Dmitriy Vladimirovich, Professor, Dr. Sci. (Tech.), Penza State
Ashraf Darwish, Associate Professor of Computer Science, Faculty of Computer Science, Helwan University, Cairo, Egypt, Machine Intelligence Research Labs (MIR Labs), USA
Belyaev Mikhail Yur'evich, Dr. Sci. (Tech.), Head of Department, Deputy Director of S.P. Korolev RSC «Energia», Moscow
Bemman Al'brekht, Professor, the Dresden technical university, professorate Institute for countries of Eastern Europe, Germany
Besschetnov Vladimir Petrovich, Professor, Dr. Sci. (Biol.), Nizhny Novgorod State Agricultural Academy, Nizhny Novgorod
Burmistrova Olga Nikolaevna, Professor, Dr. Sci. (Tech.), Ukhta State Technical University, Ukhta
Chubinskiy Anatoliy Nikolaevich, Professor, Dr. Sci. (Tech.), Saint Petersburg State Forest Technical University, St. Petersburg
Chumachenko Sergey Ivanovich, Professor, Dr. Sci. (Biol.), BMSTU (Mytishchi branch), Moscow
Deglise Xavier, Dr. Sci. (Agric.), Academician of the IAWS, Academician of the French Academy of Agriculture, Nancy, France
Drapalyuk Mikhail Valentinovich, Professor, Dr. Sci. (Tech.), Rector of VSUFT, Voronezh
Evdokimov Yuriy Mikhaylovich, Professor, Ph. D. (Chemical); academician of the New York Academy of Sciences, corr. Academy of Natural Sciences, a member of the Central Board of Nanotechnology Society of Russia, Moscow
Zalesov Sergey Veniaminovich, Professor, Dr. Sci. (Agric.), USFEU, Ekaterinburg
Zaprudnov Vyacheslav Il'ich, Professor, Dr. Sci. (Tech.), BMSTU (Mytishchi branch), Moscow
Ivankin Andrey Nikolaevich, Professor, Dr. Sci. (Chemical), BMSTU (Mytishchi branch), Moscow
Kiryukhin Dmitriy Pavlovich, Dr. Sci. (Chemical), IPCP RAS, Chernogolovka
Klassen Nikolay Vladimirovich, Ph. D. (Phys.-Math.), ISSP RAS, Chernogolovka
Kovachev Atanas, Corresponding Member of the Bulgarian Academy of Sciences, Dr. Sci., Professor, University of Forestry, Bulgaria, Sofia
Kokh Nil's Elers, Professor, the Dr. of agronomics in the field of forest policy, the President of IUFRO, the Center of forest and landscape planning of university Copenhagen, Denmark
Komarov Evgeniy Gennadievich, Professor, Dr. Sci. (Tech.), BMSTU (Mytishchi branch), Moscow
Korol'kov Anatoliy Vladimirovich, Professor, Dr. Sci. (Phys.-Math.), BMSTU (Mytishchi branch), Moscow
Kotiev George Olegovich, Professor, Dr. Sci. (Tech.), BMSTU (Mytishchi branch), Moscow
Kozlov Aleksandr Il'ich, Ph. D. (Tech.), Scientific Secretary of the Board of «NPO IT», Korolev
Kozhukhov Nikolay Ivanovich, Professor, Academician of the Russian Academy of Sciences, Dr. Sci. (Econ.), BMSTU (Mytishchi branch), Moscow
Krott Maks, Professor of Forest policy specialization, George-August-Universitet, Goettingen
Leont'ev Aleksandr Ivanovich, Academician of the Russian Academy of Sciences, Professor, Dr. Sci. (Tech.), BMSTU, Moscow

Lipatkin Vladimir Aleksandrovich, Professor, Ph. D. (Biol.), BMSTU (Mytishchi branch), Moscow
Lukina Natalya Vasilyevna, Corresponding Member of the RAS, Director of the Center for Sub-Settlement Research RAS, Deputy Chairperson of the Forest Research Council
Makuev Valentin Anatol'evich, Dr. Sci. (Tech.), Associate Professor, BMSTU (Mytishchi branch), Moscow
Malashin Alexey Anatolyevich, Professor, Dr. Sci. (Physics and Mathematics), BMSTU (Mytishchi branch), Moscow
Martynuk Aleksandr Aleksandrovich, 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
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
RYKORIN 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 TSNIMASH, 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 10.11.2022
Circulation 600 copies
Order №
Volume 20,0 p. p.
Price free

СОДЕРЖАНИЕ

БИОЛОГИЧЕСКИЕ И ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЕ АСПЕКТЫ ЛЕСНОГО ХОЗЯЙСТВА

Алемасова А.С., Сафонов А.И.

Тяжелые металлы в фитосубстратах — индикаторы антропогенного загрязнения воздуха в промышленном регионе 5

Бухарина И.Л., Исупова А.А., Лямзин В.И., Лебедева М.А.

Перспективы использования консорциумов микроорганизмов и высших растений в восстановлении нефтезагрязненных земель 14

Бушуева Ю.О., Егошина Т.Л., Гудовских Ю.В.,

Ярославцев А.В., Лугинина Е.А.

Особенности восстановления нарушенных фитоценозов на севере Республики Коми 24

Ермакова М.В.

Рост и формирование культур сосны при рекультивации дражных отвалов 33

Зайцев Г.А., Дубровина О.А., Масина Т.А.

Содержание никеля в органах сосны обыкновенной (*Pinus sylvestris* L.) в условиях загрязнения в пределах г. Липецка 41

Кулагин А.Ю.

Ретроспективный анализ формирования ландшафтно-экологического подхода при лесной рекультивации нарушенных ландшафтов 48

Мирненко Н.С.

Жизнеспособность пыльцы некоторых видов древесных растений Донецкой агломерации 55

Тарханов С.Н., Пинаевская Е.А., Пахов А.С.

Изменчивость морфоструктурных показателей разных возрастных поколений в популяциях сосны (*Pinus sylvestris* L.) в условиях постоянного избыточного увлажнения почв северной тайги Архангельской области 62

Тюкавина О.Н., Демина Н.А.

Практика повышения посевных качеств семян сосны обыкновенной (*Pinus sylvestris* L.) и ели европейской (*Picea abies* L.) 75

Фрунзе О.В.

Фиторемедиация почв, загрязненных ионами тяжелых металлов, с помощью древесных и кустарниковых растений 92

Шугаипова Л.Р., Кулагин А.А., Шулепов А.В.

Экологические особенности формирования флористического состава в зоне влияния карьеров Южного Урала 99

ЛАНДШАФТНАЯ АРХИТЕКТУРА

Банникова Л.А., Хриченков А.В., Бурцев А.Г., Тиганова И.А.,

Третьякова А.С., Груданов Н.Ю., Владыкина В.Д.

Принципы формирования подхода к благоустройству озелененных пространств Екатеринбурга 106

Кругляк В.В.

Ландшафтная архитектура усадебных комплексов Центрального Черноземья 114

ДЕРЕВООБРАБОТКА И ХИМИЧЕСКАЯ ПЕРЕРАБОТКА ДРЕВЕСИНЫ

Иванкин А.Н.

Состояние парниковых газов и их ассимиляция в природе. Обзор 132

Загребин Е.А., Ведерников К.Е.

Особенности делигнификации древесины березы повислой (*Betula pendula* L.) методами микодеструкции и сульфитной щелочной варки 141

Пинягина Н.Б., Горшенина Н.С.

Современное состояние, тенденции и перспективы развития целлюлозно-бумажной промышленности Российской Федерации 148

CONTENTS

BIOLOGICAL AND TECHNOLOGICAL ASPECTS OF FORESTRY

Alemasova A.S., Safonov A.I. Heavy metals in phytosubstrates as indicators of anthropogenic air pollution in industrial region	5
Bukharina I.L., Isupova A.A., Lyamzin V.I., Lebedeva M.A. Use prospects for microorganisms consortiums and higher plants in oil-contaminated lands restoration	14
Bushueva Yu.O., Egoshina T.L., Gudovskikh Yu.V., Yaroslavtsev A.V., Luginina E.A. Recovery features of disturbed plant communities in Komi Republic north	24
Ermakova M.V. Pine cultures growth and formation during reclamation of sewage sludge	33
Zaitsev G.A., Dubrovina O.A., Masina T.A. Nickel levels in Scots pine (<i>Pinus sylvestris</i> L.) organs under pollution conditions in Lipetsk city	41
Kulagin A.Yu. Retrospective analysis of landscape-ecological approach for disturbed landscapes recultivation	48
Mirnenko N.S. Pollen viability of some woody plants species in Donetsk agglomeration	55
Tarkhanov S.N., Pinaevskaya E.A., Pakhov A.S. Morphostructural variability parameters of different age generations in pine (<i>Pinus sylvestris</i> L.) populations under constant excessive soil moisture in northern taiga of Arkhangelsk region	62
Tyukavina O.N., Demina N.A. Practice of improving Scots pine (<i>Pinus sylvestris</i> L.) seeds and European spruce (<i>Picea abies</i> L.) progeny	75
Frunze O.V. Woody and shrub plant phytoremediation of soils contaminated with heavy metal ions	92
Shugaipova L.R., Kulagin A.A., Shulepov A.V. Ecological features of floristic composition formation in zone influenced by Southern Urals opencasts	99

LANDSCAPE ARCHITECTURE

Bannikova L.A., Khrichenkov A.V., Burtsev A.G., Tiganova I.A., Tretyakova A.S., Grudanov N.Yu., Vladykina V.D. Modern foundations for green areas formation in Ekaterinburg	106
Kruglyak V.V. Landscape architecture of manor complexes in Central Chernozem region	114

WOODWORKING AND CHEMICAL WOOD PROCESSING

Ivankin A.N. The state of greenhouse gases and their assimilation in nature. A review	132
Zagrebin E.A., Vedernikov K.E. <i>Betula pendula</i> L. wood delignification by mycodestruction and sulfite alkafide process	141
Pinyagina N.B., Gorshenina N.S. Current state, trends and prospects for pulp and paper industry development in Russian Federation	148

ТЯЖЕЛЫЕ МЕТАЛЛЫ В ФИТОСУБСТРАТАХ — ИНДИКАТОРЫ АНТРОПОГЕННОГО ЗАГРЯЗНЕНИЯ ВОЗДУХА В ПРОМЫШЛЕННОМ РЕГИОНЕ

А.С. Алемасова✉, А.И. Сафонов

ГОУ ВПО «Донецкий национальный университет», 283000, г. Донецк, ул. Университетская, д. 24

kf.analit.chem.zav@donnu.ru

Представлено доказательство экотопической разницы в накоплении тяжелых металлов (Zn, Cu, Fe, Mn, Ni, Cd, Pb) ботаническими объектами индикационной значимости, что определено в результате проведения исследований в местах локализации учетных площадок мониторинговой сети центральной части Донбасса. Приведены материалы изучения растений в зонах влияния техногенных и отдельных антропогенных воздействий, в частности, промышленных предприятий металлургического комплекса, отвалов угольных шахт, мест транспортной нагрузки на экосистемы, селитебных экотопов. Дан сравнительный анализ территорий, подвергшихся масштабной и минимальной трансформации в зонах природно-заповедного фонда Донецкого региона. Установлена таксономическая специфичность в накоплении тяжелых металлов для используемых мохообразных 11 видов природной флоры региона, отмечены факты гипер- и гипоаккумуляции в талломах бриобионтов. По накоплению тяжелых металлов выявлены факты фитогеохимической миграционной активности элементов в приземном слое атмосферы промышленно напряженного региона и содержания в тополином пухе пыльцы растений других видов. Определены причины накопления тяжелых металлов в мохообразных — с осадками, а в свободно парящих в воздухе семенах тополя черного — в результате активного захвата частиц пыли, что обуславливает разницу в накоплении разными фитосубстратами. Полученные данные рассмотрены в контексте возможного усиления сезонного проявления аллергических реакций у людей. Для оценки загрязнения воздуха в Донбассе рекомендовано использовать виды *Ceratodon purpureus* (Hedw.) Brid и *Bryum argenteum* Hedw. по накоплению поллютантов в гаметофитах и *Populus nigra* L. по специфике содержания в халазных выростах семян дендроиндикатора.

Ключевые слова: тяжелые металлы, экологический фитомониторинг, техногенное загрязнение

Ссылка для цитирования: Алемасова А.С., Сафонов А.И. Тяжелые металлы в фитосубстратах — индикаторы антропогенного загрязнения воздуха в промышленном регионе // Лесной вестник / Forestry Bulletin, 2022. Т. 26. № 6. С. 5–13. DOI: 10.18698/2542-1468-2022-6-5-13

Экологический мониторинг в промышленно развитых регионах и на территориях с существенными техногенными трансформациями составляет важную часть деятельности научно-исследовательских лабораторий [1–5]. К приоритетным загрязнителям природных сред относят тяжелые металлы как особо опасные для биологических систем токсиканты [6–9].

Современный Донбасс отличается повышенной антропогенной нагрузкой на природные экосистемы, что обуславливает необходимость проведения контрольных мероприятий, позволяющих своевременно выявлять локалитеты недопустимого уровня загрязнений. В Донецком регионе для водных объектов и почвенных сред разработана сеть наблюдательных постов и учетных площадок, по которым отслеживается динамика негативных процессов в экосистемах [10]. Для воздушной среды необходимо использовать сопряженные геохимические индикаторы, в частности [7, 11–15], проявляющие корреляционную функцию накопления тяжелых металлов в приземном слое атмосферы или с выпадающими осадками [6, 9, 11, 16–18].

В проведенных ранее исследованиях [19–21] была актуализирована необходимость экологотоксикологической экспертизы Донецкого региона, разработана мониторинговая сеть фитоэкологических стационаров [22], проведена систематическая инвентаризация растительных компонентов, проявляющих индикационные свойства [23, 24], и внедрены методы геоинформационного анализа [25–26].

Цель работы

Цель работы — определение экотопов с высоким уровнем антропогенного загрязнения воздушной среды в центральной части Донбасса на основании данных о содержании тяжелых металлов (Zn, Cu, Fe, Mn, Ni, Cd, Pb) в фитосубстратах индикационной значимости геофиксированных талломов мохообразных и свободно перемещающихся в пределах одного мониторингового локалитета семян тополя черного (*Populus nigra* L.).

Материалы и методы

Образцы растений для элементного анализа были собраны в двух принципиально важных и взаимодополняющих биосистемах:

1) по гаметофитам мохообразных [27], которые проявляют накопительную способность загрязнителей именно из воздушной среды, в том числе с выпадающими осадками [28];

2) по сборам семенного материала тополя черного в приземном слое атмосферы (на высоте 0,5...2,0 м) с учетных площадок 26–35 (г. Донецк), 50–59 (г. Макеевка), 43 и 63–66 (г. Горловка), 82–88 (г. Енакиево), 75, 90, 92 (г. Харцызск), а также в экотопах минимального промышленного импакта (условно контрольные мониторинговые точки 44, 67, 69, 93, 99, 101, 107, 112) в соответствии с заложенной 113-компонентной мониторинговой сетью [22].

По дендрологическому эксперименту, выбор культуры тополя обусловлен анатомо-морфологическим строением семени с выростами в его халазной части, формирующими механо-подвижную конструкцию для свободного перемещения с воздушными потоками [29]. Вследствие широкого использования модельного объекта в городском озеленении, ландшафтном дизайне, благоустройстве техногенных объектов и транспортных коммуникаций [30–32] проведены регистрация мест скопления на 43 учетных площадках и оценка адаптационного потенциала древостоев [33] и ландшафтно-экологических систем с характерными общими признаками в условиях развитой горнодобывающей и металлургической промышленности [34–38].

При выполнении бриологической части эксперимента были проанализированы образцы таких видов, как *Bryum caespiticium* Hedw., *Brachythecium campestre* (Müll.Hal.) Bruch et al., *Ceratodon purpureus* (Hedw.) Brid, *Bryum argenteum* Hedw., *Bryum capillare* Hedw., *Platygyrium repens* (Brid.) Schimp., *Aulacomnium palustre* (Hedw.) Schwägr., *Leskea polycarpa* Hedw., *Plagiomnium cuspidatum* (Hedw.) T. Kop., *Tortula muralis* Hedw. и *Orthotrichum speciosum* Nees.

Массовую концентрацию тяжелых металлов в отобранных образцах фитосубстратов определяли в аттестованной лаборатории кафедры аналитической химии Донецкого национального университета (свидетельство об аттестации № ИЛ-124/2019 выдано 16.12.2019 г. ГП «Донецкстандартметрология»). Пробы фитосубстратов отбирались в третью декаду мая в соответствии с рекомендациями работы [39]. При подготовке к анализу пробы ссыпали на полиэтиленовую пленку, измельчали, тщательно перемешивали, квартовали. Подготовленную пробу высушивали в сушильном шкафу при температуре 60...65 °С до воздушно-сухого состояния, истирали в фарфоровой ступке и проводили минерализацию методом сухого озоления при температуре 525 °С в течение 3 ч [40, 41]. Тяжелые металлы из золы экстрагировали азотной

кислотой (1:1) и определяли содержание целевых компонентов в кислотных вытяжках пламенным и электротермическим атомно-абсорбционным методом [42]. Аналитические измерения при атомизации в пламени ацетилен — воздух проводили на атомно-абсорбционном спектрофотометре «Сатурн-3» (ОКБА, г. Северодонецк).

Электротермическое атомно-абсорбционное определение аналитов проводили на атомно-абсорбционных спектрофотометрах «Сатурн-3» (однолучевая схема с дейтериевым корректором неселективного поглощения), «Solaar-M» (земановский и дейтериевый корректоры фона). Для спектрофотометра «Сатурн-3» интегральную интенсивность сигнала регистрировали с помощью модуля связи, сопряженного с персональным компьютером. Использовали графитовые трубки с пиролитическим покрытием и графитовые платформы с пиропокрывом (МПГ-6) (производство г. Северодонецк). Аликвоты анализируемых растворов дозировали с использованием ручного дозатора P200 на платформу печи с пиролитическим покрытием. Точность дозирования составляла ±0,2 %. Типичная программа нагрева графитового атомизатора на спектрофотометрах «Сатурн-3» и «Solaar-M» включала стадию сушки при температуре 105...140 °С, стадию пиролиза, температура на которой изменялась в широком диапазоне — от 400 до 2000 °С при плавном подъеме, и стадию атомизации при температуре 2000...2600 °С. Градуирование приборов проводили по стандартным образцам растворов металлов. Правильность результатов контролировали стандартным методом «введено — найдено».

Результаты и обсуждение

По статистической дифференциации, адекватным аккумулятором из числа видов мохообразных определен *C. purpureus*, для которого установлен ранжированный ряд промышленного воздействия среди предприятий: Енакиевский (I), Донецкий (II) и Макеевский (III) металлургические заводы в градиенте уменьшения токсического эффекта.

Вследствие розы ветров с доминирующими восточными направлениями эффект промышленного импакта сохранился в том же ранжированном ряду, хотя уровень антропогенного воздействия в Донецко-Макеевской промышленной агломерации а priori предполагал сохранение тенденций к накоплению тяжелых металлов. Так, закономерность подтверждает эффективность созданных санитарно-защитных и рекреационных территорий с барьерными и экранирующими свойствами в условиях городских агломераций. Следовательно, зеленый каркас городов Донецка и Макеевки развит в большей степени. Вид *C. purpureus* также рекомендован в качестве

Т а б л и ц а 1

**Содержание тяжелых металлов в мохообразных на примере учетной площадки
Енакиевского металлургического завода**

The content of heavy metals in bryophytes on the example of the registration site of the Enakievo Metallurgical Plant

Образец фитосубстрата	Концентрация микроэлементов, мг/кг						
	Zn	Cu	Fe	Mn	Ni	Cd	Pb
<i>Ceratodon purpureus</i>	739	165	15154	485	19	1,3	108
	Коэффициенты накопления по отношению к <i>Ceratodon purpureus</i>						
<i>Aulacomnium palustre</i>	1,6	0,9	0,9	0,9	2,0	0,9	1,0
<i>Brachythecium campestre</i>	0,7	0,5	0,7	0,8	0,5	0,2	0,1
<i>Bryum argenteum</i>	1,1	0,6	0,9	0,8	0,8	0,2	0,9
<i>Bryum caespiticium</i>	1,1	0,6	0,9	0,8	0,9	0,2	1,0
<i>Bryum capillare</i>	0,9	0,6	0,9	0,8	0,9	0,2	1,0
<i>Leskea polycarpa</i>	0,2	0,5	0,2	0,4	0,2	0,2	0,3
<i>Orthotrichum speciosum</i>	0,9	0,8	2,0	0,9	0,8	0,7	1,0
<i>Plagiomnium cuspidatum</i>	0,9	2,1	1,1	0,8	1,0	0,9	0,9
<i>Platygyrium repens</i>	1,0	0,8	0,9	1,0	1,0	0,9	2,0
<i>Tortula muralis</i>	0,7	0,8	2,1	0,9	0,8	1,0	0,7

реперного для проведения сравнительного межвидового анализа накопления мохообразными тяжелых металлов (табл. 1).

Установлено, что виды рода *Bryum* имеют близкородственные коэффициенты накопления и для полевых мониторинговых сборов не представляют функциональной разницы, поэтому могут использоваться как альтернативные в случае отсутствия одного из видов в конкретной точке забора образца.

Выделить отдельные виды гипер- или гипоаккумулянтов по всем анализируемым металлам не представляется возможным. Такие выводы можно сделать только по отношению к отдельным металлам. Например, *A. palustre* в большем соотношении с *C. purpureus* накапливает цинк и никель, *P. cuspidatum* — медь, *O. speciosum* и *T. muralis* — железо, *P. repens* — свинец. Гипераккумуляции для марганца и кадмия из проанализированных субстратов бриологической природы не установлено. Вид *L. polycarpa* определен не только как индифферентный по морфологическому статусу в период спорофитизации на учетной площадке, но и к высоким концентрациям загрязнителей. Для видов *B. caespiticium* и *B. argenteum* в тех же условиях импакта Енакиевского металлургического завода (ЕМЗ) при гипернакоплении цинка отмечен эффект гипоаккумуляции меди, что рассматривается как пример конкурентного ингибирования (межметаллического взаимодействия) в парной группе физиологической конкуренции «Zn–Cu». Указанные тенденции сохраняются и для других учетных площадок в зонах непосредственного промышленного импакта металлургических предприятий.

Вид *B. campestre* по накопительной способности не выявил устойчивых закономерностей и не может быть рекомендован в экологическом мониторинге по накоплению тяжелых металлов,

однако представляет интерес для физиолого-адаптационных исследований, поскольку зафиксированы сравнительно низкие концентрации соединений преимущественно никеля и свинца даже в условиях их достоверно высоких валовых концентраций в окружающей среде. Полученные сведения о специфике аккумуляции элементов в открытых ландшафтных системах являются основанием для целенаправленного лабораторного эксперимента по рассмотрению механизмов взаимодействия растений с токсическими средами и возможной детоксикации при первичных освоениях техногенного неосубстрата, например, на террикониках, отвалах угольных шахт и пр. Биоиндикационные свойства фитокомпонентов востребованы в качестве сведений о состоянии среды в промышленных регионах [35, 38, 43–45].

Данные о накоплении тяжелых металлов в тополином пухе (табл. 2) свидетельствуют о специфической территориальной приуроченности к конкретным категориям экотопов. Диапазон значений по цинку, меди, марганцу и никелю (см. табл. 2) не перекрывается при сравнении результатов по определению принадлежности к ландшафтным системам разного хозяйственного назначения.

По двум системам сбора данных — по мохообразным и дендроиндикаторам — были установлены закономерности накопления тяжелых металлов, а также корреляционная связь между накоплением конкретных тяжелых металлов в отдельных видах бриобионтов и тополином пухе (табл. 3).

Индикационные свойства бриобионтов, в частности *B. argenteum*, рассмотрены авторами работы [28]. Пример с мохообразным *L. polycarpa* показывает нецелесообразность его использования по запрашиваемой целевой программе — в фитоиндикации по накоплению загрязнителей.

Т а б л и ц а 2

Содержание тяжелых металлов в фитосубстратах *Populus nigra* для различных категорий экотопов мониторинговой сети Донбасса
The content of heavy metals in phytosubstrates of *Populus nigra* for various categories of ecotopes of the monitoring network in Donbass

Экотоп	Концентрация микроэлементов, мг/кг						
	Zn	Cu	Fe	Mn	Ni	Cd	Pb
Металлургические предприятия	510...805	136...188	8510...12071	434...490	24...31	1,6...2,1	111...119
Карьерно-отвалыные комплексы	450...461	120...134	7561...11279	410...429	22...23	0,8...2,1	34...107
Пути сообщений, автотранспортных коммуникаций	411...445	115...119	6846...10884	407...409	20...21	0,2...1,1	15...88
Селитебные территории	120...401	74...99	3561...9753	342...401	8...18	0,2...0,9	15...40
Малонарушенные, объекты природно-заповедного фонда	45...51	6...8	4020...4056	302...312	4...6	0,1...0,3	7...10

Т а б л и ц а 3

Коэффициенты корреляции по накоплению тяжелых металлов в бриобионтах и тополином пухе
Correlation coefficients of heavy metals accumulation in bryobionts and poplar fluff

Корреляционные пары в фитосубстратах	Zn	Cu	Fe	Mn	Ni	Cd	Pb
<i>Ceratodon purpureus</i> & <i>Populus nigra</i>	+0,94*	+0,94	+0,88*	+0,94	+0,89	+0,91*	+0,95*
<i>Bryum argenteum</i> & <i>Populus nigra</i>	+0,91*	+0,66	+0,43	+0,88*	+0,85	+0,55*	+0,92
<i>Leskea polycarpa</i> & <i>Populus nigra</i>	-0,22	-0,23	+0,37	+0,25	-0,27	+0,16	-0,18

*Достоверно при $p \leq 0,05$

Это доказывает, что при проведении эколого-токсикологического эксперимента выбор индикатора из числа мохообразных также должен учитывать видовую принадлежность используемого в диагностическом анализе субстрата.

В отношении специфики содержания железа и марганца доказана устойчивая тенденция большего накопления именно в образцах индикаторного мохообразного. Это, по-видимому, обусловлено спецификой геохимической активности указанных элементов в миграционных потоках аэрофитогоризонтов. При этом захват содержания техногенной пыли на халазных выростах семян тополя черного происходит в приземном слое атмосферы более активным путем для мелкодисперсных фракций промышленных эмиссий, а в случае с мохообразными фиксируется эффект их накопления только после выпадения фрагментарных осадков. Судя по результатам проведенного эксперимента, соединения железа и марганца при этом имеют большую массовую долю по сравнению с их содержанием в приземных слоях воздушных масс городов и отдельно рассматриваемых промышленных территорий. Следовательно, использование фитосубстратов индикационного назначения позволяет дифференцировать содержание элементов в приземном слое атмосферы промышленно развитых регионов, что отмечено ранее [20, 27] и подтверждено исследованиями других авторских коллективов [3, 5, 7, 12, 34, 45].

Результаты проведенного эксперимента показали высокий уровень загрязнения воздушной среды тяжелыми металлами в следующих локалитетах: 1) 48°15'21"N; 38°27'22"E; 2) 47°49'43"N; 38°02'22"E; 3) 47°53'30"N; 38°38'36"E; 4) 48°11'41"N; 38°05'12"E; 5) 47°56'18"N; 37°48'06"E; 6) 48°04'09"N; 37°54'15"E; 7) 48°08'13"N; 38°21'28"E; 8) 47°58'58"N; 37°55'03"E; 9) 48°01'35"N; 38°28'05"E; 10) 48°18'18"N; 38°21'57"E; 11) 48°13'02"N; 38°13'49"E. Они подтверждают закономерность суммарного процесса накопления токсикантов вследствие территориального совмещения (наложения друг на друга) зон импакта объектов тяжелой промышленности и эмиссий от передвижных источников загрязнения. Установленные факты представляют собой дополнительные сведения к базе данных о состоянии природных сред Донбасса, сформированной специализированным государственным комитетом в ДНР [10].

Эксперимент по выявлению особенностей накопления (оседания) соединений тяжелых металлов в тополином пухе позволил установить факт наличия на халазных выростах семян большого количества пыльцы следующих цветущих в это время растений: *Berteroa incana* (L.) DC., *Diplotaxis muralis* (L.) DC., *Sinapis alba* L., *Senecio vulgaris* L., *Dactylis glomerata* L., а также виды родов *Bromus* L., *Bromopsis* (Dumort.) Fourg., *Elytrigia* Desv., *Festuca* L. и *Poa* L. Это в целом

усугубляет картину аллергических заболеваний в регионе, поскольку наряду с механическим раздражением слизистых оболочек человеческого организма аллергенами добавляются биологически активные компоненты.

Выводы

По уровню накопления тяжелых металлов в фитосубстратах *Ceratodon purpureus* (Hedw.) Brid, *Bryum argenteum* Hedw. и *Populus nigra* L. установлена высокая степень загрязнения сети промышленных предприятий и городских агломераций Донбасса, мест размещения карьерно-отвальных комплексов, селитебных территорий и экотопов путей сообщений, что на современном этапе является важной информацией для государственных экологических служб.

Элементный анализ проб индикаторных растений признан приемлемым способом проведения мониторинговых исследований фонового и импактного характера в регионе высоких антропогенных трансформаций. Он позволяет опосредованно характеризовать степень загрязнения воздушной среды, пылевое содержание в аэрофитогоризонтах, в том числе в связи с локальным воздействием объектов промышленности.

Список литературы

- [1] Yeprintsev S.A., Shekoyan S.V., Lepeshkina L.A., Voronin A.A., Klevtsova M.A. Technologies for creating geographic information resources for monitoring the socio-ecological conditions of cities // IOP Conference Series: Materials Science and Engineering, 2019, 582(1), p. 012012.
- [2] An Y., Liu S., Sun Y., Shi F., Beazley R. Construction and optimization of an ecological network based on morphological spatial pattern analysis and circuit theory // Landscape Ecology 2021, v. 36, pp. 2059–2076.
- [3] Bian Z., Yu H., Hou J., Mu S. Influencing factors and evaluation of land degradation of 12 coal mine areas in Western China // J. of China Coal Society, 2020, v. 45, pp. 338–350.
- [4] Wang S., Huang J., Yu H., Ji C. Recognition of landscape key areas in a coal mine area of a semi-arid steppe in China: a case study of Yimin open-pit coal mine // Sustainability, 2020, v. 12, p. 2239.
- [5] Yu H., Huang J., Ji C., Li Z. Construction of a landscape ecological network for a large-scale energy and chemical industrial base: a case study of Ningdong, China // Land, 2021, v. 10, no. 4, p. 344.
- [6] Глазовская М.А. Геохимия природных и техногенных ландшафтов СССР. М.: Изд-во МГУ, 2007. 350 с.
- [7] Kabata-Pendias A., Pendias H. Trace elements in soil and plants. CRC Press LLC, 2001, 413 p.
- [8] Pashentsev D.A., Abramova A.I., Eriashvili N.D., Grimalskaya S.A., Gafurova A.Ya., Kharisova G.M., Karpenko G.V., Avilova V.V. Digital software of industrial enterprise environmental monitoring // Ekoloji, 2019, vol. 28 (107), pp. 243–251.
- [9] Zaghoul A., Saber M., Gadow S., Awad F. Biological indicators for pollution detection in terrestrial and aquatic ecosystems // Bulletin of the National Research Centre, 2020, v. 44, no. 127, p. 385.
- [10] Государственный комитет по экологической политике и природным ресурсам при Главе Донецкой Народной Республики. URL: <https://gkescoroldnr.ru/> (дата обращения 01.03.2022).
- [11] Опекунова М.Г. Биоиндикация загрязнений. СПб.: Изд-во СПбГУ, 2016. 300 с.
- [12] Уфимцева М.Д. Закономерности накопления химических элементов высшими растениями и их реакции в аномальных биогеохимических провинциях // Геохимия, 2015. № 5. С. 450–465.
- [13] Bayouli I.T., Bayouli H.T., Dell’Oca A., Meers E., Sun J. Ecological indicators and bioindicator plant species for biomonitoring industrial pollution: Eco-based environmental assessment // Ecological Indicators, 2021, v. 125, p. 107508.
- [14] 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.
- [15] Hancock G.R., Martin Duque J.F., Willgoose G.R. Mining rehabilitation – Using geomorphology to engineer ecologically sustainable landscapes for highly disturbed lands // Ecological Engineering, 2020, v. 155, p. 105836.
- [16] Трубина М.Р., Мухачева С.В., Безель В.С., Воробейчик Е.Л. Содержание тяжелых металлов в плодах дикорастущих растений в зоне аэротехногенного воздействия Среднеуральского медеплавильного завода (Свердловская область) // Растительные ресурсы, 2014. Т. 50. № 1. С. 67–83.
- [17] Meena M.K. Impact of arsenic-polluted groundwater on soil and produce quality: a food chain study // Environmental Monitoring and Assessment, 2020, v. 192, no. 12, p. 785.
- [18] Zhao A., Yu Q., Feng L., Zhang A., Pei T. Evaluating the cumulative and time-lag effects of drought on grassland vegetation: a case study in the Chinese Loess Plateau // J. of Environmental Management, 2020, v. 261, p. 110214.
- [19] Алемасова А.С., Пенькова Ю.И., Пивоварова А.С., Остапенко П.В. Влияние военных действий на содержание некоторых металлов в почве Саур-Могилы, Донбасс // Теоретическая и прикладная экология, 2018. № 3. С. 33–39.
- [20] Safonov A.I. Phyto-qualimetry of toxic pressure and the degree of ecotopes transformation in Donetsk region // Problems of ecology and nature protection of technogenic region, 2013, no. 1, pp. 52–59.
- [21] Safonov A.I. Phytoindicational monitoring in Donetsk // World Ecology J., 2016, v. 6, no. 4, pp. 59–71.
- [22] Сафонов А.И., Гермонова Е.А. Экологические сети фитомониторингового назначения в Донбассе // Проблемы экологии и охраны природы техногенного региона, 2019. № 3–4. С. 37–42.
- [23] Safonov A. Ecological scales of indicator plants in an industrial region // BIO Web Conf., 2022, v. 43, no. 03002, 8 p.
- [24] Сафонов А.И., Морозова Е.И. Видовое разнообразие бриобионтов мониторинговой сети Центрального Донбасса // Проблемы экологии и охраны природы техногенного региона, 2021. № 1–2. С. 39–43.
- [25] Safonov A., Glukhov A. Ecological phytomonitoring in Donbass using geoinformational analysis // BIO Web Conf., 2021, v. 31, no. 00020, 4 p.
- [26] Сафонов А.И., Глухов А.З. Фитомониторинг в техногенно трансформированной среде: методология и практика // Экосистемы, 2021. № 28. С. 16–28.
- [27] Алемасова А.С., Сафонов А.И., Сергеева А.С. Накопление тяжелых металлов мохообразными в различных экотопах Донбасса // Трансформация экосистем под воздействием природных и антропогенных факторов: матер. Междунар. науч. конф., Киров, 16–18 апреля 2019 г. Киров: Изд-во ВятГУ, 2019. С. 60–65.

- [28] Kozlova E.A., Orlova E.E., Zubik I.N. Growth and development analysis of silver Bryum (*Bryum argentium* Hedw.) depending on illumination level influence // IOP Conference Series: Earth and Environmental Science, 2022, no. 6, p. 042012.
- [29] Bell A.D. Plant form: An illustrated guide to flowering plant morphology. Oxford; New York; Tokyo: Oxford University Press, 1991, 341 p.
- [30] Кругляк В.В., Гурьева Е.И. Принципы формирования ландшафтного тематического комплекса в Центральном Черноземье // Лесной вестник / Forestry Bulletin, 2022. Т. 26. № 2. С. 59–68.
DOI: 10.18698/2542-1468-2022-2-59-68
- [31] Боровлев А.О., Скрыпников А.В., Брюховецкий А.Н., Тимофеев В.А., Прокопец В.С. Обзор принципов пространственного проектирования лесовозных автомобильных дорог // Лесной вестник / Forestry Bulletin, 2021. Т. 25. № 5. С. 119–124.
DOI: 10.18698/2542-1468-2021-5-119-124
- [32] Ковылин Н.В., Ковылина О.П., Сухенко Н.В. Особенности взаимоотношения древостоя и напочвенного покрова в искусственных фитоценозах *Populus balsamifera* L. и *Populus nigra* L. // ИзВУЗ Лесной журнал, 2016. № 3(351). С. 31–41.
- [33] Уразильдин Р.В., Кулагин А.Ю. Повреждения, адаптации, стратегии древесных видов в условиях техногенеза: структурно-функциональные уровни реализации адаптивного потенциала // Успехи современной биологии, 2022. Т. 142. № 1. С. 52–69.
- [34] Peng J., Pan Y., Liu Y., Zhao H., Wang Y. Linking ecological degradation risk to identify ecological security patterns in a rapidly urbanizing landscape // Habitat International, 2018, v. 71, pp. 110–124.
- [35] Wu Z., Lei S., Yan Q., Bian Z., Lu O. Landscape ecological network construction controlling surface coal mining effect on landscape ecology: A case study of a mining city in semi-arid steppe // Ecological Indicators, 2021, v. 133, p. 108403.
- [36] Yuan J., Bian Z., Yan Q., Gu Z., Yu H. An approach to the temporal and spatial characteristics of vegetation in the growing season in Western China // Remote Sensing, 2020, v. 12 (6), p. 945.
- [37] Massante J.C. Mining disaster: restore habitats now // Nature, 2015, v. 528, p. 39.
- [38] Zhang P., Ye Q., Yu Y. Research on farmers' satisfaction with ecological restoration performance in coal mining areas based on fuzzy comprehensive evaluation // Global Ecology and Conservation, 2021, v. 32, p. 1934.
- [39] Кузнецов А.В., Фесюн А.П., Самохвалов С.Г., Махонько Э.П. Методические указания по определению тяжелых металлов в почвах сельхозугодий и продукции растениеводства. М.: Изд-во ЦИНАО, 1992. 61 с.
- [40] Сырье и продукты пищевые. Подготовка проб. Минерализация для определения токсичных элементов: ГОСТ 26929–94. Межгосударственный стандарт. Дата введения 1996-01-01. М.: ИПК Издательство стандартов, 2002.
- [41] Хавезов И., Цалев Д. Атомно-абсорбционный анализ. Л.: Химия. 1983. 144 с.
- [42] Пупышев А.А. Атомно-абсорбционный спектральный анализ. М.: Техносфера, 2009. 784 с.
- [43] Xu W., Wang J., Zhang M., Li S. Construction of landscape ecological network based on landscape ecological risk assessment in a large-scale opencast coal mine area // J. of Cleaner Production, 2021, v. 286, p. 125523.
- [44] Zhang M., Wang J., Li S., Feng D., Cao E. Dynamic changes in landscape pattern in a large-scale opencast coal mine area from 1986 to 2015: a complex network approach // Catena, 2020, v. 194, p. 104738.
- [45] Neamtu R., Sluser B., Plavan O., Teodosiu C. Environmental monitoring and impact assessment of Prut River cross-border pollution // Environmental Monitoring and Assessment, 2021, v. 193, no. 340, p. 09110.

Сведения об авторах

Алемасова Антонина Сергеевна [✉] — д-р хим. наук, профессор, Донецкий национальный университет, kf.analit.chem.zav@donnu.ru

Сафонов Андрей Иванович — канд. биол. наук, доцент, Донецкий национальный университет, a.safonov@donnu.ru

Поступила в редакцию 10.06.2022.

Одобрено после рецензирования 20.09.2022.

Принята к публикации 26.09.2022.

HEAVY METALS IN PHYTOSUBSTRATES AS INDICATORS OF ANTHROPOGENIC AIR POLLUTION IN INDUSTRIAL REGION

A.S. Alemasova✉, A.I. Safonov

Donetsk National University, 24, Universitetskaya st., 83000, Donetsk

kf.analit.chem.zav@donnu.ru

The ecotopic difference in the accumulation of heavy metals (Zn, Cu, Fe, Mn, Ni, Cd, Pb) by botanical objects of indicator significance has been proven. To assess air pollution in Donbass, it is recommended to use the species *Ceratodon purpureus* (Hedw.) Brid and *Bryum argenteum* Hedw. to check the accumulation of pollutants in gametophytes and *Populus nigra* L. on the specific content of the dendroindicator seeds in chalcid capillary bristles. The studies were carried out in the registration sites of the monitoring network in the central Donbass. The plants in the zones of technogenic and particular anthropogenic impacts (industrial enterprises of the metallurgical complex, dumps of coal mines, places of transport load on ecosystems, residential ecotopes) were studied in comparison with the territories of minimal transformation in the zones of the natural reserve fund in the Donetsk region. For the bryophytes of 11 species of the regional natural flora, taxonomic specificity in the accumulation of heavy metals was established, the facts of hyper- and hypoaccumulation in the thalli of bryobionts were noted. Based on the actual accumulation of heavy metals, the facts of the phytogeochemical migration activity of elements in the surface layer of the atmosphere of an industrially intense region were established. Accumulation of heavy metals in bryophytes occurs during precipitation, and in black poplar seeds freely floating in the air, as a result of active capture of dust particles, which causes a difference in accumulation by different phytosubstrates. The facts of the pollen content in other species of poplar fluff have been established, which is also considered in the context of a possible increase in the seasonal allergenic effect in the population. Accumulation of heavy metals in bryophytes occurs with precipitation, and in black poplar seeds freely floating in the air as a result of active capture of dust particles, which causes a difference in accumulation by different phytosubstrates. Pollen content in other species in poplar fluff have been established, which is also considered in the context of a possible increase in the seasonal allergic reactions.

Keywords: heavy metals, ecological phytomonitoring, technogenic pollution

Suggested citation: Alemasova A.S., Safonov A.I. *Tyazhelye metally v fitosubstratakh — indikatory antropogennogo zagryazneniya vozdukh v promyshlennom regione* [Heavy metals in phytosubstrates as indicators of anthropogenic air pollution in industrial region]. *Lesnoy vestnik / Forestry Bulletin*, 2022, vol. 26, no. 6, pp. 5–13.

DOI: 10.18698/2542-1468-2022-6-5-13


References

- [1] Yeprintsev S.A., Shekoyan S.V., Lepeshkina L.A., Voronin A.A., Klevtsova M.A. Technologies for creating geographic information resources for monitoring the socio-ecological conditions of cities. *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*, 2019, 582(1), p. 012012.
- [2] An Y., Liu S., Sun Y., Shi F., Beazley R. Construction and optimization of an ecological network based on morphological spatial pattern analysis and circuit theory. *Landscape Ecology* 2021, v. 36, pp. 2059–2076.
- [3] Bian Z., Yu H., Hou J., Mu S. Influencing factors and evaluation of land degradation of 12 coal mine areas in Western China. *J. of China Coal Society*, 2020, v. 45, pp. 338–350.
- [4] Wang S., Huang J., Yu H., Ji C. Recognition of landscape key areas in a coal mine area of a semi-arid steppe in China: a case study of Yimin open-pit coal mine. *Sustainability*, 2020, v. 12, p. 2239.
- [5] Yu H., Huang J., Ji C., Li Z. Construction of a landscape ecological network for a large-scale energy and chemical industrial base: a case study of Ningdong, China. *Land*, 2021, v. 10, no. 4, p. 344.
- [6] Glazovskaya M.A. *Geokhimiya prirodnikh i tekhnogennykh landshaftov SSSR* [Geochemistry of natural and technogenic landscapes of the USSR]. Moscow: Publishing House of Moscow State University, 2007, 350 p.
- [7] Kabata-Pendias A., Pendias H. Trace elements in soil and plants. CRC Press LLC, 2001, 413 p.
- [8] Pashentsev D.A., Abramova A.I., Eriashvili N.D., Grimalskaya S.A., Gafurova A.Ya., Kharisova G.M., Karpenko G.V., Avilova V.V. Digital software of industrial enterprise environmental monitoring. *Ekoloji*, 2019, vol. 28 (107), pp. 243–251.
- [9] Zaghoul A., Saber M., Gadow S., Awad F. Biological indicators for pollution detection in terrestrial and aquatic ecosystems. *Bulletin of the National Research Centre*, 2020, v. 44, no. 127, p. 385.
- [10] *Gosudarstvennyy komitet po ekologicheskoy politike i prirodnym resursam pri Glave Donetskoy Narodnoy Respubliki* [State Committee for Environmental Policy and Natural Resources under the Head of the Donetsk People's Republic]. Available at: <https://gkecopoldnr.ru/> (accessed 01.03.2022).
- [11] Opekunova M. G. *Bioindikatsiya zagryazneniy* [Bioindication of contaminants]. St. Petersburg: Publishing House of St. Petersburg University, 2016. 300 p.
- [12] Ufimtseva M.D. *Zakonomernosti nakopleniya khimicheskikh elementov vysshimi rasteniyami i ikh reaktivnosti v anomal'nykh biogeokhicheskikh provintsiyakh* [The patterns in accumulation of chemical elements by higher plants and their responses in biogeochemical provinces]. *Geokhimiya [Geochemistry]*, 2015, v. 53, no. 5, pp. 441–455.
- [13] Bayouli I.T., Bayouli H.T., Dell'Oca A., Meers E., Sun J. Ecological indicators and bioindicator plant species for biomonitoring industrial pollution: Eco-based environmental assessment. *Ecological Indicators*, 2021, v. 125, p. 107508.

- [14] Lugovskaya A. Yu., Khramova E.P., Chankina O.V. *Vliyaniye 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.
- [15] Hancock G.R., Martin Duque J.F., Willgoose G.R. Mining rehabilitation – Using geomorphology to engineer ecologically sustainable landscapes for highly disturbed lands. *Ecological Engineering*, 2020, v. 155, p. 105836.
- [16] Trubina M.R., Mukhacheva S.V., Bezel' V.S., Vorobeichik E.L. *Soderzhaniye tyazhelykh metallov v plodakh dikorastushchikh rasteniy v zone aerotekhnogennoy vozdeystviya Sredneural'skogo medeplavil'nogo zavoda (Sverdlovskaya oblast')* [Content of heavy metals in wild berries in the zone under aerotechnogenic impact of the Middle Urals copper smelter (Sverdlovsk oblast)]. *Rastitel'nye resursy* [Plant Resources], 2014, v. 50, no. 1, pp. 67–83.
- [17] Meena M.K. Impact of arsenic-polluted groundwater on soil and produce quality: a food chain study. *Environmental Monitoring and Assessment*, 2020, v. 192, no. 12, p. 785.
- [18] Zhao A., Yu Q., Feng L., Zhang A., Pei T. Evaluating the cumulative and time-lag effects of drought on grassland vegetation: a case study in the Chinese Loess Plateau. *J. of Environmental Management*, 2020, v. 261, p. 110214.
- [19] Alemasova A.S., Penkova Y.I., Pivovarova A.S., Ostapenko R.V. *Vliyaniye voyennykh deystviy na sodержaniye nekotorykh metallov v pochve Saur-Mogily, Donbass* [Military activity influence on some metals content in the Saur-Mogila soil, Donbass]. *Teoreticheskaya i prikladnaya ekologiya* [Theoretical and applied ecology], 2018, no. 3, pp. 33–39.
- [20] Safonov A.I. Phyto-qualimetry of toxic pressure and the degree of ecotopes transformation in Donetsk region. *Problems of ecology and nature protection of technogenic region*, 2013, no. 1, pp. 52–59.
- [21] Safonov A.I. Phytointeractional monitoring in Donetsk. *World Ecology J.*, 2016, v. 6, no. 4, pp. 59–71.
- [22] Safonov A.I., Germonova E.A. *Ekologicheskiye seti fitomonitoringovogo naznacheniya v Donbasse* [Ecological networks for phytomonitoring purposes in Donbass]. *Problemy ekologii i okhrany prirody tekhnogennoy regiona* [Problems of ecology and nature protection of technogenic region], 2019, no. 3–4, pp. 37–42.
- [23] Safonov A. Ecological scales of indicator plants in an industrial region. *BIO Web Conf.*, 2022, v. 43, no. 03002, 8 p.
- [24] Safonov A.I., Morozova E.I. *Vidovoye raznoobraziye briobiontov monitoringovoy seti Tsentral'nogo Donbassa* [Species diversity of bryobionts of the monitoring network of the Central Donbass]. *Problemy ekologii i okhrany prirody tekhnogennoy regiona* [Problems of ecology and nature protection of technogenic region], 2021, no. 1–2, pp. 39–43.
- [25] Safonov A., Glukhov A. Ecological phytomonitoring in Donbass using geoinformational analysis. *BIO Web Conf.*, 2021, v. 31, no. 00020, 4 p.
- [26] Safonov A.I., Glukhov A.Z. *Fitomonitoring v tekhnogenno transformirovannoy srede: metodologiya i praktika* [Phytomonitoring in a technologically transformed environment: methodology and practice]. *Ekosistemy*, 2021, v. 28, pp. 16–28.
- [27] Alemasova A.S., Safonov A.I., Sergeeva A.S. *Nakopleniye tyazhelykh metallov mokhoobraznyimi v razlichnykh ekotopakh Donbassa* [Accumulation of heavy metals by bryophytes in various ecotopes of Donbass]. *Transformatsiya ekosistem pod vozdeystviyem prirodnykh i antropogennykh faktorov* [Transformation of ecosystems under the influence of natural and anthropogenic factors]. *Mater. International scientific conf.*, Kirov, April 16–18, 2019. Kirov: Vyatka State University, 2019, pp. 60–65.
- [28] Kozlova E.A., Orlova E.E., Zubik I.N. Growth and development analysis of silver Brium (*Bryum argenteum* Hedw.) depending on illumination level influence. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, 2022, no. 6, p. 042012.
- [29] Bell A.D. *Plant form: An illustrated guide to flowering plant morphology*. Oxford; New York; Tokyo: Oxford University Press, 1991, 341 p.
- [30] Kruglyak V.V., Gureva E.I. *Printsipy formirovaniya landshafinogo tematicheskogo kompleksa v Tsentral'nom Chernozem'e* [Principles of landscape themed complex formation in the Central Black Earth]. *Lesnoy vestnik / Forestry Bulletin*, 2022, vol. 26, no. 2, pp. 59–68. DOI: 10.18698/2542-1468-2022-2-59-68
- [31] Borovlev A.O., Skrypnikov A.V., Bryukhovetsky A.N., Timofeev V.A., Prokopets V.S. *Obzor printsipov prostranstvennogo proektirovaniya lesovoznykh avtomobil'nykh dorog* [Principles of spatial design for haulage roads]. *Lesnoy vestnik / Forestry Bulletin*, 2021, vol. 25, no. 5, pp. 119–124. DOI: 10.18698/2542-1468-2021-5-119-124
- [32] Kovylin N.V., Kovylin O.P., Sukhenko N.V. *Osobennosti vzaimootnosheniya drevostoya i napochvennogo pokrova v iskusstvennykh fitosenozakh Populus balsamifera L. i Populus nigra L.* [Peculiarities of the relationship between forest stand and ground cover in artificial phytocenoses of *Populus balsamifera* L. and *Populus nigra* L.]. *Lesnoy Zhurnal (Russian Forestry Journal)*, 2016, no. 3(351), pp. 31–41.
- [33] Urazgildin R.V., Kulagin A.Yu. *Povrezhdeniya, adaptatsii, strategii drevesnykh vidov v usloviyakh tekhnogeneza: strukturno-funktsional'nyye urovni realizatsii adaptivnogo potentsiala* [Damages, adaptations, strategies of tree species in technogenesis conditions: structural-functional levels of adaptive potential realization]. *Uspekhi sovremennoy biologii* [Advances in modern biology], 2022, v. 142, no. 1, pp. 52–69.
- [34] Peng J., Pan Y., Liu Y., Zhao H., Wang Y. Linking ecological degradation risk to identify ecological security patterns in a rapidly urbanizing landscape. *Habitat International*, 2018, v. 71, pp. 110–124.
- [35] Wu Z., Lei S., Yan Q., Bian Z., Lu O. Landscape ecological network construction controlling surface coal mining effect on landscape ecology: A case study of a mining city in semi-arid steppe. *Ecological Indicators*, 2021, v. 133, p. 108403.
- [36] Yuan J., Bian Z., Yan Q., Gu Z., Yu H. An approach to the temporal and spatial characteristics of vegetation in the growing season in Western China. *Remote Sensing*, 2020, v. 12 (6), p. 945.
- [37] Massante J.C. Mining disaster: restore habitats now. *Nature*, 2015, v. 528, p. 39.
- [38] Zhang P., Ye Q., Yu Y. Research on farmers' satisfaction with ecological restoration performance in coal mining areas based on fuzzy comprehensive evaluation. *Global Ecology and Conservation*, 2021, v. 32, p. 1934.
- [39] Kuznetsov A.V., Fesyun A.P., Samokhvalov S.G., Makhonko E.P. *Metodicheskiye ukazaniya po opredeleniyu tyazhelykh metallov v pochvakh sel'khozugodiy i produktsii rasteniyevodstva* [Guidelines for the determination of heavy metals in agricultural soils and crop products]. Moscow: TsINAO Publishing House, 1992, 61 p.

- [40] Syr'ye i produkty pishchevyye. Podgotovka prob. Mineralizatsiya dlya opredeleniya toksichnykh elementov: GOST 26929–94. Mezhsudarstvennyy standart. Data vvedeniya 1996-01-01 [Raw materials and food products. Sample preparation. Mineralization for determination of toxic elements: GOST 26929–94. Interstate standard. Date of introduction 1996-01-01]. Moscow: IPK Izdatel'stvo standartov [IPK Standards Publishing House], 2002.
- [41] Khavezov I., Tsalev D. *Atomno-absorbtsionnyi analiz* [Atomic absorption analysis]. Leningrad: Khimiya [Chemistry], 1983, 144 p.
- [42] Pupyshv A.A. *Atomno-absorbtsionnyy spektral'nyy analiz* [Atomic absorption spectral analysis]. Moscow: Technosfera, 2009, 784 p.
- [43] Xu W., Wang J., Zhang M., Li S. Construction of landscape ecological network based on landscape ecological risk assessment in a large-scale opencast coal mine area. *J. of Cleaner Production*, 2021, v. 286, p. 125523.
- [44] Zhang M., Wang J., Li S., Feng D., Cao E. Dynamic changes in landscape pattern in a large-scale opencast coal mine area from 1986 to 2015: a complex network approach. *Catena*, 2020, v. 194, p. 104738.
- [45] Neamtu R., Sluser B., Plavan O., Teodosiu C. Environmental monitoring and impact assessment of Prut River cross-border pollution. *Environmental Monitoring and Assessment*, 2021, v. 193, no. 340, p. 09110.

Authors' information

Alemasova Antonina Sergeevna  — Dr. Sci. (Chemistry), Professor, Head of Analytical Chemistry Department, Donetsk National University, kf.analit.chem.zav@donnu.ru

Safonov Andrey Ivanovich — Cand. Sci. (Biology), Associate Professor, Head of Botany and Ecology the Department, Donetsk National University, a.safonov@donnu.ru

Received 10.06.2022.

Approved after review 20.09.2022.

Accepted for publication 26.09.2022.

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

ПЕРСПЕКТИВЫ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ КОНСОРЦИУМОВ МИКРООРГАНИЗМОВ И ВЫСШИХ РАСТЕНИЙ В ВОССТАНОВЛЕНИИ НЕФТЕЗАГРЯЗНЕННЫХ ЗЕМЕЛЬ

И.Л. Бухарина✉, А.А. Исупова, В.И. Лямзин, М.А. Лебедева

ФГБОУ ВО «Удмуртский государственный университет», Россия, 426034, г. Ижевск, ул. Университетская, д. 1

buharin@udmlink.ru

Приведены результаты исследований по использованию культур микроскопических эндотрофных грибов в восстановлении нефтезагрязненных почв. Проведены исследования пределов устойчивости к действию различных концентраций нефти у изолятов (культур) микроскопических грибов *Fusarium equiseti* (Corda) Sacc и *Cylindrocarpon magnusianum* Wollenw, выделенных из урбанопочв с высоким уровнем загрязнения. Выявлены их широкие пределы толерантности к содержанию нефти. В рамках проведенного лабораторного эксперимента по моделированию 5 и 10 % загрязнения дерново-подзолистой супесчаной и суглинистой почв нефтью определена эффективность очистки нефтезагрязненных почв с помощью биопрепарата «Микрозим Петро Трит», содержащего бактерии деструкторов нефти, фиторемедианта мятлика лугового — *Poa pratensis* L. и микроскопического гриба *Cylindrocarpon magnusianum* Wollenw. При использовании этой же совокупности биоремедиантов и микроскопического гриба *Fusarium equiseti* (Corda) Sacc определена эффективность восстановления биологической активности нефтезагрязненных почв. Полученные результаты доказали эффективность совместного применения биопрепарата, фиторемедианта и микроскопических грибов для очистки и восстановления нефтезагрязненных почв.

Ключевые слова: нефтяное загрязнение почв, биоремедиация, биологическая активность почвы, микроскопические грибы, биопрепарат

Ссылка для цитирования: Бухарина И.Л., Исупова А.А., Лямзин В.И., Лебедева М.А. Перспективы использования консорциумов микроорганизмов и высших растений в восстановлении нефтезагрязненных земель // Лесной вестник / Forestry Bulletin, 2022. Т. 26. № 6. С. 14–23. DOI: 10.18698/2542-1468-2022-6-14-23

Современное развитие нефтедобывающей отрасли невозможно рассматривать без его негативного влияния на экосистемы. Загрязнение почв нефтью нарушает стабильное функционирование экосистем: изменяются физико-химические свойства почвы, активность основных ферментов, участвующих в важных биологических процессах, нарушается соотношение основных биогенных элементов в почве, — это создает существенные экологические проблемы [1]. В условиях нефтяного загрязнения почв особый характер приобретает изменение их биологических показателей. Нефтяное загрязнение ингибирует активность ферментов, участвующих в углеводном обмене, что, в свою очередь, приводит к снижению поступающего в почву органического материала и накопленной в нем энергии, а также к аккумуляции его в почве в виде гумуса [2].

При разработке экологически и экономически обоснованных способов восстановления нефтезагрязненных почв наиболее перспективными представляются биотехнологические методы (биоремедиация), основанные на способности отдельных видов микроорганизмов использовать углеводороды нефти в качестве единственного источника энергии или переводить их в менее

токсичные формы [3–5]. Эти методы очистки почв менее негативно воздействуют на окружающую среду, нежели другие методы. Основными приемами биоремедиации являются биостимуляция и биоаугментация (биодополнение) [6].

Территория Удмуртской Республики представлена преимущественно дерново-подзолистыми суглинистыми почвами, обладающими недостаточной скоростью самовосстановления в природных климатических условиях, которые характеризуются неблагоприятными с агрономической точки зрения свойствами [7]. При проведении работ по рекультивации нефтезагрязненных почв установлено, что нефтяные углеводороды наиболее эффективно разрушаются биопрепаратами-нефтедеструкторами [8]. Содержащиеся в биопрепаратах штаммы микроорганизмов стимулируют местный почвенный биоценоз, создавая благоприятные условия для трансформации нефтяных углеводородов в их трудноокисляемые формы. В результате образуются органические соединения гумусоподобного характера, положительно влияющие на почвенное плодородие [9].

Однако эффективность применения биопрепаратов-нефтедеструкторов зависит от типа почвы, ее минерального и органического состава, температуры, влажности, содержания кислорода, характера процессов адсорбции, окисления, гидролиза

и каталитического разложения, а также от состава микробного комплекса, влияющего на скорость деградации углеводов [3]. Зачастую указанные показатели не являются оптимальными для развития углеводородокисляющих микроорганизмов и ограничивают эффективность применения биопрепаратов [10]. В связи с этим возникает необходимость увеличения внесения стартовых количеств не только биопрепаратов, но и минеральных удобрений, проведения дополнительных мероприятий по аэрации и увлажнению загрязненных почв, поэтому биологический метод рекультивации малоэффективен, либо затратен [11]. Применение биопрепаратов-нефтедеструкторов позволяет только очищать загрязненную почву от нефти, не восстанавливая ее до нужных биологических параметров.

На современном этапе исследований по ремедиации почв большое внимание уделяется изучению возможности использования симбиотических связей организмов разной таксономической принадлежности [12]. Например, связи, возникающие между высшими растениями и микроскопическими грибами (микромикетами), оказывают значительное влияние на развитие представителей обеих групп, а также на показатели плодородия почв и процессы обмена биогенными элементами [13]. Основная функция микромикетов заключается в транспортировке минеральных элементов к корневой системе растения [14, 15], вследствие чего она стимулирует микробную активность почвы, обеспечивая биологически оптимальную среду для разложения органических загрязнителей [5, 16, 17]. Кроме того, микромикеты способны проявлять ферментативную активность, направленную на деградацию органических загрязнителей [5, 14, 16]. Такие подходы уже находят свое применение в ризоремедиации — стимулировании почвенных микроорганизмов на этапе биоремедиации почв [18].

Микромикеты способны расти в широком диапазоне температуры и кислотности почвы, а когда уровень влажности почвы является весьма низким и критичным для большинства бактерий, грибы способны разлагать органические остатки и тем самым увеличивать количество азота в почве [19]. Устойчивость микоризы к полициклическим ароматическим углеводородам и изменение скорости их деградации способствует приобретению растениями питательных веществ, что отражается на формировании растительного покрова на загрязненной почве [20]. Кроме того, имеющиеся данные о совместном применении микромикетов и детоксицирующих бактерий можно использовать для разработки современных методов фиторемедиации [21]. Использование консортивных связей способно расширить

диапазон действия биопрепарата, создавая оптимальные условия для роста и развития консорциумов микроорганизмов-нефтедеструкторов. Данный прием позволяет не только повысить эффективность очистки почв от нефти, но и активировать процессы их восстановления [8]. Несмотря на то, что особенности функционирования микромикетов при фиторемедиации загрязненных почв изучены достаточно хорошо, исследований, посвященных применению эндофитных грибов при деградации нефтяного загрязнения почв проводятся крайне мало. Дальнейшее изучение особенностей функционирования микромикетов в загрязненной почвенной среде является перспективным для разработки биоремедиационных методов деструкции загрязняющих веществ [5, 22].

Поскольку характер влияния нефтяного загрязнения определяется свойствами загрязняемой почвы, главным образом ее естественной буферностью, было принято решение провести исследование на разных типах почв.

Цель работы

Цель работы — изучение перспектив использования консорциумов микроорганизмов и высших растений при восстановлении нефтезагрязненных почв.

Материалы и методы

Для определения потенциала использования культур микроскопических грибов в восстановлении нефтезагрязненных земель первоначально были проведены исследования по выявлению пределов устойчивости к действию различных концентраций нефти у некоторых изолятов (культур) микроскопических эндотрофных грибов *Fusarium equiseti* (Corda) Sacc и *Cylindrocarpon magnusianum* Wollenw, выделенных из урбано-почв с высоким уровнем загрязнения [23–25]. Микромикеты высаживали на субстраты с внесенной в них нефтью в различных концентрациях для дальнейшего наблюдения за динамикой роста и размерами колоний мицелия грибов. Оба микромикета способны выживать при высоких концентрациях нефти (до 10 %) в субстрате, однако для выживания они используют разные механизмы. *Fusarium equiseti* (Corda) Sacc в начале эксперимента отличался активным ростом, далее наблюдалось снижение скорости роста колоний. *Cylindrocarpon magnusianum* Wollenw, наоборот, в начале эксперимента не отличался активным ростом (период адаптации), а со второй недели эксперимента проявлял высокие показатели роста колоний мицелия (табл. 1, 2).

Таким образом, можно отметить видоспецифические стратегии адаптации грибов в условиях нефтяного загрязнения, которые показали,

Т а б л и ц а 1
Скорость роста колоний мицелия
Fusarium equiseti (Corda) Sacc (мм/сут)
Fusarium equiseti (Corda) Sacc mycelium
growth rate (mm/day)

Период наблюдения	Контроль	Содержание нефти в субстрате, %				
		1	2,5	5	7,5	10
1 неделя	6,5	6,8	7,2	6,8	2,5	2
2 недели	2,3	2,7	1,9	2,3	3,4	2,5
3 недели	2	0,9	0,3	0	1,6	0

Т а б л и ц а 2
Скорость роста колоний мицелия
Cylindrocarpon magnusianum Wollenw (мм/сут)
Mycelium growth rate
of *Cylindrocarpon magnusianum* Wollenw (mm/day)

Период наблюдения	Контроль	Содержание нефти в субстрате, %				
		1	2,5	5	7,5	10
1 неделя	2	1,4	1,3	1,1	0,9	0,7
2 недели	4,5	4	2,9	3,4	2,1	2,3
3 недели	2,9	3,7	0,3	2	1,9	3,2

что оба вида можно использовать в технологиях биорекультивации, но при разных условиях. *Fusarium equiseti* (Corda) Sacc целесообразно использовать при низких концентрациях нефти в субстрате и для быстрого восстановления почвы, *Cylindrocarpon magnusianum* Wollenw — при длительном нефтяном загрязнении и высоких концентрациях нефти.

Далее в лабораторных условиях с помощью экспериментов было исследовано влияние сочетания биопрепарата «Микрозим Петро Трит», содержащего бактерии деструкторов нефти, и указанных микроскопических грибов на эффективность разложения нефти. Использовали контейнеры, содержащие по 0,5 кг супесчаного или суглинистого почвенного грунта, в который, согласно схеме эксперимента, была внесена нефть массой 25 и 50 г (соответственно 50 и 100 г/кг) для моделирования 5 и 10%-го загрязнения почвы соответственно. По схеме эксперимента, биопрепарат «Микрозим Петро Трит» был внесен в виде водной суспензии из расчета 1 и 1,5 г на 1 кг почвы в вариантах 5 и 10%-го загрязнения нефтью соответственно, в соответствии с технологией применения биопрепарата. Биопрепарат представляет собой микробиологический реагент — биодеструктор нефтяных углеводородов, предназначенный для очистки почвы от загрязнения ими. Спустя 10 дней в соответствующие варианты опыта согласно схеме лабораторного эксперимента (табл. 3) были посеяны семена мятлика лугового (*Poa pratensis* L.) (норма высева 10–15 г/м²).

Через 10 дней после прорастания семян в соответствующие варианты опыта была внесена грибная суспензия (25 мл на один контейнер). Для производства суспензии [26] были использованы культуры эндотрофных микромицетов *Fusarium equiseti* (Corda) Sacc и *Cylindrocarpon magnusianum* Wollenw (табл. 3).

Лабораторный эксперимент проводили в контролируемых условиях климатической камеры BINDERKWF. С 08:00 до 18:00 был установлен дневной режим: температура +23 °С; максимальное освещение 15 000 лк; вентиляция. С 18:00 до 08:00 устанавливали ночной режим: температура +18 °С; вентиляция; отсутствие освещения. В вариантах опыта осуществлялся полив почвы.

По завершении эксперимента был проведен анализ почв на содержание нефти (ПНДФ 16.1:2.2.22–98) и основные агрохимические показатели (ГОСТ 26483–85, ГОСТ Р 54650–2011, ГОСТ 26213–91, ГОСТ 26489–85, ГОСТ 26951–86). Также были определены инвертазная активность почв (метод В.Ф. Купреевича, Т.А. Щербаковой), биологическая масса надземной части и сухое вещество растений, степень развития грибной инфекции в корневой системе растений (метод микроскопирования Травло). Обработку результатов эксперимента проводили с использованием статистического пакета Statistica 13.0.

Анализ почвенных образцов на содержание нефти проводился в Центральной экоаналитической лаборатории «Региональный центр государственного экологического контроля и мониторинга по Удмуртской Республике» (РЦ ГЭКМ УР). Количественный анализ на определение содержания нефти проведен согласно ПНДФ 16.1;2.2.22–98 «Методика выполнения измерений массовой доли нефтепродуктов в минеральных, органогенных, органоминеральных почвах» [27–29].

Среди почвенных показателей биологической активности в рамках лабораторного эксперимента определен уровень активности инвертазы. Инвертаза катализирует реакции гидролитического расщепления сахарозы на эквимолярные количества глюкозы и фруктозы, воздействует на другие углеводы с образованием молекул фруктозы — энергетического продукта для жизнедеятельности микроорганизмов, катализирует фруктозотрансферазные реакции. Исследования многих авторов показали, что активность инвертазы лучше других ферментов отражает уровень плодородия и биологической активности почв [30].

Определение активности инвертазы проведено методом В.Ф. Купреевича и Т.А. Щербаковой, основанным на измерении количества глюкозы, образующейся при гидролизе сахарозы и на способности глюкозы и фруктозы, образующихся при гидролизе сахарозы, восстанавливать медь,

Схема лабораторного эксперимента

Laboratory experiment scheme

Фактор			Варианты опытов				
Обозначение	Наименование	Градация	I	II	III	IV	
А	Содержание нефти (% массы почвы)	Градация	A1B1C1	A2B1C1	A1B1C2	A2B1C2	
	50 г/кг (5 %)						A1
	100 г/кг (10 %)						A2
В	Биоремедиант	Градация	A1B6C1	A2B6C1	A1B6C2	A2B6C2	
	Биопрепарат «Микрозим Петро Трит» (контроль)	B1					
	Фиторемедиант мятлик луговой (<i>Poa pratensis</i> L.)	B2					
	Фиторемедиант мятлик луговой (<i>Poa pratensis</i> L.) + <i>Fusarium equiseti</i> (Corda) Sacc	B3					
	Биопрепарат «Микрозим Петро Трит» + Фиторемедиант мятлик луговой (<i>Poa pratensis</i> L.) + <i>Fusarium equiseti</i> (Corda) Sacc	B4					
	Фиторемедиант мятлик луговой (<i>Poa pratensis</i> L.) + <i>Cylindrocarpon magnusianum</i> Wollenw	B5					
	Биопрепарат «Микрозим Петро Трит» + Фиторемедиант мятлик луговой (<i>Poa pratensis</i> L.) + <i>Cylindrocarpon magnusianum</i> Wollenw	B6					
С	Гранулометрический состав почвы	Градация	A1B6C1	A2B6C1	A1B6C2	A2B6C2	
	Супесчаная	C1					
	Суглинистая	C2					

Примечание. Варианты A1B1C1, A2B1C1, A1B1C2 и A2B1C2 были использованы в качестве контрольных вариантов

которая содержится в растворе Феллинга. По количеству образовавшегося оксида меди (I) определяют содержание глюкозы в растворе. Поскольку катализатором образования данных сахаров является инвертаза, то по количеству гексоз судят об инвертазной активности почвы.

В качестве контроля (варианта сравнения) для каждого типа почв и степени загрязнения использован вариант с биопрепаратом «Микрозим Петро Трит»: для супесчаной почвы и 5%-го загрязнения нефтью — контроль A1B1C1 и для 10%-го загрязнения — A2B1C1; для суглинистой почвы с 5%-м загрязнением — A1B1C2 и для 10%-го загрязнения — A2B1C2.

Результаты и обсуждение

Эксперимент проводили на суглинистой и супесчаной дерново-подзолистых почвах, наиболее подвергаемых нефтяному загрязнению в Удмуртской Республике. По окончании эксперимента при 5 и 10%-м загрязнениях супесчаной и суглинистой почв нефтью обнаружены следующие достоверные изменения в содержании нефти.

При использовании в качестве составной части биоремедиантов гриба *Fusarium equiseti* (Corda) Sacc при 5 и 10%-м загрязнении супесчаной и суг-

линистой почв нефтью достоверных изменений в содержании нефти по всем вариантам опыта не обнаружено (табл. 4).

Результаты исследований показали наибольшую эффективность использования в консорциуме биоремедиантов культур микроскопических грибов *Cylindrocarpon magnusianum* Wollenw. По окончании эксперимента установлено, что в вариантах с 5%-м внесением нефти (суглинистая почва) ее содержание составило: в варианте A1B1C2 — 9900 ± 1500 мг/кг; в вариантах с фиторемедиантом мятликом луговым (*Poa pratensis* L.) (A1B2C2) и совокупностью фиторемедиант мятлик луговой (*Poa pratensis* L.) + грибы *Cylindrocarpon magnusianum* Wollenw (A1B5C2) — 13800 ± 3500 мг/кг и 10100 ± 2500 мг/кг соответственно, что находится в рамках статистической погрешности. Достоверная разница результатов получена при использовании полного консорциума биоремедиантов — биопрепарат «Микрозим Петро Трит» + фиторемедиант мятлик луговой (*Poa pratensis* L.) + гриб *Cylindrocarpon magnusianum* Wollenw (A1B6C2). В этом случае конечное содержание нефти в почве составило 5400 ± 1600 мг/кг. Достоверная разница результатов установлена и при 10%-м

Т а б л и ц а 4

Конечное содержание нефти (мг/кг) в вариантах опыта с супесчаной и суглинистой почвами при использовании гриба *Fusarium equiseti* (Corda) Sacc

Final oil content (mg/kg) in the experiment with sandy and loamy soils using the fungus *Fusarium equiseti* (Corda) Sacc

Тип почвы по гранулометрическому составу	Содержание нефти, %	Биоремедианты			
		B1	B2	B3	B4
Суглинистая (C2)	5 (A1)	9900 ± 1500	13800 ± 3500	11300 ± 2800	12000 ± 3000
	10 (A2)	20300 ± 5100	26600 ± 6700	23800 ± 6000	22000 ± 5500
Супесчаная (C1)	5 (A1)	11000 ± 2800	16600 ± 4100	13000 ± 3300	11600 ± 2800
	10 (A2)	27000 ± 6800	31000 ± 7700	32500 ± 8100	27900 ± 7000

Примечание. B1–B4 — см. табл. 3.

Т а б л и ц а 5

Конечное содержание нефти (мг/кг) в вариантах опыта с супесчаной и суглинистой почвами при использовании гриба *Cylindrocarpon magnusianum* Wollenw

Final oil content (mg/kg) in the experimental variants with sandy and loamy soils using the fungus *Cylindrocarpon magnusianum* Wollenw

Тип почвы по гранулометрическому составу	Содержание нефти, %	Биоремедианты			
		B1	B2	B5	B6
Суглинистая (C2)	5 (A1)	9900 ± 1500	13800 ± 3500	10100 ± 2500	5400 ± 1600
	10 (A2)	20300 ± 2100	26600 ± 6700	19000 ± 4700	14300 ± 2800
Супесчаная (C1)	5 (A1)	11000 ± 2800	16600 ± 4100	10800 ± 2700	6800 ± 1300
	10 (A2)	27000 ± 6800	31000 ± 7700	25600 ± 6400	18300 ± 4600

Примечание. B1, B2, B5, B6 — см. табл. 3.

загрязнении, причем именно при использовании полного консорциума биоремедиантов.

На супесчаных почвах зафиксировано достоверное снижение содержания нефти при моделировании 5%-го загрязнения почв нефтью при использовании полного консорциума – биопрепарат «Микрозим Петро Трит» + фиторемедиант мятлик луговой (*Poa pratensis* L.) + гриб *Cylindrocarpon magnusianum* Wollenw (A1B6C1) по сравнению с вариантом A1B1C1 контролем: 11000 ± 2800 мг/кг и 6800 ± 1300 мг/кг соответственно (табл. 5).

Определена биологическая (инвертазная) активность почвы. Активность инвертазы более других ферментов отражает уровень плодородия и биологической активности почв. В процессе исследования изучено также влияние различных сочетаний биоремедиантов на инвертазную активность почвы, подвергнушуюся загрязнению нефтью.

При использовании гриба *Fusarium equiseti* (Corda) Sacc получены следующие значения инвертазной активности нефтезагрязненных почв (табл. 6). В варианте с полным составом биоремедиантов на супесчаной почве с 5%-м загрязнением нефтью — Биопрепарат «Микрозим Петро Трит» + фиторемедиант мятлик луговой

(*Poa pratensis* L.) + гриб *Fusarium equiseti* (Corda) Sacc (A1B4C1) изменение значений инвертазной активности оказалось достоверным и более чем в 1,2 раза больше, чем в варианте A1B1C1. В варианте A1B4C1 значение инвертазной активности оказалось достоверно почти в 1,8 раза больше варианта, содержащего совокупность фиторемедиант мятлик луговой (*Poa pratensis* L.) + + гриб *Fusarium equiseti* (Corda) Sacc (A1B3C1). При 10%-м загрязнении нефтью значение инвертазной активности во всех вариантах оказалось достоверно ниже, чем в варианте A2B1C1, в котором был использован только биопрепарат. Таким образом, на супесчаной почве при 5%-м загрязнении нефтью большее положительное влияние на биологическую активность почвы оказал полный состав биоремедиантов с грибом *Fusarium equiseti* (Corda) Sacc. При 10%-м загрязнении положительное влияние на изменение активности инвертазы выявлено при внесении биопрепарата «Микрозим Петро Трит».

На суглинистой почве при 5%-м загрязнении нефтью в варианте биопрепарат «Микрозим Петро Трит» + фиторемедиант мятлик луговой (*Poa pratensis* L.) + гриб *Fusarium equiseti* (Corda) Sacc (A1B4C2) значение инвертазной активности

Т а б л и ц а 6

**Значение инвертазной активности почв (мг глюкозы/г почвы в сут.)
в опыте с применением гриба *Fusarium equiseti* (Corda) Sacc**

The value of soil invertase activity (mg glucose/g soil per day) in the experiment using
the fungus *Fusarium equiseti* (Corda) Sacc

Тип почвы по гранулометрическому составу	Содержание нефти, %	Биоремедианты			
		B1	B2	B3	B4
Суглинистая (C2)	5 (A1)	11,5 ± 1,4	–	16,9 ± 1,4	15,3 ± 1,0
	10 (A2)	13,5 ± 1,1	16,1 ± 0,5	15,0 ± 0,5	31,8 ± 0,4
Супесчаная (C1)	5 (A1)	21,0 ± 3,3	18,2 ± 10,1	14,8 ± 0,1	26,3 ± 2,0
	10 (A2)	37,1 ± 1,4	28,6 ± 13	22,2 ± 3,5	27,0 ± 3,2

Примечание. B1–B4 — см. табл. 3.

Т а б л и ц а 7

**Значение инвертазной активности почв (мг глюкозы/г почвы в сут.)
в опыте с применением гриба *Cylindrocarpon magnusianum* Wollenw**

The value of soil invertase activity (mg glucose/g soil per day) in the experiment with
the fungus *Cylindrocarpon magnusianum* Wollenw

Тип почвы по гранулометрическому составу	Содержание нефти, %	Биоремедианты			
		B1	B2	B5	B6
Суглинистая (C2)	5 (A1)	11,5 ± 1,4	–	18,2 ± 0,7	19,9 ± 0,7
	10 (A2)	13,5 ± 1,1	16,1 ± 0,5	21,1 ± 0,8	22,3 ± 0,9
Супесчаная (C1)	5 (A1)	21,0 ± 3,3	18,2 ± 10,1	21,0 ± 1,8	27,6 ± 2,4
	10 (A2)	37,1 ± 1,4	28,6 ± 13	26,7 ± 2,1	35,5 ± 1,7

Примечание. B1, B2, B5, B6 — см. табл. 3.

почвы оказалось достоверно более чем в 1,3 раза больше варианта A1B1C2. При 10%-м загрязнении нефтью суглинистой почвы в варианте Биопрепарат «Микрозим Петро Трит» + фиторемедиант мятлик луговой (*Poa pratensis* L.) + + гриб *Fusarium equiseti* (Corda) Sacc (A2B4C2) инвертазная активность оказалась более чем в 2 раза больше, чем в варианте A2B1C2. Таким образом, на суглинистой почве с 5%-м загрязнением нефтью использование полного состава биоремедиантов с грибом-эндофитом *Fusarium equiseti* (Corda) Sacc оказало большее достоверное влияние и вызвало увеличение биологической активности почвы по сравнению с действием одного лишь биопрепарата. При 10%-м загрязнении применение каждой из предложенных совокупностей биоремедиантов оказалось более эффективным по сравнению с применением биопрепарата.

Получены значения инвертазной активности почв при использовании гриба-эндофита *C. magnusianum* (табл. 7).

Значение активности инвертазы в супесчаной почве при 5%-м загрязнении нефтью в варианте A1B6C1 оказалось достоверно почти в 1,3 раза больше, чем в варианте A1B1C1. Этот результат подтвердил, что при 5%-м загрязнении нефтью

супесчаной почвы применение биопрепарата «Микрозим Петро Трит» в совокупности с Фиторемедиантом мятлик луговой (*Poa pratensis* L.) и грибами *Cylindrocarpon magnusianum* Wollenw оказывает большее влияние на повышение уровня активности инвертазы, чем внесение биопрепарата. При 10%-м загрязнении нефтью достоверных изменений по сравнению с вариантом A2B1C1 не обнаружено, кроме варианта Фиторемедиант мятлик луговой (*Poa pratensis* L.) + гриб *Cylindrocarpon magnusianum* Wollenw (A2B5C1), в котором значение активности инвертазы оказалось значительно ниже.

На суглинистой почве при 5%-м загрязнении нефтью значения активности инвертазы оказались значительно выше, чем в варианте A1B1C2. В вариантах Фиторемедиант мятлик луговой (*Poa pratensis* L.) + гриб *Cylindrocarpon magnusianum* Wollenw (A1B5C2) и Фиторемедиант мятлик луговой (*Poa pratensis* L.) + гриб *Cylindrocarpon magnusianum* Wollenw + Биопрепарат «Микрозим Петро Трит» (A1B6C2) показатель инвертазы более чем в 1,5 и 1,7 раза соответственно превысил значения варианта A1B1C2. Таким образом, варианты A1B5C2 и A1B6C2 оказывают большее положительное влияние на формирование

микробиологического состава почвы, чем использование варианта А1В1С2, содержащего лишь биопрепарат «Микрозим Петро Трит» в качестве биоремедианта. Аналогичный результат продемонстрирован и на суглинистой почве с 10%-м загрязнением нефтью: в вариантах Фиторемедиант мятлик луговой (*Poa pratensis* L.) + гриб *Cylindrocarpon magnusianum* Wollenw (А2В5С2) и А2В6С2 значение активности инвертазы оказалось соответственно более чем в 1,5 и 1,6 раза выше значений варианта А2В1С2.

Выводы

Проведенные исследования дают возможность определить перспективы использования консорциума, состоящего из микроскопических грибов, углеводородокисляющих микроорганизмов биопрепарата и высших растений для проведения эффективного биологического этапа восстановления нефтезагрязненных почв с точки зрения деструкции нефти и восстановления их биологической активности.

Выявленные видоспецифические стратегии адаптации микроскопических грибов позволяют использовать их в технологиях биоремедиации при разных условиях. *Fusarium equiseti* (Corda) Sacc целесообразно использовать при низких концентрациях нефти в субстрате и при необходимости быстрого восстановления почвы, *Cylindrocarpon magnusianum* Wollenw — при длительном нефтяном загрязнении и высоких концентрациях нефти.

По сравнению с использованием лишь одного биопрепарата «Микрозим Петро Трит» применение культур микроскопических грибов *Cylindrocarpon magnusianum* Wollenw в сочетании с биопрепаратом и фиторемедиантом мятликом луговым (*Poa pratensis* L.) демонстрирует большую эффективность для деструкции нефтяного загрязнения дерново-подзолистых суглинистых и супесчаных почв при относительно разном содержании нефти в почвах (от 5 до 10 %).

Использование грибов *Fusarium equiseti* (Corda) Sacc и *Cylindrocarpon magnusianum* Wollenw в комплексе с фитомелиорантом и биопрепаратом способствует более эффективному восстановлению биологической (инвертазной) активности почвы по сравнению с использованием биопрепарата как при 5%-м, так и при 10%-м уровнях загрязнения нефтью.

Список литературы

- [1] Аржанников В.П., Громова О.В. Агротелиорация – эффективный метод восстановления биопотенциала нефтезагрязненных земель в условиях Севера // Освоение Севера и проблемы природовосстановления. Тезисы V междунар. конф., Сыктывкар, 05–08 июня 2001 г. Сыктывкар: ФИЦ Коми научный центр УрО РАН, 2001. С. 8–9.
- [2] Новоселова Е.И., Киреева Н.А., Гарипова М.И. Роль ферментативной активности почв в осуществлении ею трофической функции в условиях нефтяного загрязнения // Вестник Башкирского университета, 2014. Т. 19. № 2. С. 474–478.
- [3] Назарько М.Д., Щербаков В.Г., Александрова А.В. Перспективы использования микроорганизмов для биодegradации нефтяных загрязнений почв // Изв. вузов. Пищевая технология, 2004. № 4. С. 89–91.
- [4] Iskandar N.L., Zainudin N., Tan S.G. Tolerance and biosorption of copper (Cu) and lead (Pb) by filamentous fungi isolated from a freshwater ecosystem // J. of Environmental Sciences, 2011, v. 23, pp. 824–830.
- [5] Mishra R., Sarma V. Mycoremediation of Heavy Metal and Hydrocarbon Pollutants by Endophytic Fungi // Mycoremediation and Environmental Sustainability. Fungal Biology, 2017, v. 1, pp. 133–151.
- [6] Марченко М.Ю., Шуктуева М.И. Биоремедиация нефтезагрязненных почв // Башкирский химический журнал, 2011. Т. 18. № 4. С. 191–195.
- [7] Леднев А.В. Изменение свойств дерново-подзолистых суглинистых почв Среднего Предуралья при создании мульчирующего слоя: автореф. дис. ... канд. с.-х. наук: 06.01.03. М., 1998. 24 с.
- [8] Лямзин В.И., Бухарина И.Л., Здобяхина О.В., Исламова Н.А., Загребина В.С. Исследование эффективности совместного применения биопрепарата-нефтедеструктора и эндотрофных грибов на этапе биологического восстановления нефтезагрязненных земель // Астраханский вестник экологического образования, 2018. № 3 (45). С. 94–98.
- [9] Chaineau C.H., Morel J.L., Oudot J. Biodegradation of fuel oil hydrocarbons in the rhizosphere of maize // J. of Environ. Quality, 2000, v. 29, pp. 569–578.
- [10] Christofi N., Ivshina I.B., Kuykina M.S. Biological treatment of crude oil contaminated soil in Russia // Contaminated Land and Groundwater. Future Directions. London: Geological Society Engineering Geology Publications, 1998, v. 14, pp. 45–51.
- [11] Лямзин В.И., Бухарина И.Л., Исламова Н.А., Здобяхина О.В. Роль микроскопических грибов в восстановлении нефтезагрязненных земель // Биологическая рекультивация нарушенных земель: Материалы X Всерос. науч. конф. с междунар. участием, Екатеринбург, 04–07 сентября 2017 г. Екатеринбург: Изд-во УГЛТУ, 2017. С. 179–185.
- [12] Киреева Н.А., Галимзянова Н.Ф., Мифтахова А.М. Микробиоты почв, загрязненных нефтью, и их фитотоксичность // Микология и фитопатология, 2000. № 1. С. 36–41.
- [13] Мифтахова А.М. Некоторые аспекты взаимоотношений высших растений и микроскопических грибов в почвах, загрязненных нефтью // Вестник Башкирского университета, 2005. № 3. С. 41–46.
- [14] Nwoko C.O. The Contributions of mycorrhizas in the mineralization of organic contaminants // Enhancing Cleanup of Environmental Pollutants, 2017, pp. 101–116.
- [15] Siddiqui Z.A., Pichtel J. Mycorrhizae: an overview // Mycorrhizae: Sustainable Agriculture and Forestry, 2008, pp. 1–35.
- [16] Vosatka M, Rydlova J., Sudova R., Vohnik M. Mycorrhizal fungi as helping agents in phytoremediation of degraded and contaminated soils // Phytoremediation Rhizoremediation, 2006, pp. 237–257.
- [17] Gao Y., Cheng Z., Ling W., Huang J. Arbuscular mycorrhizal fungal hyphae contribute to the uptake of polycyclic aromatic hydrocarbons by plant roots // Bioresour Technol, 2011, no. 101, pp. 6895–6901.

- [18] Prabhu A.A., Chityala S., Jayachandran D., Naik N., Dasu V.V. Rhizoremediation of Environmental Contaminants Using Microbial Communities // Plant-Microbe Interactions in Agro-Ecological Perspectives, 2017, pp. 433–453. DOI: 10.1007/978-981-10-6593-4_17
- [19] Hoorman J. The role of soil fungus // Fact Sheet Agriculture and Natural Resources. Ohio: The Ohio State University Extensions, 2011, pp. 1–6.
- [20] Mathur N., Singh J., Bohra S. Arbuscular Mycorrhizal Fungi: A Potential Tool for Phytoremediation // J. of Plant Sciences, 2007, v. 2, pp. 127–140.
- [21] Tarkka M.T., Frey-Klett P. Mycorrhiza Helper Bacteria // Mycorrhiza, 2008, pp. 113–132.
- [22] Garg N., Chandel S. Arbuscular mycorrhizal networks: process and functions. A review // Agronomy for sustainable, 2010, v. 30, pp. 581–599.
- [23] Бухарина И.Л., Исламова Н.А., Жавад А.Ф., Лебедева М.А., Шашов Л.О. Влияние инокулята *Cylindrocarpon magnusianum* на формирование адаптивных реакций растений к стрессовым факторам // Аграрная Россия, 2019, № 12, С. 26–32.
- [24] Bukharina I.L., Islamova N.A., Lebedeva M.A. Species of fungi in the root system of woody plants in urban plantations // The Fourth International Scientific Conference Ecology and Geography of Plants and Plant Communities. KnE Life Sciences, 2018, pp. 49–55.
- [25] Bukharina I., Franken P., Kamasheva A., Vedernikov K., Islamova N. About the species composition of microscopic fungi in soils and woody plant roots in urban environment // International J. of Advanced Biotechnology and Research, 2016, v. 7 (4), pp. 138–394.
- [26] Бухарина И.Л., Исламова Н.А. Способ приготовления и внесения грибного биопрепарата для повышения устойчивости растений / Патент 2722206 Российская Федерация, МПК C12N15/11, заявитель и патентообладатель Удмурт. гос. ун-т. Бюл. № 16. 16 с.
- [27] ГОСТ Р 54039–2010. Экспресс-метод спектроскопии в ближней инфракрасной области для определения содержания нефтепродуктов. М.: Стандартинформ, 2019. 8 с.
- [28] Другов Ю.С., Родин А.А. Экологические анализы при разливах нефти и нефтепродуктов практическое руководство. М.: БИНОМ. Лаборатория знаний, 2007. 270 с.
- [29] Рябов В.Д. Химия нефти и газа. М.: ФОРУМ, 2009. 336 с.
- [30] Ковриго В.П., Кауричев И.С., Бурлакова Л.М. Почвоведение с основами геологии. М.: Колос, 2000. 416 с.

Сведения об авторах

Бухарина Ирина Леонидовна [✉] — д-р биол. наук, директор Института гражданской защиты, зав. кафедрой инженерной защиты окружающей среды, ФГБОУ ВО «Удмуртский государственный университет», buharin@udmlink.ru

Исупова Анастасия Анатольевна — аспирант, ФГБОУ ВО «Удмуртский государственный университет», isupova.anastasiya.96@mail.ru

Лямзин Владимир Иванович — ст. преподаватель кафедры инженерной защиты окружающей среды, ФГБОУ ВО «Удмуртский государственный университет», v-lyamzin@mail.ru

Лебедева Мария Андреевна — ст. преподаватель кафедры инженерной защиты окружающей среды, ФГБОУ ВО «Удмуртский государственный университет», mariya-lebedeva-7@bk.ru

Поступила в редакцию 10.06.2022.

Одобрено после рецензирования 20.09.2022.

Принята к публикации 07.10.2022.

USE PROSPECTS FOR MICROORGANISMS CONSORTIUMS AND HIGHER PLANTS IN OIL-CONTAMINATED LANDS RESTORATION

I.L. Bukharina[✉], A.A. Isupova, V.I. Lyamzin, M.A. Lebedeva

Udmurt State University, 1, Universitetskaya st., 426034, Izhevsk, Russia

buharin@udmlink.ru

The article presents the research results on the use of microscopic endotrophic fungi cultures in oil-contaminated soils bioremediation. The resistance limits of microscopic fungi *Fusarium equiseti* (Corda) Sacc and *Cylindrocarpon magnusianum* Wollenw isolates (cultures), isolated from urban soils with a high level of pollution, were studied to various oil concentrations. Wide limits of microscopic fungi tolerance to oil content were revealed. Also, the cleaning efficiency and restoring the biological activity of oil-contaminated soils was studied using a ameliorants consortium: the biological product «Mikrozim Petro Treat», containing a number of oil degrading bacteria, the plant ameliorant Kentucky bluegrass (*Poa pratensis* L.) and microscopic fungi. A laboratory experiment was carried out to simulate 5 and 10 % soil pollution (sandy loam and loamy soddy podzolic soils) with oil. The greatest efficiency was established when using the full ameliorants composition with microscopic fungi cultures *Cylindrocarpon magnusianum* Wollenw (the biological product + plant ameliorant + microscopic fungi): at the end of the experiment, in variants with 5 % oil content on both soil textures and 10 % oil pollution (loamy soil), the oil content was significantly lower than in the control (using only a biological product). On loamy soil at 5 and 10 % oil content, the invertase activity indicator of soils at the end of the experiment exceeded the control in the variant with the use of a combination of ameliorants plant ameliorant + fungi, and maximum — in the variant of the complete ameliorant consortium. These results were obtained using both cultures of microscopic fungi. On sandy loamy soils, a significant increase in the biological activity of soils compared to the control was established only at 5 % oil content and only in the variant using a complete consortium of ameliorants with the fungi *Cylindrocarpon magnusianum* Wollenw. The results obtained allow us to state the efficiency of the joint application of the biological product, higher plants and microscopic fungi in bioremediation of oil-contaminated soils.

Keywords: oil pollution, bioremediation, biological activity of soil, micromycetes, biological product

Suggested citation: Bukharina I.L., Isupova A.A., Lyamzin V.I., Lebedeva M.A. *Perspektivy ispol'zovaniya konsortiumov mikroorganizmov i vysshikh rasteniy v vosstanovlenii neftezagryaznennykh zemel'* [Use prospects for microorganisms consortiums and higher plants in oil-contaminated lands restoration]. *Lesnoy vestnik / Forestry Bulletin*, 2022, vol. 26, no. 6, pp. 14–23. DOI: 10.18698/2542-1468-2022-6-14-23

References

- [1] Arzhannikov V.P., Gromova O.V. *Agromelioratsiya — effektivnyy metod vosstanovleniya biopotsiala neftezagryaznennykh zemel' v usloviyakh Severa* [Agromelioration is an effective method for restoring the biopotential of oil-contaminated lands in the North]. *Osvoenie Severa i problemy prirodovosstanovleniya. Tezisy V mezhdunarodnoy konferentsii* [Development of the North and the problems of nature restoration: Tez. V Intern. Conf.], 2001, pp. 8–9.
- [2] Novoselova E.I., Kireeva N.A., Garipova M.I. *Rol' fermentativnoy aktivnosti pochv v osushchestvlenii eyu troficheskoy funktsii v usloviyakh neftyanogo zagryazneniya* [The role of enzymatic activity of soils in the exercise of its trophic function under conditions of oil contamination]. *Vestnik Bashkirskogo universiteta* [Bulletin of the Bashkir University], 2014, v. 19, no. 2, pp. 474–478.
- [3] Nazar'ko M.D., Shcherbakov V.G., Aleksandrova A.V. *Perspektivy ispol'zovaniya mikroorganizmov dlya biodegradatsii neftyanykh zagryazneniy pochv* [Prospects of using microorganisms for biodegradation of oil contamination of soils]. *Izvestiya vuzov. Pishchevaya tekhnologiya* [News Universities. Food technology], 2004, no. 4, pp. 89–91.
- [4] Iskandar N.L., Zainudin N., Tan S.G. *Tolerance and biosorption of copper (Cu) and lead (Pb) by filamentous fungi isolated from a freshwater ecosystem*. *J. of Environmental Sciences*, 2011, v. 23, pp. 824–830.
- [5] Mishra R., Sarma V. *Mycoremediation of Heavy Metal and Hydrocarbon Pollutants by Endophytic Fungi*. *Mycoremediation and Environmental Sustainability. Fungal Biology*, 2017, v. 1, pp. 133–151.
- [6] Marchenko M.Yu., Shukhtueva M.I. *Bioremediatsiya neftezagryaznennykh pochv* [Bioremediation of oil contaminated soils]. *Bashkirskiy khimicheskii zhurnal* [Bashkir chemical journal], 2011, v. 18, no. 4, pp. 191–195.
- [7] Lednev A.V. *Izmenenie svoystv dernovo-podzolistykh suglinistykh pochv Srednego Predural'ya pri sozdanii mul'chiruyushchego sloya* [Properties changes of soddy-podzolic loamy soils of the Middle Urals at creating a mulch layer]. *Dis. Cand. Sci (Agric.)* 06.01.03. Moscow, 1998, 24 p.
- [8] Lyamzin V.I., Bukharina I.L., Zdobyakhina O.V., Islamova N.A., Zagrebina V.S. *Issledovanie effektivnosti sovmestnogo primeneniya biopreparata-neftedestruktora i endotrofnyykh gribov na etape biologicheskogo vosstanovleniya neftezagryaznennykh zemel'* [Research of the effectiveness of the joint application of the biological product and endotrophic fungi at the stage of biological recovery of oil contaminated soils]. *Astrakhanskiy vestnik ekologicheskogo obrazovaniya* [Astrakhan bulletin of ecological education], 2018, no. 3 (45), pp. 94–98.
- [9] Chaineau C.H., Morel J.L., Oudot J. *Biodegradation of fuel oil hydrocarbons in the rhizosphere of maize*. *J. of Environ. Quality*, 2000, v. 29, pp. 569–578.
- [10] Christofi N., Ivshina I.B., Kuykina M.S. *Biological treatment of crude oil contaminated soil in Russia*. *Contaminated Land and Groundwater. Future Directions*. London: Geological Society Engineering Geology Publications, 1998, v. 14, pp. 45–51.
- [11] Lyamzin V.I., Bukharina I.L., Islamova N.A., Zdobyakhina O.V. *Rol' mikroskopicheskikh gribov v vosstanovlenii neftezagryaznennykh zemel'* [The role of microscopic fungi in the bioremediation of oil contaminated soils]. *Biologicheskaya*

- rekul'tivatsiya narushennykh zemel': Materialy X Vserossiyskoy nauchnoy konferentsii s mezhdunar. uchastiem [Biological remediation of disturbed lands: Materials of the X All-Russian scientific conference with international participation]. Ekaterinburg, 04–07 sentyabrya 2017. Yekaterinburg, Ural Forest Engineering University, 2017, pp. 179–185.
- [12] Kireeva N.A., Galimzyanova N.F., Miftakhova A.M. *Mikromitsety pochv, zagryaznennykh nefi'yu, i ikh fitotoksichnost'* [Micromycetes of soils polluted with oil and their phytotoxicity]. Mikologiya i fitopatologiya [Mycology and phytopathology], 2000, no. 1, pp. 36–41.
- [13] Miftakhova A.M. *Nekotorye aspekty vzaimootnosheniy vysshikh rasteniy i mikroskopicheskikh gribov v pochvakh, zagryaznennykh nefi'yu* [Some aspects of the relationship between higher plants and microscopic fungi in soils polluted with oil]. Vestnik Bashkirskogo universiteta [Bulletin of the Bashkir University], 2005, no. 3, pp. 41–46.
- [14] Nwoko C.O. The Contributions of mycorrhizas in the mineralization of organic contaminants. *Enhancing Cleanup of Environmental Pollutants*, 2017, pp. 101–116.
- [15] Siddiqui Z.A., Pichtel J. Mycorrhizae: an overview. *Mycorrhizae: Sustainable Agriculture and Forestry*, 2008, pp. 1–35.
- [16] Vosatka M., Rydlova J., Sudova R., Vohnik M. Mycorrhizal fungi as helping agents in phytoremediation of degraded and contaminated soils. *Phytoremediation Rhizoremediation*, 2006, pp. 237–257.
- [17] Gao Y., Cheng Z., Ling W., Huang J. Arbuscular mycorrhizal fungal hyphae contribute to the uptake of polycyclic aromatic hydrocarbons by plant roots. *Bioresour Technol*, 2011, no. 101, pp. 6895–6901.
- [18] Prabhu A.A., Chityala S., Jayachandran D., Naik N., Dasu V.V. Rhizoremediation of Environmental Contaminants Using Microbial Communities. *Plant-Microbe Interactions in Agro-Ecological Perspectives*, 2017, pp. 433–453. DOI: 10.1007/978-981-10-6593-4_17
- [19] Hoorman J. The role of soil fungus. *Fact Sheet Agriculture and Natural Resources*. Ohio: The Ohio State University Extensions, 2011, pp. 1–6.
- [20] Mathur N., Singh J., Bohra S. Arbuscular Mycorrhizal Fungi: A Potential Tool for Phytoremediation. *J. of Plant Sciences*, 2007, v. 2, pp. 127–140.
- [21] Tarkka M.T., Frey-Klett P. Mycorrhiza Helper Bacteria. *Mycorrhiza*, 2008, pp. 113–132.
- [22] Garg N., Chandel S. Arbuscular mycorrhizal networks: process and functions. *A review. Agronomy for sustainable*, 2010, v. 30, pp. 581–599.
- [23] Bukharina I.L., Islamova N.A., Zhavad A.F., Lebedeva M.A., Shashov L.O. *Vliyaniye inokulyata *Cylindrocarpon magnusianum* na formirovaniye adaptivnykh reaksiiy rasteniy k stressovym faktoram* [Influence of *Cylindrocarpon magnusianum* inoculate on the formation of adaptive reactions of plants to stress factors]. *Agrarnaya Rossiya* [Agrarian Russia], 2019, no. 12, pp. 26–32.
- [24] Bukharina I.L., Islamova N.A., Lebedeva M.A. Species of fungi in the root system of woody plants in urban plantations. *The Fourth International Scientific Conference Ecology and Geography of Plants and Plant Communities*. KnE Life Sciences, 2018, pp. 49–55.
- [25] Bukharina I., Franken P., Kamasheva A., Vedernikov K., Islamova N. About the species composition of microscopic fungi in soils and woody plant roots in urban environment. *International J. of Advanced Biotechnology and Research*, 2016, v. 7 (4), pp. 138–394.
- [26] Bukharina I.L., Islamova N.A. *Sposob prigotovleniya i vneseniya gribnogo biopreparata dlya povysheniya ustoychivosti rasteniy* [Method of preparation and application of a fungi biological product to increase plant resistance]. Patent RF, no 2722206, 2020.
- [27] GOST R 54039–2010. *Ekspress-metod spektroskopii v blizhney infrakrasnoy oblasti dlya opredeleniya sodержaniya nefteproduktov* [State Standard 54039–2010. Soil quality. Rapid near-infrared spectroscopic method for the determination of oil products]. Moscow: Standartinform, 2019, 8 p.
- [28] Drugov Yu.S., Rodin A.A. *Ekologicheskie analizy pri razlivakh nefi i nefteproduktov prakticheskoe rukovodstvo* [Environmental analyses in oil and petroleum product spills: a practical guide]. Moscow: Binom, 2007, 270 p.
- [29] Ryabov V.D. *Khimiya nefi i gaza* [Chemistry of oil and gas: a textbook]. Moscow: Forum, 2009, 336 p.
- [30] Kovrigo V.P., Kaurichev I.S., Burlakova L.M. *Pochvovedeniye s osnovami geologii* [Soil science with the geology basics]. Moscow: Kolos, 2000, 416 p.

Authors' information

Bukharina Irina Leonidovna — Dr. Sci. (Biology), Professor, Head of Institute of Civil Defense and Department of Environmental Engineering of Udmurt State University, buharin@udmlink.ru

Isupova Anastasiya Anatol'evna — pg. of Udmurt State University, isupova.anastasiya.96@mail.ru

Lyamzin Vladimir Ivanovich — Senior Lecturer of the Department of Environmental Engineering of Udmurt State University, v-lyamzin@mail.ru

Lebedeva Mariya Andreevna — Senior Lecturer of the Department of Environmental Engineering of Udmurt State University, mariya-lebedeva-7@bk.ru

Received 10.06.2022.

Approved after review 20.09.2022.

Accepted for publication 07.10.2022.

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 ВОССТАНОВЛЕНИЯ НАРУШЕННЫХ ФИТОЦЕНОЗОВ НА СЕВЕРЕ РЕСПУБЛИКИ КОМИ

Ю.О. Бушуева, Т.Л. Егошина✉, Ю.В. Гудовских,
А.В. Ярославцев, Е.А. Лугинина

ВНИИ Охотничьего хозяйства и звероводства имени профессора Б.М. Житкова, Россия, 610000, г. Киров,
ул. Преображенская, д. 79

etl@inbox.ru

Представлены результаты исследования 17 фитоценозов, находящихся на различных стадиях восстановления растительных сообществ, в северо-таежных экосистемах Усинского района Республики Коми. Определены местообитания редкого вида семейства Orchidaceae — *Dactylorhiza maculata* (L.) Soó. Выделены этапы восстановления изученных сообществ, а также определена степень антропогенной трансформации. Для оценки степени устойчивости фитоценозов к антропогенному воздействию определен индекс гемеробности, показаны спектры гемеробности исследованных сообществ.

Ключевые слова: рекультивация, восстановление фитоценозов, редкие виды, антропогенная устойчивость, Республика Коми

Ссылка для цитирования: Бушуева Ю.О., Егошина Т.Л., Гудовских Ю.В., Ярославцев А.В., Лугинина Е.А. Особенности восстановления нарушенных фитоценозов на севере Республики Коми // Лесной вестник / Forestry Bulletin, 2022. Т. 26. № 6. С. 24–32. DOI: 10.18698/2542-1468-2022-6-24-32

Территории Севера России характеризуется особенностями, обусловленными расположением в основном в высоких широтах и экстремальными климатогеографическими условиями. Все эти факторы необходимо учитывать при проведении мероприятий по восстановлению земель, которые выполняются в два этапа — технической и биологической рекультивации [1].

Республика Коми (далее — РК) богата ресурсами, в том числе углеводородами — нефтью, углем, газом, при добыче которых естественные экосистемы подвергаются большой антропогенной нагрузке.

Максимум площадей нарушенных земель РК приходится на северные районы, где расположены основные месторождения полезных ископаемых [2]. В настоящее время площадь нарушенных земель в РК составляет 15,8 тыс. га [3, 4], поэтому изучение особенностей их рекультивации и формирования фитоценозов, приближенных к естественным, является актуальным направлением исследований.

Цель работы

Цель работы — изучение особенностей восстановления нарушенных фитоценозов в северо-таежных экосистемах.

Материалы и методы

Исследования проводились в полевой сезон 2021 г. по 17 фитоценозам, находящимся на раз-

личных стадиях восстановления растительных сообществ. Объекты исследования расположены в северо-таежных экосистемах Усинского района РК. Их изучение проводилось общепринятыми методами [5]. Исследуемые ландшафты относятся к антропогенно-нарушенным синантропным, формирующимся на зарастающих искусственных отвалах верхних техногрунтов, частично подвергнутых рекультивации в виде выравнивания рельефа, и посевах злаково-клеверной газонной смеси.

Исследуемые фитоценозы были объединены в три группы по степени восстановления: естественное возобновление (без выравнивания рельефа); возобновление на основе технического и биологического этапа рекультивации (выравнивание рельефа, посев газонной смеси клеверно-злаковой); восстановление без посева газона на выровненном рельефе.

Для оценки степени устойчивости фитоценозов к антропогенному воздействию был применен показатель гемеробии. Гемеробность определяли по составу видов в растительных сообществах, в которых каждый вид имеет индивидуальный спектр толерантности к антропогенным факторам [6–8]. При оценке устойчивости сообществ установили долю антропогенно-устойчивых видов (b-c-p-t отрезок спектра гемеробии) в растительных сообществах (показатель апофитизма) [9].

Результаты и обсуждение

На начальных этапах естественного восстановления без выравнивания рельефа сформировались следующие типы луговых сообществ:

разнотравно-злаковый, пушицево-осоковый, заболоченный на месте техногенно измененного покрова и клеверно-пижмовый луга.

Разнотравно-злаковый луг представлял собой полностью нарушенный фитоценоз. В травяно-кустарничковом ярусе (ярус ТК) преобладали *Tussilago alpestris* Hegetschw., *Equisetum arvense* L., *Trifolium pratense* L., *Festuca pratensis* Huds., *Poa pratensis* L. Мохово-лишайниковый ярус (ярус МЛ) представлен *Fistulina hepatica*, *Mnium undulatum* Hedw. Проективное покрытие (ПП) травостоя составляло 60 %. В данном фитоценозе был обнаружен редкий вид семейства Orchidaceae — *Dactylorhiza maculata* (L.) Soб.

Пушицево-осоковый луг представлял собой полностью нарушенный фитоценоз, в ярусе ТК которого преобладали *Eriophorum vaginatum* L., *Carex acuta* L., *Tussilago alpestris* Hegetschw., *Equisetum fluviatile* L. Проективное покрытие яруса ТК составило 30 %. Мохово-лишайниковый ярус отсутствовал. В ярусе ТК был обнаружен редкий вид — *D. maculata*.

На месте частично техногенно измененного растительного и почвенного покрова сформировался заболоченный луг. В ярусе ТК доминировали *Filipendula ulmaria* (L.) Maxim., *Equisetum fluviatile* L., *Pedicularis palustris* L., *Trollius europaeus* L. Мохово-лишайниковый покров на данной территории отсутствовал. Проективное покрытие яруса ТК составляло 50 %. В изученном фитоценозе в достаточно большом количестве была представлена ценопопуляция *D. maculata*.

Молодой березняк сформировался в частично нарушенном фитоценозе без выравнивания рельефа. В подросте зафиксированы *Betula pubescens* Ehrh., *Picea obovata* Ledeb., в подлеске — *Juniperus communis* L. Доминантными видами в ярусе ТК являлись *Rubus saxatilis* L., *Vaccinium vitis-idaea* L., *Vaccinium myrtillus* L., *Equisetum sylvaticum* L. Проективное покрытие яруса ТК — 30 %. В ярусе МЛ отмечены *Polytrichum juniperinum* Hedw, *Polytrichum commune* Hedw.

Ельник голубично-сфагновый располагался на сохранившемся участке первичного ельника с множественными локальными антропогенными нарушениями. В подросте отмечены *Betula pubescens* Ehrh., *Picea obovata* Ledeb, в подлеске — *Juniperus communis* L., *Rosa acicularis* Lindl. В ярусе ТК преобладали *Vaccinium uliginosum* L., *Vaccinium myrtillus* L., *Rubus chamaemorus* L., *Rubus arcticus* L. Проективное покрытие яруса ТК составляло 40 %. В ярусе МЛ обнаружены *Polytrichum juniperinum* Hedw, *Polytrichum commune* Hedw.

Ельник голубично-ерниково-сфагновый выявлен на сохранившемся участке первичного ельника

с множественными локальными антропогенными нарушениями. Преобладающими видами яруса ТК выступили *Betula nana* L., *Vaccinium myrtillus* L., *Vaccinium uliginosum* L., *Orthilia secunda* (L.) House. Проективное покрытие яруса ТК составило 70 %. Мохово-лишайниковый покров был представлен *Polytrichum juniperinum* Hedw и *Polytrichum commune* Hedw. В данном фитоценозе обнаружена княженика арктическая (*Rubus arcticus* L.).

Клеверно-пижмовый луг по степени антропогенной трансформации относится к полностью нарушенным фитоценозам. В ярусе ТК доминировали *Trifolium pratense* L., *Trifolium repens* L., *Tanacetum vulgare* L., *Taraxacum officinale* (L.) Weber ex F.H.Wigg. Проективное покрытие яруса ТК составило 70 %. Мохово-лишайниковый покров в данном фитоценозе не обнаружен.

На этапе технической и биологической рекультивации с выравниванием рельефа и посевом клеверно-злаковой газонной смеси были выделены следующие типы фитоценозов: зарастающая техногенная площадка, злаково-клеверный луг, пушицево-клеверный луг со злаками, разнотравно-злаковый луг, злаковый агрофитоценоз с заходами аборигенных видов, мать-и-мачехо-одуванчиково-клеверный луг, клеверо-мать-и-мачехохвощевый луг. Все перечисленные фитоценозы сформировались на полностью нарушенных участках.

В ярусе ТК зарастающей техногенной площадки преобладали *Tussilago farfara* L., *Deschampsia cespitosa* (L.) P. Beauv., *Cirsium heterophyllum* (L.) Hill., *Equisetum arvense* L. Проективное покрытие яруса ТК составило порядка 50 %. Мохово-лишайниковый ярус отсутствовал. В данном фитоценозе была отмечена *D. maculata*.

Доминантными видами в ярусе ТК и злаково-клеверном луге выступали *Trifolium repens* L., *Trifolium pratense* L., *Festuca pratensis* Huds., *Equisetum arvense* L. Проективное покрытие яруса ТК составило 40 %. Мохово-лишайниковый ярус в данном фитоценозе не обнаружен.

На пушицево-клеверном лугу со злаками преобладающими видами яруса ТК выступали *Eriophorum vaginatum* L., *Trifolium pratense* L., *Trifolium repens* L., *Equisetum variegatum* Schleich. ex Web. et Mohr. Проективное покрытие яруса ТК составляло порядка 50 %. Мохово-лишайниковый ярус не обнаружен. В данном фитоценозе обнаружен редкий вид — *D. maculata*.

Наиболее часто встречаемыми видами яруса ТК на разнотравно-злаковом лугу выступали *Trifolium pratense* L., *Calamagrostis langsdorffii* (Link) Trin., *Equisetum arvense* L. Проективное покрытие яруса ТК составляло 40 %. Мохово-лишайниковый ярус в данном фитоценозе отсут-

ствовал. В достаточно большом количестве была обнаружена *D. maculata*.

Злаковый агрофитоценоз с заходами аборигенных видов в состав яруса ТК включал следующие виды: *Lolium* L., *Cirsium arvense* (L.) Scop, *Erysimum cheiranthoides* L., *Alsine holostea* (L.) Britton. Проективное покрытие яруса ТК составляло 70 %. Мохово-лишайниковый ярус отсутствовал.

В ярусе ТК мать-и-мачехо-одуванчико-клеверного луга преобладали *Tussilago farfara* L., *Taraxacum officinale* (L.) Weber ex F.H. Wigg., *Trifolium repens* L., *Calamagrostis epigeios* (L.) Roth. Проективное покрытие яруса ТК составило 30 %. Мохово-лишайниковый ярус отсутствовал. В составе яруса ТК была обнаружена *D. maculata*.

На клеверно-мать-и-мачехо-хвощевом лугу доминировали *Trifolium pratense* L., *Trifolium repens* L., *Tussilago farfara* L., *Equisetum arvense* L., *Ranunculus acris* L. Проективное покрытие яруса ТК составляло 30 %. Мохово-лишайниковый ярус отсутствовал. На площадке обнаружена достаточно многочисленная ценопопуляция *D. maculata*.

На этапе восстановления без посева газона на выровненном рельефе были выделены следующие типы фитоценозов: березняк разнотравный на техноземе, временный частично пересыхающий водоем на антропогенном углублении, березняк с примесью сосны, сформированный на техноземе.

Т а б л и ц а 1

Характеристика этапов восстановления изученных фитоценозов
Restoration stages of the studied phytocenoses characteristics

Этап восстановления	Фитоценоз	Степень антропогенной трансформации	Проективное покрытие яруса ТК, %	Доминирующие виды яруса ТК	Редкие виды растений	Численность редких видов, шт.
Естественное возобновление (без выравнивания рельефа)	Разнотравно-злаковый луг	Полностью нарушенный фитоценоз	60	<i>Tussilago alpestris</i> Hegetschw., <i>Equisetum arvense</i> L., <i>Trifolium pratense</i> L., <i>Festuca pratensis</i> Huds., <i>Poa pratensis</i> L.	<i>D. maculata</i> (Приложение 1 Красной книги Республики Коми)	6
	Пушицево-осоковый луг	То же	30	<i>Eriophorum vaginatum</i> L., <i>Carex acuta</i> L., <i>Tussilago alpestris</i> Hegetschw., <i>Equisetum fluviatile</i> L.	То же	80
	Заболоченный луг на месте техногенно измененного покрова	Частично нарушенный фитоценоз	50	<i>Filipendula ulmaria</i> (L.) Maxim., <i>Equisetum fluviatile</i> L., <i>Pedicularis palustris</i> L., <i>Trollius europaeus</i> L.	«—»	426
	Молодой березняк	То же	30	<i>Rubus saxatilis</i> L., <i>Vaccinium vitis-idaea</i> L., <i>Vaccinium myrtillus</i> L., <i>Equisetum sylvaticum</i> L.	—	—
	Ельник голубично-сфагновый	Сохранившийся участок первичного ельника с множественными локальными антропогенными нарушениями	40	<i>Vaccinium uliginosum</i> L., <i>Vaccinium myrtillus</i> L., <i>Rubus chamaemorus</i> L., <i>Rubus arcticus</i> L.	—	—
	Ельник голубично-ерниково-сфагновый	То же	70	<i>Betula nana</i> L., <i>Vaccinium myrtillus</i> L., <i>Vaccinium uliginosum</i> L., <i>Orthilia secunda</i> (L.) House	<i>R. arcticus</i> (Изумрудная книга Российской Федерации)	—
	Клеверно-пижмовый луг	Полностью нарушенный фитоценоз	70	<i>Trifolium pratense</i> L., <i>Trifolium repens</i> L., <i>Tanacetum vulgare</i> L., <i>Taraxacum officinale</i> (L.) Weber ex F.H. Wigg.	—	—

Окончание табл. 1

Этап восстановления	Фитоценоз	Степень антропогенной трансформации	Проектное покрытие яруса ТК, %	Доминирующие виды яруса ТК	Редкие виды растений	Численность редких видов, шт.
Возобновление на основе технического и биологического этапа рекультивации (Выравнивание рельефа, посев газонной смеси клеверно-злаковой)	Зарастающая техногенная площадка	Полностью нарушенный фитоценоз	50	<i>Tussilago farfara</i> L., <i>Deschampsia cespitosa</i> (L.) P. Beauv., <i>Cirsium heterophyllum</i> (L.) Hill., <i>Equisetum arvense</i> L.	<i>Dactylorhiza maculata</i> (L.) Soó (Приложение 1 Красной книги Республики Коми)	1160
	Злаково-клеверный луг	То же	40	<i>Trifolium repens</i> L., <i>Trifolium pratense</i> L., <i>Festuca pratensis</i> Huds., <i>Equisetum arvense</i> L.	–	–
	Пушицево-клеверный луг со злаками	«←»	50	<i>Eriophorum vaginatum</i> L., <i>Trifolium pratense</i> L., <i>Trifolium repens</i> L., <i>Equisetum variegatum</i> Schleich. ex Web. et Mohr	<i>Dactylorhiza maculata</i> (L.) Soó (Приложение 1 Красной книги Республики Коми)	37
	Разнотравно-злаковый луг	«←»	40	<i>Trifolium pratense</i> L., <i>Calamagrostis langsdorffii</i> (Link) Trin., <i>Equisetum arvense</i> L., <i>Dactylorhiza maculata</i> (L.) Soó	То же	176
	Злаковый агрофитоценоз с заходами аборигенных видов	«←»	70	<i>Lolium</i> L., <i>Cirsium arvense</i> (L.) Scop., <i>Erysimum cheiranthoides</i> L., <i>Alsine holostea</i> (L.) Britton	–	–
	Мать-и-мачехо-одуванчико-клеверный луг	«←»	30	<i>Tussilago farfara</i> L., <i>Taraxacum officinale</i> (L.) Weber ex F.H. Wigg., <i>Trifolium repens</i> L., <i>Calamagrostis epigeios</i> (L.) Roth	<i>Dactylorhiza maculata</i> (L.) Soó (Приложение 1 Красной книги Республики Коми)	7
	Клеверно-мать-и-мачехо-хвощевый луг	«←»	30	<i>Trifolium pratense</i> L., <i>Trifolium repens</i> L. <i>Tussilago farfara</i> L., <i>Equisetum arvense</i> L., <i>Ranunculus acris</i> L.	То же	196
Восстановление без посева газона на выровненном рельефе	Березняк разнотравный на техноземы	Частично нарушенный фитоценоз	38	<i>Chamaenerion angustifolium</i> (L.) Scop., <i>Vaccinium myrtillus</i> L., <i>Equisetum sylvaticum</i> L., <i>Taraxacum officinale</i> (L.) Weber ex F.H. Wigg.	–	–
	Временный частично пересыхающий водоем на антропогенном углублении	Полностью нарушенный фитоценоз	30	<i>Equisetum fluviatile</i> L., <i>Alisma plantago-aquatica</i> L., <i>Deschampsia cespitosa</i> (L.) P. Beauv., <i>Eriophorum vaginatum</i> L.	–	–
	Березняк с примесью сосны, сформированный на техноземы	Частично нарушенный фитоценоз с сохранением первичного березняка	50	<i>Vaccinium uliginosum</i> L., <i>Pyrola media</i> Sw., <i>Equisetum sylvaticum</i> L., <i>Epilobium palustre</i> L.	–	–

Березняк разнотравный на техноземе относится к частично нарушенным фитоценозам. В ярусе ТК преобладали *Chamaenerion angustifolium* (L.) Scop., *Vaccinium myrtillus* L., *Equisetum sylvaticum* L., *Taraxacum officinale* (L.) Weber ex F.H.Wigg. Проективное покрытие яруса ТК — 38 %. Мохово-лишайниковый ярус не выявлен. В подросте отмечены *Betula pubescens* Ehrh., *Picea obovata* Ledeb. Подлесок представлен *Juniperus communis* L.

Временный частично пересыхающий водоем на антропогенном углублении относится к полностью нарушенным фитоценозам и представлен следующими доминирующими видами: *Equisetum fluviatile* L., *Alisma plantago-aquatica* L., *Deschampsia cespitosa* (L.) P. Beauv., *Eriophorum vaginatum* L. Проективное покрытие яруса ТК составляет 30 %. Мохово-лишайниковый ярус не выявлен.

Березняк с примесью сосны, сформированный на техноземе, относится к частично нарушенному фитоценозу с сохранением первичного березняка. Доминируют такие виды яруса ТК, как *Vaccinium uliginosum* L., *Pyrola media* Sw., *Equisetum sylvaticum* L., *Epilobium palustre* L. Проективное покрытие яруса ТК — 50 %. Подрост представлен *Pinus sylvestris* L., *Betula pubescens* Ehrh. В мохово-лишайниковом ярусе обнаружен *Polytrichum juniperinum* Hedw (табл. 1)

Более чем в половине исследованных фитоценозов обнаружен редкий и охраняемый вид — *Dactylorhiza maculata* (L.) Sob., включенный в Приложение 1 Красной книги Республики Коми «Перечень (список) объектов растительного мира, нуждающихся в особом внимании к их состоянию в природной среде и рекомендованных для биологического надзора» [10] и в список редких

и уязвимых сосудистых растений (LC категория) Приложения II к конвенции CITES [11, 12]. К настоящему времени не сформирована единая точка зрения на возможность адаптации видов семейства Orchidaceae к антропогенно измененным условиям. Мнения исследователей варьируют от отрицания возможности произрастания орхидных в таких условиях [13] до указания об образовании устойчивых ценопопуляций некоторых видов орхидных в техногенных ландшафтах [14]. На территории РК вид *D. maculata* приурочен к заболоченным травяным, кустарничково-осоково-сфагновым болотам, а также к зарастающим злаково-разнотравным лугам [15, 16].

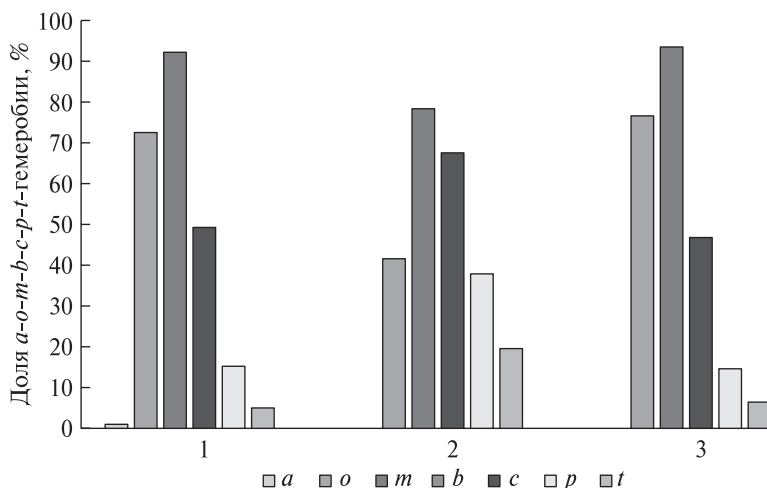
Кроме того, на территории исследований в ельнике голубично-ерниково-сфагновом отмечена княженика арктическая (*Rubus arcticus* L.) — один из редких и охраняемых видов в некоторых субъектах РФ, внесенный в Изумрудную книгу Российской Федерации [17]. Исследуемые местообитания вида отличаются слабой антропогенной нарушенностью. В условиях южной и средней тайги вид обладает относительно оптимальными параметрами плотности в сообществах на начальных этапах восстановления после нарушений (на зарастающих мелколесьем вырубках, сырых лугах) [18, 19].

Растительные сообщества с *D. maculata* были обнаружены только на первых двух этапах восстановления — естественном восстановлении без выравнивания рельефа и возобновлении на основе первого этапа рекультивации с использованием газонной смеси. Наибольшее число особей *D. maculata* отмечено на зарастающей техногенной площадке (1160 ос.) и заболоченном лугу, наименьшее — на разнотравно-злаковом лугу (табл. 2).

Т а б л и ц а 2

Растительные сообщества с присутствием *Dactylorhiza maculata*Plant communities with the presence of *Dactylorhiza maculata*

Этап восстановления	Фитоценоз	Степень антропогенной трансформации	Численность	Проективное покрытие <i>D. maculata</i> , %
Естественное возобновление (без выравнивания рельефа)	Разнотравно-злаковый луг	Полностью нарушенный фитоценоз	6	< 1
	Пушицево-осоковый луг	То же	80	3
	Заболоченный луг на месте техногенно измененного покрова	Частично нарушенный фитоценоз	426	5
Возобновление на основе технического и биологического этапа рекультивации (выравнивание рельефа, посев газонной смеси клеверно-злаковой)	Зарастающая техногенная площадка	Полностью нарушенный фитоценоз	1160	6
	Пушицево-клеверный луг со злаками	То же	37	1
	Разнотравно-злаковый луг	«—»	176	4
	Мать-и-мачехо-одуванчиково-клеверный луг	«—»	7	< 1
	Клеверно-мать-и-мачехо-хвощевый луг	«—»	196	4



Спектр гемеробии типов растительных сообществ: по оси абсцисс — уровни гемеробии; по оси ординат — доля а-о-м-б-с-р-т-гемеробии, %; а (агемероб) — виды естественных сообществ, не выносящие антропогенного влияния; о (олигогемероб) — виды сообществ, близких к естественным, переносящие нерегулярные слабые влияния; m (мезогемероб) — виды полустественных сообществ, устойчивые к экстенсивным влияниям; b (b-эугемероб) — виды далеких от естественных сообществ, устойчивые к интенсивному использованию; c (a-эугемероб) — сорные виды природных и антропогенных сообществ, переносящие регулярные сильные нарушения; p (полигемероб) — специализированные сорные виды интенсивных культур; t (метагемероб) — виды полностью нарушенных экосистем, находящихся на грани уничтожения

Hemerobia spectrum of plant community types: abscissa shows hemerobia levels; along the y-axis — proportion of a-o-m-b-c-p-t-hemerobia, %; a (agemerob) — types of natural communities that cannot tolerate anthropogenic influence; o (oligohemerobe) — types of communities close to natural, enduring irregular weak influences; m (mesohemerobe) — types of semi-natural communities resistant to extensive influences; b (b-euhemerobe) — species far from natural communities, resistant to intensive use; c (a-euhemerobe) — weedy species of natural and anthropogenic communities that suffer regular severe disturbances; p (polygermerob) — specialized weed species of intensive crops; t (metagermerob) — types of completely disturbed ecosystems that are on the verge of extinction

Анализ антропоотолерантности (рисунок) показал, что в естественно восстановленных растительных сообществах, где не проводилось выравнивание рельефа, наибольшую роль играют олиго- и мезо-гемеробные виды (переносящие слабые антропогенные влияния и устойчивые к экстенсивным влияниям). На долю этих видов приходится 73 и 92 %, соответственно. Также олиго- и мезогемеробные виды преобладали в естественно восстановленных фитоценозах на выровненных площадках. Доля олигогемеробных видов составляет 77 %, мезогемеробных видов — 94 %. В фитоценозах, где восстановление проводилось с использованием клеверно-злаковой газонной смеси, наибольшую долю составляют мезо- и b-эугемеробные виды (виды далеких от естественных сообществ, устойчивые к интенсивному использованию). Мезогемеробные виды составляют 78 %, b-эугемеробные — 68 %.

Наименьший процент в сложении всех групп изученных сообществ составляют виды, очень чувствительные к антропогенному воздействию, — а-гемеробы (не более 1 %). Метагемеробы (растения нарушенных сообществ) в составе изученных фитоценозов не обнаружены.

В обобщенном спектре гемеробии отмечается преобладание антропофобных видов (a-o-m — отрезок спектра) для естественно восстановленных сообществ: они участвуют в формировании более половины изученных сообществ (порядка 70 %). Доля антропоотолерантных видов в естественных сообществах составила порядка 30 %. Наибольший индекс гемеробиальности характерен для этапа рекультивации на основе технического и биологического с использованием выравнивания рельефа и газонной смеси.

Выводы

На исследованной территории выделены три типа формирования антропогенно измененных растительных сообществ, в которых индексы гемеробиальности варьировали от 0,40 до 1,04. Низкие значения индексов гемеробиальности выявлены в естественно восстановленных фитоценозах, высокие значения — в фитоценозах, где восстановление проводилось путем биологической рекультивации с использованием клеверно-злаковой газонной смеси. В группе естественно восстанавливающихся фитоценозов выявлено

низкое значение коэффициента синантропизации растительных сообществ. При рекультивации путем посева газонов уровень синантропизации формирующихся сообществ существенно выше. Редкие виды растений были обнаружены только на первых двух этапах рекультивации и отсутствовали на этапе восстановления без посева газона на выровненном рельефе.

Список литературы

- [1] Квашнина С.И., Мозырев А.Г., Богословский А.В. Высокие широты: проблемы восстановления нарушенных земель // Современные наукоемкие технологии, 2010. № 10. С. 12–13.
- [2] Арчегова И.Б., Лиханова И.А. Проблема биологической рекультивации и ее решение на Европейском Северо-Востоке на примере Республики Коми // Известия Коми научного центра УрО РАН, 2012. № 1(9). С. 29–34.
- [3] Государственный доклад «О состоянии окружающей среды Республики Коми в 2019 году» / под ред. Р.В. Полшведкина. Сыктывкар: Изд-во Минприроды Республики Коми, ГБУ РК «ТФИ РК», 2020. 162 с.
- [4] Государственный доклад Минприроды Республики Коми. Сыктывкар: Изд-во Минприроды Республики Коми, ГБУ РК «ТФИ РК», 2021. 165 с.
- [5] Андреева Е.Н., Баккал И.Ю., Горшков В.В., Лянгузова И.В., Мазная Е.А., Нешатаев В.Ю., Нешатаева В.Ю., Старова Н.И., Ярмишко В.Т., Ярмишко М.А. Методы изучения лесных сообществ. СПб.: Изд-во НИИХимии, 2002. 240 с.
- [6] Frank D., Klotz S. Biologisch-okologisch Daten zur Flora der DDR. Halle (Saale), 1990, 167 p.
- [7] Klotz S. Die ruderalgesellschaften eines neubauebietes – ihre verarbeitung und combination // Acta bot. Slov. Acad. Sci. Slovaca. Ser. A., 1984, no. 1, pp. 111–125.
- [8] Kunick D. Zonietung des Stadtgebietes von Berlin (West). Ergebnisse Floristischer Untersuchung // Gen. Schriftenr. d.Fachber. Landschaftsentwicklung u.Umweltforsch, 1982, v. 14, pp. 1–164.
- [9] Jackowiak B. Atlas roslin naczyniowych w Poznaniu. Poznan, 1993, 409 p.
- [10] Красная книга Республики Коми. Сыктывкар: Коми Республиканская типография, 2019. 768 с.
- [11] Bilz M., Kell S.P., Maxted N., Lansdown R.V. European Red List of Vascular Plants. Luxembourg: Publications Office of the European Union, 2011, 130 p.
- [12] Convention on International Trade in Endangered Species of Wild Fauna and Flora. Appendices I, II and III valid from 12 June 2013. International Environment House. Switzerland, Geneva, 75 p.
- [13] Ефимов П.Г. Сохранение орхидных (Orchidaceae Juss.) как одна из задач охраны биоразнообразия // Биосфера, 2010. Т. 2. № 1. С. 50–58.
- [14] Василевская Н.В., Глазунова Е.Д., Путилова Н.В. Состояние ценопопуляций *Dactylorhiza maculata* (L.) Soo на нарушенных местообитаниях в условиях Арктики // Актуальные проблемы геоботаники: Материалы III Всерос. школы-конф. Петрозаводск: Изд-во КарНЦ РАН, 2007. Ч. 1. С. 97–101.
- [15] Кириллова И.А., Кириллов Д.В. Пальчатокоренник пятнистый *Dactylorhiza maculata* (L.) Soó (Orchidaceae) в Республике Коми: структура ценопопуляций и репродуктивная биология // Известия Коми научного центра УрО РАН, 2017. № 3(31). С. 5–14.
- [16] Bushueva Yu.O., Gudovskikh Yu.V., Egoshina T.L., Luginina E.A., Yaroslavtsev A.V. Ecological and biological aspects of *Dactylorhiza maculata* (L.) Soo coenopopulations in northern taiga conditions // IOP Conference Series: Earth and Environmental Science, International Scientific and Pract. Conf. «Ensuring sustainable development: agriculture, ecology and earth science (AEES 2021)», 2021, v. 1010, p. 012120.
- [17] Изумрудная книга Российской Федерации. Территории особого природоохранного значения Европейской России. Предложения по выявлению. Ч. 1. М.: Институт географии РАН, 2011–2013. Ч. 1. 308 с.
- [18] Гудовских Ю.В., Егорова Н.Ю., Егوشина Т.Л. Состояние ценопопуляций *Rubus arcticus* (ROSACEAE) в Кировской области // Ботанический журнал, 2020. Т. 105. № 8. С. 66–80.
- [19] Gudovskikh Y.V. Vitality of *Rubus arcticus* L. in medium and southern taiga // IOP Conference Series: Earth and Environmental Science. «VI International Scientific Conference on Advanced Agritechnologies, Environmental Engineering and Sustainable Development — Chemical, Ecological, Oil-and-Gas Engineering and Natural Resources», 2022, v. 6, p. 042076.

Сведения об авторах

Бушуева Юлия Олеговна — аспирант, ФГБНУ ВНИИ охотничьего хозяйства и звероводства имени профессора Б.М. Житкова, bushueva.margo@mail.ru

Егوشина Татьяна Леонидовна — д-р биол. наук, глав. науч. сотр. отдела экологии и ресурсосведения растений, ФГБНУ ВНИИ охотничьего хозяйства и звероводства имени профессора Б.М. Житкова, etl@inbox.ru

Гудовских Юлия Владимировна — науч. сотр. отдела экологии и ресурсосведения растений, ФГБНУ ВНИИ охотничьего хозяйства и звероводства имени профессора Б.М. Житкова, gudovskih.yulia@mail.ru

Ярославцев Артем Вадимович — науч. сотр. отдела экологии и ресурсосведения растений, ФГБНУ ВНИИ охотничьего хозяйства и звероводства имени профессора Б.М. Житкова, a.jaroslavcev@vniioz-kirov.ru

Лугинина Екатерина Андреевна — науч. сотр. отдела экологии и ресурсосведения растений, ФГБНУ ВНИИ охотничьего хозяйства и звероводства имени профессора Б.М. Житкова, e.luginina@gmail.com

Поступила в редакцию 10.06.2022.

Одобрено после рецензирования 20.09.2022.

Принята к публикации 29.09.2022.

RECOVERY FEATURES OF DISTURBED PLANT COMMUNITIES IN KOMI REPUBLIC NORTH

Yu.O. Bushueva, T.L. Egoshina✉, Yu.V. Gudovskikh,
A.V. Yaroslavtsev, E.A. Luginina

Russian Research Institute of Game Management and Fur Farming named after Professor B.M. Zhitkov, 79,
Preobrazhenskaya st, 610000, Kirov, Russia

etl@inbox.ru

The paper presents the studied conducted in 17 plant communities with different stages of recovery in northern taiga ecosystems in Usinsk district of the Komi Republic. Habitats of rare and protected orchid species — *Dactylorhiza maculata* (L.) Soó were marked. Stages of phytocoenoses recovery and level of human disturbance were defined. To estimate the communities' resilience towards human impact, hemeroby index was determined and hemeroby spectra for each studied community compiled.

Keywords: remediation, phytocoenoses recovery, rare species, anthropotolerance, Komi Republic

Suggested citation: Bushueva Yu.O., Egoshina T.L., Gudovskikh Yu.V., Yaroslavtsev A.V., Luginina E.A. *Osobennosti vosstanovleniya narushennykh fitotsenozov na severe Respubliki Komi* [Recovery features of disturbed plant communities in Komi Republic north]. *Lesnoy vestnik / Forestry Bulletin*, 2022, vol. 26, no. 6, pp. 24–32. DOI: 10.18698/2542-1468-2022-6-24-32

References

- [1] Kvashnina S.I., Mozyrev A.G., Bogoslovskiy A.V. *Vysokie shirotы: problemy vosstanovleniya narushennykh zemel'* [High latitudes: problems of restoration of disturbed lands]. *Sovremennyye naukoemkie tekhnologii* [Modern science-intensive technologies], 2010, no. 10, pp. 12–13.
- [2] Archegova I.B., Likhanova I.A. *Problema biologicheskoy rekul'tivatsii i ee reshenie na Evropeyskom Severo-Vostoke na primere Respubliki Komi* [The problem of biological reclamation and its solution in the European North-East on the example of the Republic of Komi]. *Izvestiya Komi nauchnogo tsentra UrO RAN* [News of the Komi Scientific Center of the Ural Branch of the Russian Academy of Sciences], 2012, no. 1(9), pp. 29–34.
- [3] *Gosudarstvennyy doklad «O sostoyanii okruzhayushchey sredy Respubliki Komi v 2019 godu»* [State report «On the state of the environment of the Komi Republic in 2019»]. Ed. R.V. Polshvedkin. Syktyvkar: Ministry of Natural Resources and Environmental Protection of the Republic of Komi, GBU RK «Territorial Information Fund of the Republic of Komi», 2020, 162 p.
- [4] *Gosudarstvennyy doklad Minprirody Respubliki Komi* [State Report of the Ministry of Natural Resources of the Republic of Komi]. Ed. GBU RK «TFI RK». Syktyvkar: Ministry of Natural Resources of the Komi Republic, 2021, 165 p.
- [5] Andreeva E.N., Bakkal I. Yu., Gorshkov V.V., Lyanguzova I.V., Maznaya E.A., Neshataev V. Yu., Neshataeva V. Yu., Stavrova N.I., Yarmishko V.T., Yarmishko M.A. *Metody izucheniya lesnykh soobshchestv* [Methods for studying forest communities]. St. Petersburg: NIIXhimii, 2002, 240 p.
- [6] Frank D., Klotz S. *Biologisch-okologisch Daten zur Flora der DDR*. Halle (Saale), 1990, 167 p.
- [7] Klotz S. *Die ruderalgesellschaften eines neubaugebietes — ihre verbreitung und combination*. *Actabot. Slov. Acad. sci. Slovacae. Ser.A.*, 1984, no. 1, pp. 111–125.
- [8] Kunick D. *Zonietung des Stadtgebietes von Berlin (West)*. *Ergebnisse Floristischer Untersuchung*. Gen. Schriftenr. d.Fachber. Landschaftsentwicklung u.Umweltforsch, 1982, v. 14, pp. 1–164.
- [9] Jackowiak B. *Atlas roslin naczyniowych w Poznaniu*. Poznan, 1993, 409 p.
- [10] *Krasnaya kniga Respubliki Komi* [Red Data Book of the Komi Republic]. Syktyvkar: Komi republic printing house, 2019, 768 p.
- [11] Bilz M., Kell S.P., Maxted N., Lansdown R.V. *European Red List of Vascular Plants*. Luxembourg: Publications Office of the European Union, 2011, 130 p.
- [12] *Convention on International Trade in Endangered Species of Wild Fauna and Flora*. Appendices I, II and III valid from 12 June 2013. International Environment House. Switzerland, Geneva, 75 p.
- [13] Efimov P.G. *Sokhranenie orkhidnykh (Orchidaceae Juss.) kak odna iz zadach okhrany bioraznoobraziya* [Conservation of orchids (Orchidaceae Juss.) as one of the tasks of biodiversity protection]. *Biosfera*, 2010, v. 2, no. 1, pp. 50–58.
- [14] Vasilevskaya N.V., Glazunova E.D., Putilova N.V. *Sostoyanie tsenopopulyatsiy Dactylorhiza maculata (L.) Soó na narushennykh mestoobitaniyakh v usloviyakh Arktiki* [The state of cenopopulations of *Dactylorhiza maculata* (L.) Soó on disturbed habitats in the Arctic]. *Aktual' nye problemy geobotaniki: Materialy III Vseros. shkoly-konferentsii* [Actual problems of geobotany: Proceedings of III All-Russia. conference schools]. Petrozavodsk: Publishing House of KarRC RAS, 2007, part 1, pp. 97–101.
- [15] Kirillova I.A., Kirillov D.V. *Pal' chatokorennik pyatnistyy Dactylorhiza maculata (L.) Soó (Orchidaceae) v Respublike Komi: struktura tsenopopulyatsiy i reproduktivnaya biologiya* [*Dactylorhiza maculata* (L.) Soó (Orchidaceae) in the Komi Republic: population structure and reproductive biology]. *Izvestiya Komi nauchnogo tsentra UrO RAN* [Proceedings of the Komi Scientific Center of the Ural Branch of the Russian Academy of Sciences], 2017, no. 3(31), pp. 5–14.
- [16] Bushueva Yu.O., Gudovskikh Yu.V., Egoshina T.L., Luginina E.A., Yaroslavtsev A.V. *Ecological and biological aspects of Dactylorhiza maculata (L.) Soó coenopopulations in northern taiga conditions* [Ecological and biological aspects of *Dactylorhiza maculata* (L.) Soó coenopopulations in northern taiga conditions]. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, International scientific and practical conference «Ensuring sustainable development: agriculture, ecology and earth science (AEES 2021)» [IOP Conference Series: Earth and Environmental Science, International scientific and practical conference «Ensuring sustainable development: agriculture, ecology and earth science (AEES 2021)»], 2021, v. 1010, p. 012120.

- [17] *Izumrudnaya kniga Rossiyskoy Federatsii. Territorii osobogo prirodookhrannogo znacheniya Evropeyskoy Rossii. Predlozheniya po vyyavleniyu. Ch. 1.* [Emerald Book of the Russian Federation. Territories of Special Conservation Importance in European Russia. Suggestions for discovery. Part 1]. Moscow: Institute of Geography RAS, 2011–2013, part 1, 308 p.
- [18] Gudovskikh Yu.V., Egorova N.Yu., Egoshina T.L. *Sostoyanie tsenopopulyatsiy Rubus arcticus (ROSACEAE) v Kirovskoy oblasti* [The state of cenopopulations of *Rubus arcticus* (ROSACEAE) in the Kirov region]. *Botanicheskiy zhurnal* [Botanical journal], 2020, v. 105, no. 8, pp. 66–80.
- [19] Gudovskikh Y.V. Vitality of *Rubus arcticus* L. in medium and southern taiga. IOP Conference Series: Earth and Environmental Science. «VI International Scientific Conference on Advanced Agritechologies, Environmental Engineering and Sustainable Development — Chemical, Ecological, Oil-and-Gas Engineering and Natural Resources», 2022, v. 6, p. 042076.

Authors' information

Bushueva Yuliya Olegovna — pg., Russian Research Institute of Game Management and Fur Farming, bushueva.margo@mail.ru

Egoshina Tat'yana Leonidovna [✉] — Dr. Sci. (Biology), Chief Researcher, Head of Plant Ecology and Resources Dept., Russian Research Institute of Game Management and Fur Farming, etl@inbox.ru

Gudovskikh Yuliya Vladimirovna — Researcher, Plant Ecology and Resources Dept., Russian Research Institute of Game Management and Fur Farming, gudovskih.yulia@mail.ru

Yaroslavtsev Artem Vadimovich — Researcher, Plant Ecology and Resources Dept., Russian Research Institute of Game Management and Fur Farming, a.jaroslavcev@vniioz-kirov.ru

Luginina Ekaterina Andreevna — Researcher, Plant Ecology and Resources Dept., Russian Research Institute of Game Management and Fur Farming, e.luginina@gmail.com

Received 10.06.2022.

Approved after review 20.09.2022.

Accepted for publication 29.09.2022.

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 ФОРМИРОВАНИЕ КУЛЬТУР СОСНЫ ПРИ РЕКУЛЬТИВАЦИИ ДРАЖНЫХ ОТВАЛОВ

М.В. Ермакова

ФГБУН «Ботанический сад Уральского отделения Российской академии наук», Россия, 620144, г. Екатеринбург,
ул. 8 Марта, 202а

M58_07E@mail.ru

Рассмотрены 12-летние культуры сосны обыкновенной, созданные посадкой по бороздам на дражных отвалах, вырубке-гари, участках типа леса сосняк с темнохвойным мшисто-черничниковым ярусом. Определена приживаемость высаженных растений и их относительная высота. На дражных отвалах выявлен значительный отпад деревьев, обусловивший большую разреженность рядов культур, что способствовало усиленному росту деревьев всех классов роста по толщине ствола. Определено естественное возобновление древесных пород: на дражных отвалах — 1,2, на вырубке-гари — 1,1 тыс. экз. на 1 га. Установлен состав естественного возобновления: на дражных отвалах — только хвойные виды, на вырубке-гари — лиственные и хвойные виды. Рассчитано проективное покрытие живого напочвенного покрова: на дражных отвалах — 40...50 %, на вырубке-гари достигало — до 100 %. Рекомендуется проведение предварительной рекультивации в целях улучшения физико-механических свойств почвогрунта.

Ключевые слова: дражные отвалы, сосна обыкновенная, лесные культуры

Ссылка для цитирования: Ермакова М.В. Рост и формирование культур сосны при рекультивации дражных отвалов // Лесной вестник / Forestry Bulletin, 2022. Т. 26. № 6. С. 33–40.
DOI: 10.18698/2542-1468-2022-6-33-40

Государственная стратегическая цель в области экологии определяет сохранение и восстановление биологических систем и их биологического разнообразия как важнейшую задачу на ближайшую перспективу [1].

Восстановление древесной растительности на техногенно нарушенных землях определяется в первую очередь почвенно-гидрологическими условиями района проведения работ, особенностями состояния территории, породным составом окружающих насаждений как источника обсеменения и в определенной степени удаленностью и доступностью участков, подлежащих восстановлению [2].

Специфическими техногенно нарушенными объектами, изучению которых уделяется большое внимание, являются дражные отвалы, появившиеся в результате работы драг на местах дислокации россыпных золотоносных месторождений [3, 4]

При работе драги в силу особенностей технологии, происходит прежде всего снятие верхнего слоя земли и последующий размыв затопленной поверхности вне границ россыпи. Использование дражного способа разработки вызывает появление большого объема хвостов промывки, укладываемых в эффельные отвалы, на которые ложатся отвалы крупной фракции (галечные). При использовании дражного способа разработки существенно нарушается природная среда, уничтожаются почвенные горизонты, возникает риск

появления эрозионных процессов и загрязнения прилегающего водного объекта. Это крайне опасно для территорий с холмистым или гористым рельефом, поскольку процессы эрозии могут привести к смыву практически всего почвогрунта в расположенные ниже по склону водоемы [5].

Как показывают имеющиеся литературные данные, процессы естественного зарастания древесной и травянистой растительностью дражных отвалов занимают длительное время [3, 4, 6–8]. При этом в течение первых 10 лет возобновление как травянистой, так и древесной растительности довольно незначительно. Из древесной растительности вначале возобновляются лиственные породы, что впоследствии может крайне затруднить возобновление таких светолюбивых древесных пород, как сосна обыкновенная.

Возможным решением вопроса может быть проведение лесовосстановительных мероприятий в целях возобновления древесной растительности, обеспечивающей противозерозионную защиту. Одним из способов, восстанавливающих древесную растительность, является создание лесных культур, в частности, хозяйственно ценных хвойных древесных видов.

При решении вопросов искусственного восстановления древесной растительности на дражных отвалах прежде всего возникают вопросы технологического характера: подготовка территории; подбор древесных пород; способы и методы проведения лесовосстановительных работ [9–11].

Однако, на наш взгляд, до сих пор недостаточно сведений об особенностях формирования структурно-функциональной организации молодых древесных видов в условиях специфики почвогрунтов дражных отвалов.

Цель работы

Цель работы — изучение сравнительных характеристик 12-летних производственных лесных культур сосны, созданных на дражных отвалах и вырубке-гари в условиях южной тайги Средне-Уральского лесорастительного района.

Материалы и методы

Исследования проводились на площадях произрастания 12-летних производственных лесных культур сосны на территории Тагильско-Свердловского Зауральского предгорного (по условиям лесовосстановления) лесохозяйственного района [12] Средне-Уральского лесорастительного района в пределах р. Большой Шишим в 8 км севернее д. Починок муниципального образования (МО) «Новоуральский городской округ» (57°08'17" с. ш., 59°55'16" в. д.).

Климат района проведения исследований — умеренно континентальный, с избыточным увлажнением и недостатком тепла [13]. Для него характерна продолжительная, многоснежная зима с частыми метелями. Больше всего осадков выпадает в летний период (около 45 % годовой суммы) и значительно меньше в зимний (26 % годовой суммы). Высота снежного покрова в пределах района исследований на открытой площади составляет в среднем 40...60 см.

На территории района исследований [14] на пологих склонах преобладают дерново-подзолистые суглинистые (иногда и тяжелосуглинистые) почвы, сформировавшиеся на продуктах выветривания горных пород, часто маломощные, глубиной не более 50 см.

Рельеф местности представляет собой холмисто-увалистые предгорья с высотой в среднем 250...400 м, переходящие постепенно в холмисто-волнистую повышенную равнину Зауралья [15]. Хорошо развита речная сеть, реки имеют медленное течение с перемыванием аллювиальных отложений.

Территория представляет собой типичный лесной район, на который оказала интенсивное воздействие хозяйственная деятельность, значительно снизив ее лесистость. Тем не менее здесь преобладают сосновые леса, преимущественно зеленомошных и травяных типов, а также производные от них березняки.

Для проведения исследований были заложены две пробные площади (ПП): ПП1 — лесные культуры сосны с размещением 0,5×2,3 м (общее

количество высаженных семян 8,7 тыс. шт./га), созданные на выровненных бульдозером дражных отвалах; ПП2 — лесные культуры сосны, созданные на вырубке-гари, с размещением 0,5×3,5 м (общее количество высаженных семян 5,7 тыс. шт./га). Создание культур на обоих ПП происходило в одно и то же время и осуществлялось посадкой 2-летних семян сосны обыкновенной (*Pinus sylvestris* L.). Размещение борозд ориентировано поперек склона. Посадка семян осуществлялась вручную в борозды, созданные плугом ПКЛ-70.

Согласно принятой региональной классификации [16] обе ПП приурочены к условиям типа леса сосняк с темнохвойным ярусом мшисто-черничниковым (С-Тх мш. чер.), с дерново-подзолистыми суглинистыми оглеенными на водоупоре из плотных пород почвами.

Изучение состояния лесных культур, их биометрических характеристик, а также определение показателей проективного покрытия живого напочвенного покрова проводили в соответствии с общепринятыми методиками [17–20]. На каждой ПП учитывали все деревья для установления показателя приживаемости. Для определения биометрических характеристик и распределения по классам роста измеряли не менее 100 деревьев на каждой ПП.

Оценку рангового положения деревьев в древостое и распределение деревьев сосны на ПП по ранговым классам высоты осуществляли с использованием конкретных ранговых коэффициентов [21, 22]. На основе амплитуды редуцированных чисел определяли шаг и границы классов.

Ранговые коэффициенты (редукционные числа) рассчитывали по формуле

$$R_{cp} = M_{it} / M_{cp,t}$$

где R_{cp} — ранговый коэффициент по отношению к среднему;

M_{it} — размеры i -го дерева в момент t ;

$M_{cp,t}$ — размеры среднего дерева в популяции в момент t .

Уровень изменчивости показателей определяли по значениям полученных коэффициентов вариации в соответствии со шкалой, разработанной С.А. Мамаевым [23].

Сравнение средних показателей проводили с помощью t -критерия Стьюдента.

Анализ, обработка и оформление материалов были проведены с помощью пакета программ Microsoft Office.

Результаты и обсуждение

Как показал анализ полученных данных (табл. 1), культуры, созданные на дражных отвалах на 12-й год после посадки, имели значительно

**Приживаемость и средние биометрические показатели
лесных культур на пробных площадях**

Survival rate and average biometric indicators of forest cults on the SP

Номер пробной площади	Приживаемость на момент учета, %	Количество сохранившихся экземпляров, тыс. шт./га	Биометрические характеристики				
			показатель	$M \pm m$	$V, \%$	As	Ex
ПП1 (дражные отвалы)	36,7	3,19	$D_{0,5H}, \text{ см}$	$4,7 \pm 0,15$	31,12	0,634	0,401
			$H_{\text{ств.}}, \text{ см}$	$382,6 \pm 8,23$	21,72	-0,289	-0,613
			$H_{\text{ств.}}/D_{0,5H}$	$81,4 \pm 1,31$	16,37	0,518	0,430
ПП2 (вырубка-гарь)	60,0	3,42	$D_{0,5H}, \text{ см}$	$4,4 \pm 0,11$	25,98	0,075	-0,401
			$H_{\text{ств.}}, \text{ см}$	$390,4 \pm 7,20$	17,98	-0,291	-0,430
			$H_{\text{ств.}}/D_{0,5H}$	$88,7 \pm 1,34$	14,03	0,451	0,087

Примечание. $D_{0,5H}$ — диаметр на середине высоты; $H_{\text{ств.}}$ — высота ствола; M — среднее; m — ошибка среднего; V — коэффициент вариации; As — асимметрия (ошибка асимметрии для ПП1 — 0,2414, для ПП2 — 0,2379; Ex — эксцесс (ошибка асимметрии для ПП1 — 0,4873, для ПП2 — 0,4716).

более низкую приживаемость, чем культуры на вырубке-гаре. Вследствие этого, хотя на дражных отвалах было высажено в 1,7 раза больше семян, в 12-летнем возрасте культуры на ПП1 и ПП2 почти сравнялись по количеству деревьев. При этом следует отметить, что у более чем 25 % деревьев на ПП1 (дражные отвалы) наблюдалось пожелтение хвои в нижней части кроны и ствола (рис. 1), что свидетельствует прежде всего о неблагоприятных почвенных условиях произрастания — об уплотнении почв и их повышенном увлажнении [24–26].

Не установлено достоверных различий между средними биометрическими показателями культур сосны на ПП1 и ПП2 по величине диаметра ствола на середине высоты, а также по высоте ствола ($t_{\text{факт}} = 1,43 \dots 1,86 < t_{\text{табл.}}$ при $p \leq 0,05$). Однако по величине относительной высоты, которую принято считать показателем напряженности роста [27], культуры сосны на ПП2 (вырубка-гарь) достоверно превосходили культуры на дражных отвалах ($t_{\text{факт}} = 3,38 > t_{\text{табл.}}$ при $p \leq 0,05$), что связано, по всей видимости, с более интенсивным отпадом деревьев и разреживанием древостоя, где деревья более интенсивно росли по толщине ствола.

Распределение по величине основных биометрических показателей как на ПП1, так и на ПП2, согласно показателям асимметрии и эксцесса (с учетом ошибки), было близким к нормальному. Уровень изменчивости по диаметру ствола на середине высоты на обеих ПП характеризовался как повышенный, а остальных показателей — как средний [23].

Как видно из рис. 2, распределение по ранговым классам высоты на ПП1 и ПП2 несколько различалось, хотя и не существенно. На ПП1 доля наиболее крупных деревьев (I класс) была почти

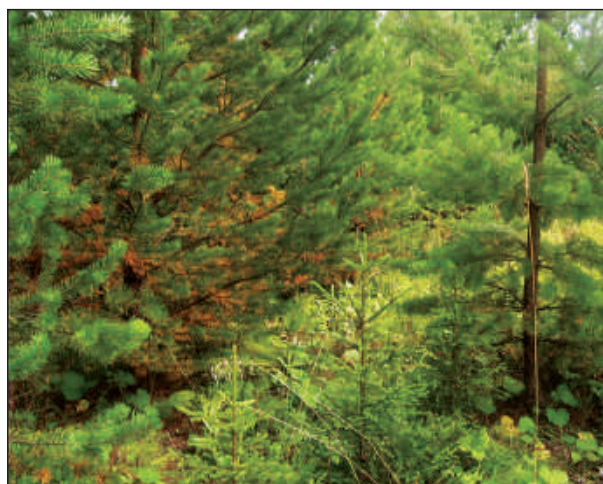


Рис. 1. Пожелтение хвои у деревьев сосны на ПП1 (дражные отвалы)

Fig. 1. Yellowing of needles near pine trees at SP1 (sewage sludge)

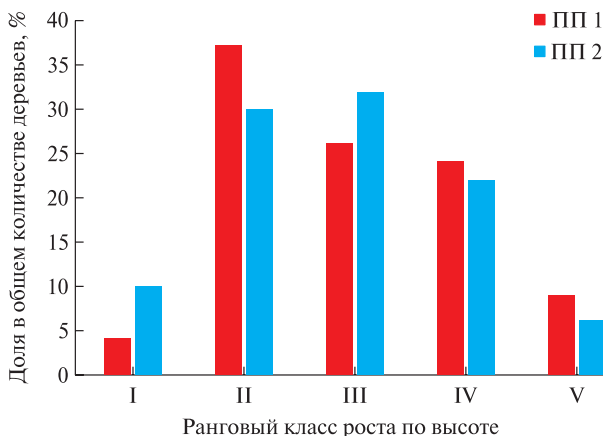


Рис. 2. Распределение деревьев на пробных площадях по ранговым классам высоты

Fig. 2. Distribution of trees at the SP by rank height classes

в 2 раза меньше, чем на ПП2 (вырубка-гарь). В то же время доля деревьев II класса на ПП1 оказалась на 7 % больше, чем доля таких деревьев на ПП2. Тем не менее в сумме доля деревьев I и II классов на обеих ПП оказалась практически одинаковой.

На ПП2 доля деревьев III класса роста (средние по высоте деревья) оказалась несколько выше (на 6 %), чем на ПП1. В свою очередь доля наиболее отстающих в росте деревьев IV и V классов была несколько больше на ПП1, чем на ПП2.

Следует отметить, что установленные различия в распределении деревьев по классам роста между культурами на ПП1 и на ПП2 не носили принципиального характера.

Сравнение биометрических параметров деревьев I и II ранговых классов роста (табл. 2) показывает, что деревья на ПП1 значительно ($t_{\text{факт}} = 4,12 \dots 6,52 > t_{\text{табл}}$ при $p \leq 0,05$) превосходят по диаметру ствола на середине его высоты деревья на ПП2. Между деревьями III–V ранговых классов высоты не выявлено значительных различий по диаметру ствола на середине его высоты.

Между величиной высоты деревьев по классам роста практически не установлено достоверных различий ($t_{\text{факт}} = 1,58 \dots 1,73 < t_{\text{табл}}$ при $p \leq 0,05$) между деревьями как на ПП1, так и на ПП2.

Сравнение величины относительной высоты показало, что у деревьев на ПП1 всех ранговых классов этот параметр оказался значительно ($t_{\text{факт}} = 3,89 \dots 5,28 > t_{\text{табл}}$ при $p \leq 0,05$) меньше, чем у деревьев на ПП2. Как было указано выше, это свидетельствует о том, что при значительном отпаде деревьев ряды культур на дражных отвалах оказались более разреженными. Поэтому происходил усиленный рост деревьев всех классов роста по толщине ствола, что отразилось в более низких величинах относительной высоты. В целом такие показатели свидетельствуют о меньшей интенсивности процессов внутривидовой конкуренции в рядах лесных культур, выраженных в относительной высоте, как показатели напряженности роста, на ПП1 даже у деревьев III–V классов роста, чем у деревьев III–V классов роста на ПП2.

Как на ПП1, так и на ПП2 в течение периода функционирования лесокультурной площади происходили процессы естественного возобновления за счет деревьев-обсеменителей из прилегающих участков леса (табл. 3, рис. 3, 4).

Естественное возобновление на ПП1 и ПП2 встречалось преимущественно только в междурядьях (табл. 4). Его численность в целом оказалась небольшой — чуть более 1 тыс. шт./га. Однако причины, ограничивающие заселение в результате естественного возобновления древесных видов на ПП1 и ПП2, оказались различными.

Т а б л и ц а 2

Биометрические показатели лесных культур на пробных площадях по классам роста в высоту

Biometric indicators of forest plantations at the SP by height classes

Номер пробной площади	Класс роста	Показатель		
		$D_{0,5H}$, см	$H_{\text{ств.}}$, см	$H/D_{0,5H}$
ПП1	I	$8,1 \pm 0,60$	$533,8 \pm 16,60$	$66,9 \pm 4,23$
	II	$5,9 \pm 0,18$	$446,5 \pm 3,51$	$75,7 \pm 1,91$
	III	$4,8 \pm 0,17$	$383,8 \pm 3,43$	$80,0 \pm 3,22$
	IV	$3,7 \pm 0,13$	$297,6 \pm 3,56$	$80,4 \pm 2,29$
	V	$2,7 \pm 0,07$	$230,4 \pm 6,79$	$85,3 \pm 2,90$
ПП2	I	$5,6 \pm 0,16$	$511,3 \pm 6,41$	$91,3 \pm 3,29$
	II	$4,9 \pm 0,12$	$451,5 \pm 3,33$	$92,1 \pm 1,97$
	III	$4,1 \pm 0,11$	$385,2 \pm 2,91$	$94,0 \pm 2,76$
	IV	$3,1 \pm 0,06$	$319,6 \pm 4,26$	$103,1 \pm 1,76$
	V	$2,3 \pm 0,10$	$248,4 \pm 10,89$	$108,1 \pm 7,79$

Т а б л и ц а 3

Естественное возобновление древесных пород на пробных площадях

Natural regeneration of tree species at the SP

Номер пробной площади	Древесная порода	Количество экземпляров, шт./га	Показатель, $M \pm m$	
			$D_{0,5H}$, см	$H_{\text{ств.}}$, см
ПП1	Ель	415	$1,5 \pm 0,32$	$150,0 \pm 14,53$
	Лиственница	112	$1,7 \pm 0,22$	$205,0 \pm 20,00$
	Сосна	712	$1,8 \pm 0,17$	$162,6 \pm 8,25$
	Всего	1239	—	—
ПП2	Береза	336	$1,3 \pm 0,62$	$196,5 \pm 23,14$
	Осина	201	$1,5 \pm 0,52$	$175,8 \pm 20,40$
	Лиственница	168	$1,5 \pm 1,17$	$279,6 \pm 64,19$
	Сосна	403	$1,1 \pm 0,36$	$198,5 \pm 14,33$
	Всего	1108	—	—

Как видно из табл. 4, проективное покрытие живого напочвенного покрова (ЖНП) в междурядьях на ПП1 неравномерное и по размерам значительно меньше, чем на ПП2. По всей видимости, заселение в результате естественного



Рис. 3. Естественное возобновление на ПП1
Fig 3. Natural regeneration at SP1



Рис. 4. Естественное возобновление на ПП2
Fig. 4. Natural regeneration at the SP2

Т а б л и ц а 4

Общие характеристики живого напочвенного покрова на пробных площадях

General characteristics of the living ground cover at the SP

Номер пробной площади	Проективное покрытие, %	Высота травостоя, см	Размещение на площади	Основные виды
ПП1	40...50	5...75	Контагиозное (пятнами)	Мать-и-мачеха (<i>Tussilago farfara</i> L.), вейники (<i>Calamagrostis</i> spp.), хвощ лесной (<i>Equisetum sylvaticum</i> L.)
ПП2	90...100	75...150	Равномерное	Кипрей узколистный (<i>Chamaenerion angustifolium</i> (L.) Scop.), вейники (<i>Calamagrostis</i> spp.), малина (<i>Rubus idaeus</i> L.)

возобновления в данном случае ограничивалось неблагоприятными почвенными условиями даже на участках, свободных от ЖНП. На повышенную кислотность почвогрунта указывает распространение такого рудерального для лесных условий вида, как мать-и-мачеха, а также хвоща лесного.

На ПП2 заселение в результате естественного возобновления древесных пород ограничивалось прежде всего мощным развитием ЖНП.

Отмечалось также различие в породном составе естественного возобновления. На ПП1 отсутствовало возобновление лиственных пород, хотя в работе [3] было показано первоочередное естественное заселение дражных отвалов именно лиственными породами. В свою очередь, на ПП2, где отмечено возобновление лиственных пород, в составе естественного возобновления отсутствовала ель.

Следует отметить, что постепенные процессы заселения в результате естественного возобновления древесных пород происходят на обеих ПП.

Выводы

Опыт создания лесных культур сосны на дражных отвалах в целом дал положительные резуль-

таты. Формирование искусственного древостоя на дражных отвалах в условиях сосняка мшисто-черничникового с темнохвойным ярусом в целом соответствовало формированию подобных древостоев на вырубке-гари в том же типе леса. Недостатком лесных культур сосны на дражных отвалах можно считать повышенный отпад высаженных растений по сравнению с аналогичными культурами на вырубке-гари. Тем не менее посадка культур с небольшими размерами междурядий оказала положительный противоэрозионный эффект и позволила в довольно сжатые сроки создать благоприятную среду для формирования естественного возобновления хвойных пород и ускоренного развития ЖНП. Процесс формирования ЖНП, в том числе заселения присущих данному типу леса видов травянистых растений, тем не менее будет проходить еще довольно продолжительное время. Таким образом, несмотря на положительный опыт искусственного восстановления дражных отвалов путем посадки лесных культур сосны для достижения большего положительного эффекта, на наш взгляд, необходимо проведение предварительной рекультивации для улучшения физико-механических свойств почвогрунта.

Работа выполнена в рамках государственного задания Ботанического сада УрО РАН.

Список литературы

- [1] Указ Президента Российской Федерации от 19.04.17 г. № 176 О Стратегии экологической безопасности Российской Федерации на период до 2025 года от 16 апреля 2017 года № 176. URL: <https://docs.cntd.ru/document/420396664> (дата обращения 18.02.2022).
- [2] Капелькина Л.П. О естественном зарастании и рекультивации нарушенных земель Севера // Успехи современного естествознания, 2012. № 1 (ч. 1). С. 98–102.
- [3] Низкий С.Е. Самовосстановление фитоценоза на участках золотодобычи // Вестник Алтайского государственного аграрного университета, 2009. Вып. 7(57). С. 36–40.
- [4] Дегтева С.В. Особенности восстановления растительности на отвалах отработанных россыпей Приполярного Урала // Теоретическая и прикладная экология, 2021. № 3. С. 79–89.
DOI: 1025750/1995-4301-2021-3-080-089
- [5] Лешков В.Г. Разработка россыпных месторождений. М.: Горная книга, 2007. 906 с.
- [6] Алешинцев А.Н. Лесовосстановление и лесовозобновление после золотодобычи в Зейском районе Амурской области // Вестник КрасГАУ, 2011. № 3. С. 102–105.
- [7] Яборов В.Т. Самозарастание техногенных отвалов Уруша-Ольдойского золоторассыпного узла в Приамурье // ИзВУЗ Лесной журнал, 2011. № 5. С. 41–46.
- [8] Денисов Н.И., Саранчук А.П., Суворов А.В. Естественное восстановление растительности на Лучегорской техногенной депрессии (Приморский край) // Успехи современного естествознания, 2016. № 6. С. 80–86.
- [9] Korentajer A. A review of agricultural use of sewage sludge benefits and potential hazards // Water S. Air. 1991, v. 17, no. 3. pp. 189–196.
- [10] Logan T.J., Burnham J.C. The N-Viroprocess: an advanced technology to convert sewage sludge into a soil product // Amer. Soc. Agron. Annu. Meet, 1993, p. 321.
- [11] Ивакина Е.В., Осипов С.В. Естественное и искусственное лесовосстановление в горнопромышленных ландшафтах Дальнего Востока России // Сибирский лесной журнал, 2016. № 7. С. 6–21.
- [12] Исаева Р.П. Рекомендации по ведению лесного хозяйства на зонально-типологической основе в лесах Свердловской области. М.: Изд-во ВНИИЛМ, 1984. 56 с.
- [13] Кувшинова Н.В. Климат // Урал и Приуралье. М.: Наука, 1968. С. 88–117.
- [14] Гафуров Ф.Г. Почвы Свердловской области. Екатеринбург: Изд-во Уральского университета, 2008. 386 с.
- [15] Борисевич Д.В. Рельеф и геологическое строение // Урал и Приуралье. М.: Наука, 1968. С. 25–70.
- [16] Колесников Б.П., Зубарева Р.С., Смолоногов Е.П. Лесорастительные условия и типы лесов Свердловской области. Свердловск: Изд-во УНЦ АН СССР, 1974. 176 с.
- [17] Побединский А.В. Изучение лесовосстановительных процессов. М.: Наука, 1966. 64 с.
- [18] Моисеев В.С., Самойлович Г.Г. Методические указания к таксации молодняков и полога насаждений. Л.: ЛТА, 1968. 102 с.
- [19] Моисеев В.С. Таксация молодняков. Л.: ЛТА, 1971. 344 с.
- [20] Василевич В.И. Очерки теоретической фитоценологии. Л.: Наука, 1983. 247 с.
- [21] Высоцкий К.К. Закономерности строения смешанных древостоев. М.: Гослесбумиздат, 1962. 178 с.
- [22] Маслаков Е.Л. Формирование сосновых молодняков. М.: Лесная пром-сть, 1984. 166 с.
- [23] Мамаев С.А. Формы внутривидовой изменчивости древесных растений (на примере семейства Pinaceae). М.: Наука, 1973. 284 с.
- [24] Benson L., K. Shephera Effect of nursery practice on Pinus radiata seedling characteristics and field performance // J. Nursery seedbed density. N.Z.J. Forest Sci., 1976, no 1, pp. 19–26.
- [25] Физиология сосны обыкновенной / под ред. Г.М. Лисовского. Новосибирск: Наука, 1990. 248 с.
- [26] Романов Е.М. Выращивание сеянцев древесных растений: биоэкологические и агротехнологические аспекты. Йошкар-Ола: Изд-во МарГТУ, 2000. 500 с.
- [27] Соловьев В.М. Морфология насаждений. Екатеринбург: Изд-во УГЛТА, 2001. 155 с.

Сведения об авторе

Ермакова Мария Викторовна — д-р с.-х. наук, вед. науч. сотр. Ботанического сада УрО РАН, M58_07@mail.ru

Поступила в редакцию 10.06.2022.

Одобрено после рецензирования 20.09.2022.

Принята к публикации 26.09.2022.

PINE CULTURES GROWTH AND FORMATION DURING RECLAMATION OF SEWAGE SLUDGE

M.V. Ermakova

Botanical Garden of the Ural Branch of the RAS, 202a, 8 Marta st., 620144, Yekaterinburg, Russia

M58_07@mail.ru

The results of studying the parameters of 12-year-old Scotch pine cultures, created by planting along the furrows on sewage sludge and on felling-slash areas, are considered. The cultures were established on plots in the pine forest type with a dark coniferous mossy-bilberry layer. It has been established that the survival rate of plants on drag dumps turned out to be almost 16 % less than in felling-slash for forest plantations on sewage sludge. There were no significant differences in significant differences between pine crops on sewage sludge and felling-slash areas in terms of average diameter and height of the trunk. There were no significant differences in significant differences between pine crops on sewage sludge and felling-slash areas in terms of average diameter and height of the trunk. There were no fundamental differences in the distribution of trees by growth classes between crops on sewage sludge and on felling-slash areas. It has been established that pine trees of I and II rank growth classes on sewage sludge are significantly larger in diameter than trees on felling-slash areas. There were no significant differences in the height of the tree trunk by growth classes between the trees on the sewage sludge and the felling-slash area. The relative height of the trees on the sewage sludge was significantly lower than that of the trees on the felling-slash area. This indicates that, with a significant loss of trees, the rows of crops on the sewage sludge turned out to be of a less density, which ensured the enhanced growth of trees of all growth classes along the thickness of the trunk. The natural renewal of tree species on the sewage sludge was 1,2, and in the felling-slash 1,1 thousand trees per 1 ha. As part of the natural renewal on the sewage sludge, only coniferous species are represented, on the felling-slash area — deciduous and coniferous species. The projective cover of the living ground cover on the sewage sludge was uneven and amounted to 40...50 %, and reached 100 % in the felling-slash. The results obtained indicate the need for preliminary reclamation to improve the physical and mechanical properties of the soil.

Keywords: sewage sludge, Scotch pine, forest plantation

Suggested citation: Ermakova M.V. *Rost i formirovanie kul'tur sosny pri rekul'tivatsii drazhnykh otvalov* [Pine cultures growth and formation during reclamation of sewage sludge]. *Lesnoy vestnik / Forestry Bulletin*, 2022, vol. 26, no. 6, pp. 33–40. DOI: 10.18698/2542-1468-2022-6-33-40

References

- [1] *Ukaz Prezidenta Rossiyskoy Federatsii ot 19.04.17 g. № 1760 Strategii ekologicheskoy bezopasnosti Rossiyskoy Federatsii na period do 2025 goda ot 16 aprelya 2017 goda № 176*. [Decree of the President of the Russian Federation of April 19, 2017 No. 176 On the Environmental Security Strategy of the Russian Federation for the period up to 2025 of April 16, 2017 No. 176]. Available at: <https://docs.cntd.ru/document/420396664> (accessed 18.02. 2022).
- [2] Kapel'kina L.P. *O estestvennom zarastanii i rekul'tivatsii narushennykh zemel' Severa* [On natural overgrowth and reclamation of disturbed lands in the North]. *Uspekhi sovremennogo estestvoznaniya*, 2012, no. 1 (ch. 1), pp. 98–102.
- [3] Nizkiy S.E. *Samovosstanovlenie fitotsenoza na uchastkakh zolotodobychi* [Self-healing of phytocenosis in gold mining areas]. *Vestnik Altayskogo gosudarstvennogo agrarnogo universiteta*, 2009, v. 7(57), pp. 36–40.
- [4] Degteva S.V. *Osobennosti vosstanovleniya rastitel'nosti na otvalakh otrabotannykh rossypey Pripolyarnogo Urala* [Peculiarities of Vegetation Restoration on Waste Dumps in the Subpolar Urals]. *Teoreticheskaya i prikladnaya ekologiya* [Theoretical and applied ecology], 2021, no. 3, pp. 79–89
- [5] Leshkov V.G. *Razrabotka rossypnykh mestorozhdeniy* [Development of alluvial deposits] Moscow: Gornaya kniga, 2007, 906 p.
- [6] Aleshichev A.N. *Lesovosstanovlenie i lesovozobnovlenie posle zolotodobychi v Zeyskom rayone Amurskoy oblasti* [Reforestation and reforestation after gold mining in the Zeya district of the Amur region]. *Vestnik KraSGAU*, 2011, no. 3, pp. 102–105.
- [7] Yaborov V.T. *Samozarastanie tekhnogenykh otvalov Urusha-Ol'doyskogo zolotorassypnogo uzla v Priamur'e* [Self-overgrowing of technogenic dumps of the Urusha-Oldoisky gold placer in the Amur region]. *Lesnoy Zhurnal* (Russian Forestry Journal), 2011, no. 5, pp. 41–46
- [8] Denisov N.I., Saranchuk A.P., Suvorov A.V. *Estestvennoe vosstanovlenie rastitel'nosti na Luchegorskoy tekhnogennoy depressii (Primorskiy kray)* [Natural restoration of vegetation on the Luchegorsk technogenic depression (Primorsky Territory)]. *Uspekhi sovremennogo estestvoznaniya* [Successes of modern natural sciences], 2016, no. 6, pp. 80–86.
- [9] Korentajer A. A review of agricultural use of sewage sludge benefits and potential hazards. *Water S. Air*. 1991, v. 17, no. 3, pp. 189–196.
- [10] Logan T.J., Burnham J.C. The N-Viroprocess: an advanced technology to convert sewage sludge into a soil product. *Amer. Soc. Agron. Annu. Meet*, 1993, p. 321.
- [11] Ivakina E.V., Osipov S.V. *Estestvennoe i iskusstvennoe lesovosstanovlenie v gornopromyshlennykh landshaftakh Dal'nego Vostoka Rossii* [Natural and artificial reforestation in the mining landscapes of the Russian Far East]. *Sibirskiy lesnoy zhurnal* [Siberian Forest Journal], 2016, no. 7, pp. 6–21.
- [12] Isaeva R.P. *Rekomendatsii po vedeniyu lesnogo khozyaystva na zonal'no-tipologicheskoy osnove v lesakh Sverdlovskoy oblasti* [Recommendations for forest management on a zonal-typological basis in the forests of the Sverdlovsk region]. Moscow: VNIILM, 1984, 56 p.
- [13] Kuvshinova N.V. *Klimat* [Climate]. Ural i Priural'ye [Urals and the Transurals]. Moscow: Nauka, 1968, pp. 88–117.

- [14] Gafurov F.G. *Pochvy Sverdlovskoy oblasti* [Soils of the Sverdlovsk region]. Yekaterinburg: Izd-vo Ural'skogo universiteta, 2008, 386 p.
- [15] Borisevich D.V. *Rel'ef i geologicheskoe stroenie* [Relief and geological structure]. Ural i Priural'ye [Urals and the Transurals]. Moscow: Nauka, 1968, pp. 25–70.
- [16] Kolesnikov B.P., Zubareva R.S., Smolonogov E.P. *Lesorastitel'nye usloviya i tipy lesov Sverdlovskoy oblasti* [Forest conditions and types of forests in the Sverdlovsk region]. Sverdlovsk: UNTS AN SSSR, 1974, 176 p.
- [17] Pobedinskiy A.V. *Izuchenie lesovosstanovitel'nykh protsessov* [Study of reforestation processes]. Moscow: Nauka, 1966, 64 p.
- [18] Moiseev V.S., Samoylovich G.G. *Metodicheskie ukazaniya k taksatsii molodnyakov i pologa nasazhdeniy* [Guidelines for the census of young stands and the canopy of forest]. Leningrad: LTA, 1968, 102 p.
- [19] Moiseev V.S. *Taksatsiya molodnyakov* [Census of Young Animals]. Leningrad: LTA, 1971, 344 p.
- [20] Vasilevich V.I. *Ocherki teoreticheskoy fitotsenologii* [Essays on theoretical phytocenology]. Leningrad: Nauka, 1983, 247 p.
- [21] Vysotskiy K.K. *Zakonomernosti stroeniya smeshannykh drevostoev* [Patterns of the structure of mixed forest stands]. Moscow: Goslesbumizdat, 1962, 178 p.
- [22] Maslakov E.L. *Formirovanie sosnovykh molodnyakov* [Formation of young pine forests]. Moscow: Lesnaya pro-st' [Forest industry], 1984, 166 p.
- [23] Mamaev S.A. *Formy vnutrividovoy izmenchivosti drevesnykh rasteniy (na primere semeystva Pinaceae)* [Forms of intraspecific variability of woody plants (on the example of the Pinaceae family)]. Moscow: Nauka, 1973, 284 p.
- [24] Benson L., Shephera K. Effect of nursery practice on *Pinus radiata* seedling characteristics and field performance. *J. Nursery seedbed density*. N.Z.J. Forest Sci., 1976, no. 1, pp. 19–26.
- [25] *Fiziologiya sosny obyknovennoy* [Physiology of Scots pine]. Ed. G.M. Lisovskiy. Novosibirsk: Nauka. Sib. otd-niye., 1990, 248 p.
- [26] Romanov E.M. *Vyrashchivanie seyantsev drevesnykh rasteniy: bioekologicheskie i agrotekhnologicheskie aspekty* [Growing Seedlings of Woody Plants: Bioecological and Agrotechnological Aspects: Scientific Edition], Yoshkar-Ola: MarGTU, 2000, 500 p.
- [27] Solov'ev V.M. *Morfologiya nasazhdeniy* [Forest morphology], Yekaterinburg: UGLTA, 2001, 155 p.

The work was carried out within the framework of the state task of the Botanical Garden of the Ural Branch of the Russian Academy of Sciences.

Author's information

Ermakova Mariya Viktorovna — Dr. Sci. (Agriculture), Leading researcher of Russian Academy of Sciences, Ural Branch: Institute Botanic Garden, M58_07E@mail.ru

Received 10.06.2022.

Approved after review 20.09.2022.

Accepted for publication 26.09.2022.

СОДЕРЖАНИЕ НИКЕЛЯ В ОРГАНАХ СОСНЫ ОБЫКНОВЕННОЙ (*PINUS SYLVESTRIS* L.) В УСЛОВИЯХ ЗАГРЯЗНЕНИЯ В ПРЕДЕЛАХ Г. ЛИПЕЦКА

Г.А. Зайцев¹✉, О.А. Дубровина², Т.А. Масина²

¹Уфимский институт биологии — обособленное структурное подразделение ФГБНУ Уфимского федерального исследовательского центра РАН, Россия, 450054, Республика Башкортостан, г. Уфа, пр. Октября, д. 69

²ФГБОУ ВО «Елецкий государственный университет имени И.А. Бунина», Россия, 399770, Липецкая обл., г. Елец, ул. Коммунаров, д. 28

forestry@mail.ru

Определены особенности накопления никеля в надземных органах сосны обыкновенной в пределах г. Липецка. Исследования проводились в насаждениях сосны возрастом 40...50 лет. Отбор проб и исследования проводились в вегетационной динамике в течение двух лет (2019 и 2020 гг.). Атомно-абсорбционным методом определялось содержание никеля в хвое и побегах первого, второго и третьего года. Установлено, что содержание никеля в хвое и побегах сосны в условиях загрязнения было выше, чем в контроле. Область критических значений никеля для большинства растений в надземной части составляет 3,0 мг/кг, в наших исследованиях концентрация никеля в хвое и побегах в течение вегетационного периода не превышала данный уровень. Несмотря на повышенное содержание никеля в хвое и побегах (по сравнению с контролем) в условиях загрязнения не отмечалось значительного снижения роста хвои и побегов первого года развития.

Ключевые слова: сосна обыкновенная, хвоя, побеги, никель

Ссылка для цитирования: Зайцев Г.А., Дубровина О.А., Масина Т.А. Содержание никеля в органах сосны обыкновенной (*Pinus sylvestris* L.) в условиях загрязнения в пределах г. Липецка // Лесной вестник / Forestry Bulletin, 2022. Т. 26. № 6. С. 41–47. DOI: 10.18698/2542-1468-2022-6-41-47

Леса имеют важное значение в поддержании стабильности экосистем, включая депонирование углерода, сохранение почвенных и водных ресурсов, защиту от эрозии почв и т. д. [1–3]. Существенное антропогенное изменение биогеохимического цикла потенциально токсичных элементов в последнее столетие [4, 5] свидетельствует о необходимости развития лесных экосистем в целях улучшения общего состояния окружающей среды. В урбанизированных экосистемах актуальность приобретает распространение лесных насаждений, которые вносят существенный вклад в ограничение миграции токсикантов в атмосфере и педосфере.

Черная металлургия является одним из крупнейших источников загрязнения атмосферного воздуха. Выбросы предприятий черной металлургии содержат большое количество токсикантов, в частности тяжелые металлы (в том числе и никель). Токсичность тяжелых металлов изменяется в зависимости от их концентраций в окружающей среде, химической формы металла, а также от произрастающих в пределах санитарно-защитных зон предприятий видов растений, характеризующихся различной устойчивостью к этому виду загрязнений. Кроме того, чрезмерное загрязнение металлами оказывает крайне негативное воздействие на здоровье людей и вызывает многочисленные проблемы со здоровьем.

Так, никель поступает в окружающую среду с выбросами от предприятий черной и цветной металлургии, электростанций и мусоросжигательных заводов, а также выделяется в качестве загрязнителя вследствие переработки дизельного топлива, моторных масел транспортными средствами.

В оптимальных концентрациях никель считается необходимым микроэлементом для жизнедеятельности растений, поскольку обладает различными биологическими функциями [6–9]. Однако с увеличением концентрации он становится токсичным и вредит росту растений [7–9].

Дефицит никеля замедляет рост, вызывает старение, нарушает ассимиляцию азота и усвоение железа растениями, вызывает хлороз молодых листьев [10, 11]. Избыток никеля снижает рост растений, деление клеток, поглощение питательных веществ, нарушает процессы фотосинтеза и транспираций [12–14].

В России загрязнение никелем (в зависимости от среды, в которой он определяется) имеет 2–3-й класс опасности [15]. Никель и некоторые его соединения включены в список Национальной токсикологической программы (NTP) как обоснованно предполагаемые канцерогены [16]. Международное агентство по изучению рака (IARC) включило соединения никеля в группу 1 на основании достаточного объема доказательств канцерогенности для человека, а никель — в группу 2B, т. е. группу веществ, которые могут быть канцерогенными

для человека [17]. При этом Управление охраной труда и гигиеной труда министерства труда США (OSHA) не определяет никель как канцероген [18]. Никель включен в Уведомление Американской ассоциации государственных промышленных гигиенистов (ACGIH) определяет никель как подтвержденный для человека канцероген категории A1 [19].

Процессы антропогенного характера поступления и миграции тяжелых металлов в окружающую среду изучаются достаточно давно. Особенности накопления и влияния, в частности, никеля на рост и развитие растений исследуются в основном на примере выбросов металлургических комбинатов по производству цветных металлов [20–23]. Крайне недостаточно работ, посвященных изучению накопления никеля в органах сосны обыкновенной (*Pinus sylvestris* L.) при загрязнении окружающей среды выбросами предприятий черной металлургии.

Цель работы

Цель работы — изучение накоплений никеля в хвое и побегах сосны обыкновенной в пределах г. Липецка.

Характеристика района исследований. Исследования проведены в пределах г. Липецка (Липецкая обл., Россия). Город Липецк расположен в пределах Среднерусской возвышенности (Центрально-Черноземная зона лесостепи), характеризуется умеренно-континентальным климатом со средней температурой января $-8\text{ }^{\circ}\text{C}$, июля $+20\text{ }^{\circ}\text{C}$ и среднегодовым количеством осадков около 500 мм при максимуме в июле. В районе преобладают северо-западные ветра в теплое время года и юго-западные — в холодное. Почвенный покров представлен черноземами выщелоченными и серыми лесными почвами супесчаного и легкосуглинистого гранулометрического состава [24]. Почвообразующими породами служат лёссовидные суглинки и глины, древнеаллювиальные отложения легкого гранулометрического состава. Обменная кислотность (рН) верхних горизонтов составляет 4,9...5,1, обеспеченность элементами питания — средняя, очень низкая степень насыщенности основаниями (менее 20 %), содержание органического вещества 2...3 %. Лесные сообщества (естественного и искусственного происхождения) занимают 9,8 % территории области, в лесном фонде преобладают дуб черешчатый (*Quercus robur* L.), сосна обыкновенная и береза повислая (*Betula pendula* Roth).

Основным источником загрязнения окружающей среды Липецка является ПАО «Новолипецкий металлургический комбинат». Выбросы в атмосферу от предприятия составляют 84,5 % всех выбросов от стационарных источников загрязнения в Липецкой обл. [25].

Материалы и методы

Проведены исследования 40–50-летних насаждений сосны обыкновенной, произрастающих в пределах г. Липецка на заложенных четырех постоянных пробных площадях (двух — в зоне загрязнения, двух — в зоне условного контроля). Закладка, описание и определение основных таксационных показателей выполнены по стандартным методам [26, 27].

Для химического анализа отбирали надземную часть сосны обыкновенной: побеги и хвою 1, 2 и 3-го года развития с 10 деревьев на каждой пробной площади. Хвоя и побеги были отобраны с деревьев на высоте 1...1,5 м от поверхности земли [28] в вегетационной динамике. Содержание никеля определяли атомно-абсорбционным методом [29] на спектрофотометре «Спектр-5» (ОАО «Союзцветметавтоматика»). Повторность опыта трехкратная. Растительный материал отмывали от пыли дистиллированной водой [30]. Минерализацию растительных проб проводили методом сухого озоления по ГОСТ 26657–85, никель экстрагировали с помощью кислот (1M HNO_3). Отбор образцов и определение содержания никеля проводили в течение двух вегетационных периодов (2019 и 2020 гг.).

Результаты и обсуждение

Исследования показали, что содержание никеля в хвое всех возрастов в условиях загрязнения выше, чем в контроле (рис. 1). Достоверного увеличения содержания никеля в хвое (1, 2 и 3-го года развития) в течение вегетационного периода (как в условиях загрязнения, так и в контроле) не установлено. Область критических значений содержания никеля для большинства видов растений в надземной части составляет 3,0 мг/кг сухого вещества [31], и содержание никеля в хвое (1, 2 и 3-го года развития) в течение вегетационного периода не превышает данных значений. Наибольшее увеличение концентрации никеля в течение вегетационного периода отмечено для хвои 1-го года развития (в 1,82 раза). Содержание никеля в хвое 2-го года развития, напротив, в течение вегетационного периода уменьшается (с 2,450 до 1,938 мг/кг). Содержание никеля в хвое 1, 2 и 3-го года развития в контроле варьирует от 0,713 до 1,175 мг/кг.

Содержание никеля в побегах всех возрастов в зоне загрязнения выше контрольных значений (рис. 2). Содержание никеля в побегах в течение вегетационного периода: 1-го и 3-го года развития достоверно увеличивается, в побегах 2-го года — достоверно уменьшается, а в условиях контроля достоверно увеличивается только в побегах 3-го года развития. Наибольшее увеличение содержа-

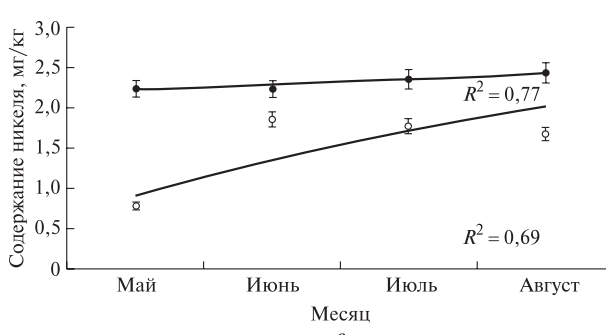
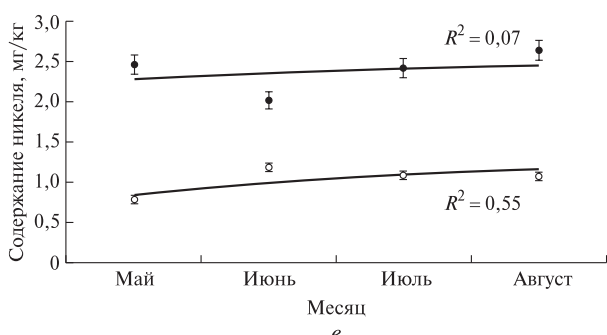
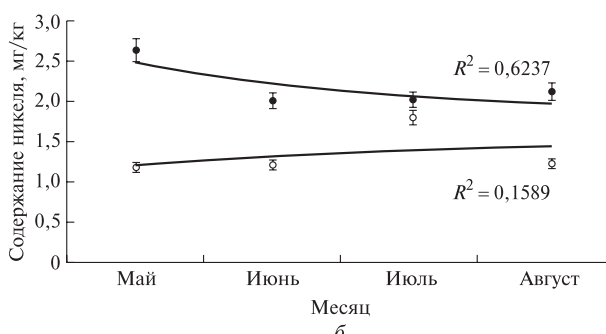
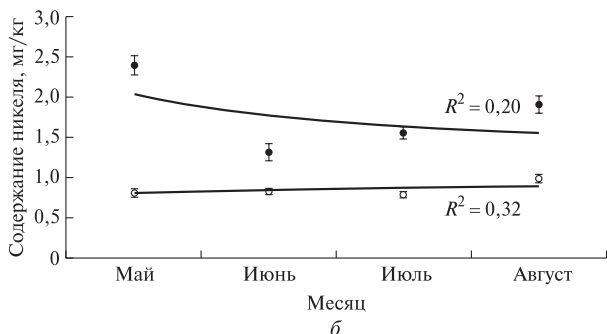
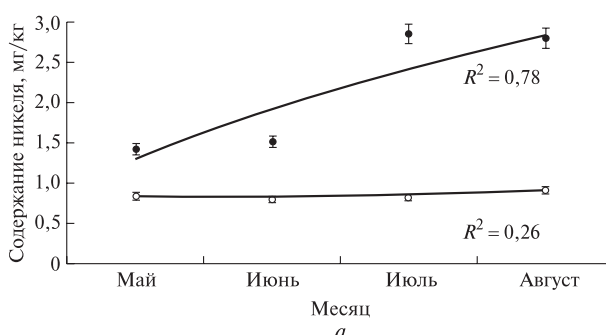
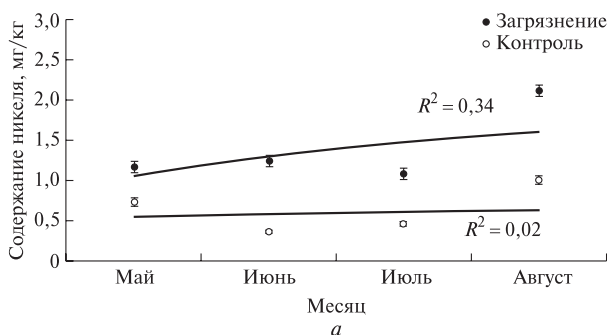


Рис. 1. Концентрация никеля в хвое сосны обыкновенной (*Pinus sylvestris* L.) в пределах г. Липецка: а — хвоя 1-го года развития; б — хвоя 2-го года развития; в — хвоя 3-го года развития

Fig 1. Nickel concentration in Scots pine (*Pinus sylvestris* L.) needles within the city of Lipetsk: а — needles of the 1st year development; б — needles of the 2nd year development; в — needles of the 3rd year development

Рис. 2. Концентрация никеля в побегах сосны обыкновенной (*Pinus sylvestris* L.) в пределах г. Липецка: а — побеги 1-го года развития; б — побеги 2-го года развития; в — побеги 3-го года развития

Fig 2. Nickel concentration in Scots pine (*Pinus sylvestris* L.) shoots within the city of Lipetsk: а — shoots of the 1st year development; б — shoots of the 2nd year development; в — shoots of the 3rd year development

ния никеля в течение вегетационного периода зафиксировано в побегах 1-го года развития. К концу изучаемого периода содержание элемента в условиях загрязнения увеличивалось в 1,98 раза с 1,450 до 2,863 мг/кг. Содержание никеля в побегах 2-го года развития (как и в хвое), в течение сезона уменьшается (с 2,550 до 2,050 мг/кг). Содержание никеля в побегах 1, 2 и 3-го года развития в контроле варьирует от 0,787 до 1,887 мг/кг.

На урбанизированных территориях вследствие выбросов промышленных предприятий и автотранспорта в городской пыли повышается содержание тяжелых металлов, в том числе никеля [32–34]. Тяжелые металлы, оседая на поверхности почвы, мигрируют по профилю, ухудшая физико-химические свойства почв [35]. Перемещаясь в системе «почва — растения», никель

влияет на рост и развитие древесных растений на загрязненных территориях [36–39].

Проведенные ранее исследования показали, что в условиях загрязнения г. Липецка в хвое сосны повышается содержание марганца, железа, кадмия и цинка [40, 41]. Несмотря на высокое содержание таких токсикантов в хвое сосны обыкновенной не зафиксировано значительного снижения роста хвои и побегов 1-го года развития [42]. Анализ состояния сосны обыкновенной показал, что в условиях загрязнения ее насаждения находятся в ослабленном состоянии. Однако при этом не происходит значительной гибели древостоев сосны. Следовательно, насаждения сосны обыкновенной в техногенных условиях Липецкой обл., несмотря на высокий уровень загрязнения окружающей среды и содержания

в наземных органах значительного количества тяжелых металлов, продолжают выполнять свои санитарно-защитные функции.

Выводы

Проведенные исследования особенностей накопления никеля в наземных органах сосны обыкновенной (хвое и побегах 1, 2 и 3-го года развития) в условиях атмосферного и почвенного загрязнения в пределах г. Липецка показали, что содержание никеля в данных органах повышено по сравнению с контролем. Тем не менее, в пределах Липецка не отмечается деструкции насаждений сосны обыкновенной. Данную древесную породу можно рекомендовать для создания новых санитарно-защитных насаждений и реконструкции уже существующих в пределах Липецкой области.

Список литературы

- [1] Идзон П.Ф., Пименова Г.С., Цыганова О.П. Количественная характеристика водоохранных и водорегулирующих свойств леса // Лесоведение, 1980. № 5. С. 3–12.
- [2] Roque-Alvarez I., Ponce P., Bretado M.A.E., Vazquez-Arenas J. Spatial distribution, mobility and bioavailability of arsenic, lead, copper and zinc in low polluted forest ecosystem in North-western Mexico // Chemosphere, 2018, v. 2010, pp. 320–333. DOI: 10.1016/j.chemosphere.2018.07.004
- [3] Daigneault A., Favero A. Global forest management, carbon sequestration and bioenergy supply under alternative shared socioeconomic pathways // Land Use Policy, 2021, v. 103, 105302. DOI: 10.1016/j.landusepol.2021.105302
- [4] Nriagu J.O. Global inventory of natural and anthropogenic emissions of trace metals to the atmosphere // Nature, 1979, v. 279, pp. 409–411.
- [5] Kawahata H., Yamashita S., Yamaoka K., Okai T., Shimoda S., Imai N. Heavy metal pollution in Ancient Nara, Japan, during the eighth century // Progress in Earth and Planetary Sci., 2014, v. 1, 15. DOI: 10.1186/2197-4284-1-15
- [6] Hassan M.U., Chattha M.U., Khan I. et al. Nickel toxicity in plants: reasons, toxic effects, tolerance mechanisms, and remediation possibilities – a review // Environ. Sci. Pollut. Res., 2019, v. 26, pp. 12673–12688. DOI: 10.1007/s11356-019-04892-x
- [7] Alloway B.J. Sources of heavy metals and metalloids in soils // Heavy metals in soils. Berlin, Springer, 2013, pp. 11–50.
- [8] Banerjee A., Roychoudhury A. Plant responses to environmental nickel toxicity // Plant Micronutrients. Berlin, Springer, 2020, pp. 101–111.
- [9] Sajad M.A., Khan M.S., Bahadur S., Shuaib M., Naem A., Zaman W., Ali, H. Nickel phytoremediation potential of some plant species of the Lower Dir, Khyber Pakhtunkhwa, Pakistan // Limnological Review, 2020, v. 20, pp. 13–22. DOI: 10.2478/limre-2020-0002
- [10] Wood B.W., Reilly C.C., Nyczepir A.P. Field deficiency of nickel in trees: symptoms and causes // Acta Hort., 2006, v. 721, pp. 83–98.
- [11] Bai C., Reilly C.C., Wood B.W. Nickel deficiency disrupts metabolism of ureids, amino acids and organic acids of young pecan foliage // Plant Physiol., 2006, v. 140, pp. 433–443.
- [12] Hasinur R., Shamima S., Shigenao K.W. Effects of nickel on growth and composition of metal micronutrients in barley plants grown in nutrient solution // J. Plant Nutr., 2005, v. 28, pp. 393–404.
- [13] Gajewska E., Skłodowska M., Ślaba M., Mazur J. Effect of nickel on antioxidative enzyme activities, proline and chlorophyll contents in wheat shoots // Biol. Plant, 2006, v. 50, pp. 653–659.
- [14] Aamer M., Muhammad U.H., Li Z., Abid A., Su Q., Liu Y., Adnan R., Muhammad A.U.K., Tahir A.K., Huang G. Foliar application of glycinebetaine (GB) alleviates the cadmium toxicity in spinach through reducing Cd uptake and improving the activity of anti-oxidant system // Appl. Ecol. Environ. Res., 2018, v. 16, pp. 7575–7583.
- [15] Федеральный регистр потенциально опасных химических и биологических веществ. URL: <http://www.gpohv.ru/online/detail.html?id=828> (дата обращения 02.03.2022).
- [16] National Toxicology Program (NTP-2021). Report on Carcinogens. Fifteenth Edition. U.S. Department of Health and Human Services, Public Health Service. URL: <https://doi.org/10.22427/NTP-OTHER-1003> (дата обращения 29.04.2022).
- [17] IARC, 1990. Nickel and nickel compounds // Chromium, Nickel and Welding. International Agency for Research on Cancer Monographs on the Evaluation of Carcinogenic Risk of Chemicals to Humans, Lyon, France, v. 49, pp. 257–445.
- [18] Occupational Chemical Database (OSHA–2022). URL: <https://www.osha.gov/chemicaldata> (дата обращения 29.04.2022).
- [19] ACGIH Board Ratifies 2022. TLVs and BEIs. URL: <https://www.acgih.org/science/tlv-bei-guidelines/documentation-publications-and-data/substances-and-agents-listing/> (дата обращения 29.04.2022).
- [20] Лянгузова И.В. Динамика содержания никеля и меди в растениях сосновых лесов Кольского полуострова в условиях аэротехногенного загрязнения // Растительные ресурсы, 2008. Т. 44. № 4. С. 91–98.
- [21] Шубина Н.В., Юрьев Ю.Л. Влияние выбросов металлургического производства на микроэлементный состав хвои сосны // Химия растительного сырья, 2009. № 3. С. 173–176.
- [22] Кизеев А.Н. Состояние окружающей природной среды в районе расположения предприятия цветной металлургии (Мурманская область) // Междунар. журн. прикладных и фундаментальных исследований, 2014. № 11–3. С. 502–506.
- [23] 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 бореальной зоны, 2020. Т. 38. № 3–4. С. 115–122.
- [24] Сискевич Ю.И., Никоноренков В.А., Долгих О.В. Почвы Липецкой области. Липецк: Позитив ЛТ, 2018. 209 с.
- [25] Состояние и охрана окружающей среды Липецкой области в 2020 году. Липецк: Изд-во Управления экологии и природных ресурсов Липецкой области, 2021. 164 с.
- [26] Сукачев В.Н. Программа и методика биогеоценологических исследований. М.: Наука, 1966. 333 с.
- [27] Kershaw J.A., Ducey M.J., Beers T.W., Husch B. Forest Mensuration, 5th ed. Chichester, UK, Wiley, 2016, 613 p.
- [28] Cornelissen J.H.C., Garnier E.B., Lavorel S., Diaz S.A. handbook of protocols for standardized and easy measurement of plant functional traits worldwide // Aust. J. Bot., 2003, v. 51, pp. 335–380. DOI: 10.1071/bt02124
- [29] Pelly I.Z. Atomic absorption spectrometry // Instrumental multi-element chemical analysis. Dordrecht, Springer, 1998, pp. 251–301.
- [30] Xu X., Xia J., Gao Y., Zheng W. Additional focus on particulate matter wash-off events from leaves is required: A review of studies of urban plants used to reduce airborne

- particulate matter pollution // *Urban For. Urban Gree.*, 2020, v. 48, 126559.
DOI: 10.1016/j.ufug.2019.126559 (2020)
- [31] Прохорова Н.В., Матвеев Н.М., Павловский В.А. Аккумуляция тяжелых металлов дикорастущими и культурными растениями в лесостепном и степном Поволжье. Самара: Изд-во Самарского университета, 1998. 131 с.
- [32] Salim Akhter M., Madany I.M. Heavy metals in street and house dust in Bahrain // *Water, Air & Soil Pollut.*, 1993, v. 66, pp. 111–119. DOI: 10.1007/BF00477063
- [33] Soleymani S., Javan S. Naimabadi A. Heavy metal concentrations and health risk assessment in urban soils of Neyshabur, Iran // *Environ. Monit. Assess.*, 2022, v. 194, article no. 218. DOI: 10.1007/s10661-021-09724-5
- [34] Ulutaş K. Risk assessment and spatial distribution of heavy metal in street dusts in the densely industrialized area // *Environ. Monit. Assess.*, 2022, v. 194, article no. 99. DOI: 10.1007/s10661-022-09762-7
- [35] Doelman P., Haanstra L. Short-term and long-term effects of cadmium, chromium, copper, nickel, lead and zinc on soil microbial respiration in relation to abiotic soil factors // *Plant Soil*, 1984, v. 79, pp. 317–327.
- [36] Неверова О.А. Эколого-физиологическая оценка состояния ассимиляционного аппарата сосны обыкновенной в условиях антропогенного загрязнения г. Кемерово // *Сибирский экологический журнал*, 2003. Т. 10. № 6. С. 773–779.
- [37] Анищенко Л.Н., Агапова А.А. Накопление элементов группы тяжелых металлов в различных компонентах лесных экосистем территорий с различной техногенной нагрузкой // *Вестник Брянского государственного университета*, 2013. № 4. С. 54–57.
- [38] Jonczak J., Sut-Lohmann M., Polláková N. Bioaccumulation of potentially toxic elements by the needles of eleven pine species in low polluted area // *Water, Air & Soil Pollut.*, 2021, v. 232, article no. 28. DOI: 10.1007/s11270-020-04959-3
- [39] Çomaklı E., Bingöl M.S. Heavy metal accumulation of urban Scots pine (*Pinus sylvestris* L.) plantation // *Environ. Monit. Assess.*, 2021, v. 193, 192. DOI: 10.1007/s10661-021-08921-6
- [40] Zaitsev G.A., Dubrovina O.A., Kulagin A.Y., Shainurov R.I. Cadmium and zinc migration in Scots pine stands growing in contaminated areas from metallurgical plant emissions // *Int. J. of Environ. Sci. and Technol.*, 2021, v. 18, pp. 3625–3634. DOI: 10.1007/s13762-020-03104-1
- [41] Zaitsev G.A., Dubrovina O.A., Shainurov R.I. Iron and manganese migration in «soil-plant» system in Scots pine stands in conditions of contamination by the steel plant's emissions // *Sci. Reports*, 2020, v. 10, 11025. DOI: 10.1038/s41598-020-68114-y
- [42] Дубровина О.А. Эколого-биологические особенности сосны обыкновенной (*Pinus sylvestris* L.) в условиях техногенного загрязнения (на примере Липецкой области.): автореф. дис. ... канд. биол. наук. Владимир, 2021. 2 с.

Сведения об авторах

Зайцев Глеб Анатольевич [✉] — д-р биол. наук, профессор, вед. науч. сотр. лаборатории лесоведения, Уфимский институт биологии – обособленное структурное подразделение ФГБНУ Уфимского федерального исследовательского центра РАН, forestry@mail.ru

Дубровина Ольга Алексеевна — канд. биол. наук, ст. преп. кафедры технологии хранения и переработки сельскохозяйственной продукции, ФГБОУ ВО «Елецкий государственный университет имени И.А. Бунина», laboratoria101@mail.ru

Масина Татьяна Алексеевна — аспирант, лаборант кафедры химико-биологических дисциплин и фармакологии, ФГБОУ ВО «Елецкий государственный университет имени И.А. Бунина», masina-1978@mail.ru

Поступила в редакцию 10.06.2022.

Одобрено после рецензирования 20.09.2022.

Принята к публикации 26.09.2022.

NICKEL LEVELS IN SCOTS PINE (*PINUS SYLVESTRIS* L.) ORGANS UNDER POLLUTION CONDITIONS IN LIPETSK CITY

G.A. Zaitsev^{1✉}, O.A. Dubrovina², T.A. Masina²

¹Ufa Institute of Biology, Ufa Federal Research Centre of the Russian Academy of Sciences, 69, October pr., 450054, Republic of Bashkortostan, Ufa, Russia

²Bunin Yelets State University, 28, Kommunarov st., 399770, Lipetsk region, Yelets, Russia

forestry@mail.ru

In the city of Lipetsk, the peculiarities of nickel accumulation in the above-ground organs of Scots pine have been determined. The research was conducted in pine stands ranging in age from 40 to 50 years. Sampling and research were carried out in the vegetation dynamics for two years (2019 and 2020). The nickel content in the needles and shoots of the first, second and third years of growth was determined by atomic absorption method. The nickel levels in pine needles and shoots were higher under contaminated conditions than in the control. The critical nickel levels for most plants in the aboveground part are 3,0 mg/kg and in our research, the nickel concentration in needles and shoots over the growing season did not exceed that level. Despite higher nickel levels in needles and shoots (relative to controls), there was no significant reduction in the needle and shoot growth during the first year of development under polluting conditions.

Keywords: Scots pine, needles, shoots, nickel

Suggested citation: Zaitsev G.A., Dubrovina O.A., Masina T.A. *Soderzhanie nikelya v organakh sosny obyknovnoy (Pinus sylvestris L.) v usloviyakh zagryazneniya v predelakh g. Lipetska* [Nickel levels in Scots pine (*Pinus sylvestris* L.) organs under pollution conditions in Lipetsk city]. *Lesnoy vestnik / Forestry Bulletin*, 2022, vol. 26, no. 6, pp. 41–47. DOI: 10.18698/2542-1468-2022-6-41-47

References

- [1] Idzon P.F., Pimenova G. S., Tsyganova O. P. *Kolichestvennaya kharakteristika vodookhrannykh i vodoreguliruyushchikh svoystv lesa* [Quantitative characteristics of water protection and water-regulating properties of the forest]. *Lesovedenie* [Russian Journal of Forestry], 1980, no. 5, pp. 3–12.
- [2] Roque-Alvarez I., Ponce P., Bretado M.A.E., Vazquez-Arenas J. Spatial distribution, mobility and bioavailability of arsenic, lead, copper and zinc in low polluted forest ecosystem in North-western Mexico. *Chemosphere*, 2018, v. 2010, pp. 320–333. DOI: 10.1016/j.chemosphere.2018.07.004
- [3] Daigneault A., Favero A. Global forest management, carbon sequestration and bioenergy supply under alternative shared socioeconomic pathways. *Land Use Policy*, 2021, v. 103, 105302. DOI: 10.1016/j.landusepol.2021.105302
- [4] Nriagu J.O. Global inventory of natural and anthropogenic emissions of trace metals to the atmosphere. *Nature*, 1979, v. 279, pp. 409–411.
- [5] Kawahata H., Yamashita S., Yamaoka K., Okai T., Shimoda S., Imai N. Heavy metal pollution in Ancient Nara, Japan, during the eighth century. *Progress in Earth and Planetary Sci.*, 2014, v. 1, 15. DOI: 10.1186/2197-4284-1-15
- [6] Hassan M.U., Chattha M.U., Khan I. et al. Nickel toxicity in plants: reasons, toxic effects, tolerance mechanisms, and remediation possibilities — a review // *Environ. Sci. Pollut. Res.*, 2019, v. 26, pp. 12673–12688. DOI: 10.1007/s11356-019-04892-x
- [7] Alloway B.J. Sources of heavy metals and metalloids in soils // *Heavy metals in soils*. Berlin, Springer, 2013, pp. 11–50.
- [8] Banerjee A., Roychoudhury A. Plant responses to environmental nickel toxicity // *Plant Micronutrients*. Berlin, Springer, 2020, pp. 101–111.
- [9] Sajad M.A., Khan M.S., Bahadur S., Shuaib M., Naeem A., Zaman W., Ali, H. Nickel phytoremediation potential of some plant species of the Lower Dir, Khyber Pakhtunkhwa. *Pakistan // Limnological Review*, 2020, v. 20, pp. 13–22. DOI: 10.2478/limre-2020-0002
- [10] Wood B.W., Reilly C.C., Nyczepir A.P. Field deficiency of nickel in trees: symptoms and causes // *Acta Hortic.*, 2006, v. 721, pp. 83–98.
- [11] Bai C., Reilly C.C., Wood B.W. Nickel deficiency disrupts metabolism of ureids, amino acids and organic acids of young pecan foliage // *Plant Physiol.*, 2006, v. 140, pp. 433–443.
- [12] Hasinur R., Shamima S., Shigenao K.W. Effects of nickel on growth and composition of metal micronutrients in barley plants grown in nutrient solution // *J. Plant Nutr.*, 2005, v. 28, pp. 393–404.
- [13] Gajewska E., Skłodowska M., Słaba M., Mazur J. Effect of nickel on antioxidative enzyme activities, proline and chlorophyll contents in wheat shoots // *Biol. Plant*, 2006, v. 50, pp. 653–659.
- [14] Aamer M., Muhammad U.H., Li Z., Abid A., Su Q., Liu Y., Adnan R., Muhammad A.U.K., Tahir AK., Huang G. Foliar application of glycinebetaine (GB) alleviates the cadmium toxicity in spinach through reducing Cd uptake and improving the activity of anti-oxidant system // *Appl. Ecol. Environ. Res.*, 2018, v. 16, pp. 7575–7583.
- [15] *Federal'nyy registr potentsial'no opasnykh khimicheskikh i biologicheskikh veshchestv* (2022) [Federal Register of Potentially Hazardous Chemicals and Biological Substances]. Available at: <http://www.rpohv.ru/online/detail.html?id=828> (accessed 29.04.2022).
- [16] National Toxicology Program (NTP–2021). Report on Carcinogens. Fifteenth Edition. U.S. Department of Health and Human Services, Public Health Service. URL: <https://doi.org/10.22427/NTP-OTHER-1003> (accessed 29.04.2022).
- [17] IARC, 1990. Nickel and nickel compounds // Chromium, Nickel and Welding. International Agency for Research on Cancer Monographs on the Evaluation of Carcinogenic Risk of Chemicals to Humans, Lyon, France, v. 49, pp. 257–445.
- [18] Occupational Chemical Database (OSHA–2022). URL: <https://www.osha.gov/chemicaldata> (accessed 29.04.2022).
- [19] ACGIH Board Ratifies 2022. TLVs and BEIs. URL: <https://www.acgih.org/science/tlv-bei-guidelines/documentation-publications-and-data/substances-and-agents-listing/> (accessed 29.04.2022).
- [20] Lyanguzova I.V. *Dinamika sodержaniya nikelya i medi v rasteniyakh sosnovykh lesov Kol'skogo poluostrova v usloviyakh aerotekhnogenogo zagryazneniya* [Dynamics of nickel and copper content in plants of pine forests of the Kola Peninsula under conditions of aerotechnological pollution]. *Rastitel'nye resursy* [Plant resource], 2008, v. 44, no. 4, pp. 91–98.
- [21] Shubina N.V., Yur'ev Yu.L. *Vliyaniye vybrosov metallurgicheskogo proizvodstva na mikroelementnyy sostav khvoi sosny* [Impact of metallurgical emissions on the pine needle microelement composition]. *Khimiya rastitel'nogo syr'ya* [Chemistry of Plant Raw Material], 2009, no. 3, pp. 173–176.
- [22] Kizeev A.N. *Sostoyaniye okruzhayushchey prirodnoy sredy v rayone raspolozheniya predpriyatiya tsvetnoy metallurgii (Murmanskaya oblast')* [State of the natural environment in the vicinity of the non-ferrous metallurgy enterprise (Murmansk region)]. *Mezhdunarodnyy zhurnal prikladnykh i fundamental'nykh issledovaniy* [International Journal of Applied and Fundamental Research], 2014, no. 11–3, pp. 502–506.
- [23] 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.
- [24] Siskevich Yu.I., Nikonorenkov V.A., Dolgikh O.V. *Pochvy Lipetskoj oblasti* [Lipetsk region soils]. Lipetsk: Positive L, 2018, 209 p.
- [25] *Doklad «Sostoyaniye i okhrana okruzhayushchey sredy Lipetskoj oblasti v 2020 godu»* [Report «State and Environmental Protection of the Lipetsk Region in 2020»]. Lipetsk: Department of Ecology and Natural Resources of the Lipetsk Region, 2021, 164 p.
- [26] Sukachev V.N. *Programma i metodika biogeotsenologicheskikh issledovaniy* [Programme and methodology of biogeocological research]. Moscow: Science, 1966, 333 p.
- [27] Kershaw J.A., Ducey M.J., Beers T.W., Husch B. *Forest Mensuration*, 5th ed. Chichester, UK, Wiley, 2016, 613 p.
- [28] Cornelissen J.H.C., Garnier E.B., Lavorel S., Diaz S.A handbook of protocols for standardized and easy measurement of plant functional traits worldwide // *Aust. J. Bot.*, 2003, v. 51, pp. 335–380. DOI: 10.1071/bt02124
- [29] Pelly I.Z. *Atomic absorption spectrometry // Instrumental multi-element chemical analysis*. Dordrecht, Springer, 1998, pp. 251–301.

- [30] Xu X., Xia J., Gao Y., Zheng W. Additional focus on particulate matter wash-off events from leaves is required: A review of studies of urban plants used to reduce airborne particulate matter pollution. *Urban For. Urban Gree.*, 2020, v. 48, 126559. DOI: 10.1016/j.ufug.2019.126559 (2020)
- [31] Prokhorova N.V., Matveev N.M., Pavlovskiy V.A. *Akkumulyatsiya tyazhelykh metallov dikorastushchimi i kul'turnymi rasteniyami v lesostepnom i stepnom Povolzh'e* [Accumulation of heavy metals by wild and cultivated plants in forest-steppe and steppe Volga region]. Samara: Samara University, 1998, 131 p.
- [32] Salim Akhter M., Madany I.M. Heavy metals in street and house dust in Bahrain. *Water, Air & Soil Pollut.*, 1993, v. 66, pp. 111–119. DOI: 10.1007/BF00477063
- [33] Soleymani S., Javan S., Naimabadi A. Heavy metal concentrations and health risk assessment in urban soils of Neyshabur, Iran. *Environ. Monit. Assess.*, 2022, v. 194, 218. DOI: 10.1007/s10661-021-09724-5
- [34] Ulutaş K. Risk assessment and spatial distribution of heavy metal in street dusts in the densely industrialized area. *Environ. Monit. Assess.*, 2022, v. 194, 99. DOI: 10.1007/s10661-022-09762-7
- [35] Doelman P., Haanstra L. Short-term and long-term effects of cadmium, chromium, copper, nickel, lead and zinc on soil microbial respiration in relation to abiotic soil factors. *Plant Soil*, 1984, v. 79, pp. 317–327.
- [36] Neverova O.A. *Ekologo-fiziologicheskaya otsenka sostoyaniya assimilatsionnogo apparata sosny obyknovnoy v usloviyakh antropogennogo zagryazneniya g. Kemerovo* [Ecological and physiological assessment of the state of assimilation apparatus of Scots pine under conditions of anthropogenic pollution of Kemerovo]. *Sibirskiy ekologicheskiy zhurnal* [Contemporary Problems of Ecology], 2003, v. 10, no. 6, pp. 773–779.
- [37] Anishchenko L.N., Agapova A.A. *Nakoplenie elementov gruppy tyazhelykh metallov v razlichnykh komponentakh lesnykh ekosistem territoriy s razlichnoy tekhnogennoy nagruzkoj* [Accumulation of heavy metal group elements in different components of forest ecosystems in areas with different man-made loads]. *Vestnik Bryanskogo gosudarstvennogo universiteta* [The Bryansk State University Herald], 2013, no. 4, pp. 54–57.
- [38] Jonczak J., Sut-Lohmann M., Polláková N. Bioaccumulation of potentially toxic elements by the needles of eleven pine species in low polluted area. *Water, Air & Soil Pollut.*, 2021, v. 232, 28. DOI: 10.1007/s11270-020-04959-3
- [39] Çomaklı E., Bingöl M.S. Heavy metal accumulation of urban Scots pine (*Pinus sylvestris* L.) plantation. *Environ. Monit. Assess.*, 2021, v. 193, 192. DOI: 10.1007/s10661-021-08921-6
- [40] Zaitsev G.A., Dubrovina O.A., Kulagin A.Y., Shainurov R.I. Cadmium and zinc migration in Scots pine stands growing in contaminated areas from metallurgical plant emissions. *Int. J. of Environ. Sci. and Technol.*, 2021, v. 18, pp. 3625–3634. DOI: 10.1007/s13762-020-03104-1
- [41] Zaitsev G.A., Dubrovina O.A., Shainurov R.I. Iron and manganese migration in «soil-plant» system in Scots pine stands in conditions of contamination by the steel plant's emissions. *Sci. Reports*, 2020, v. 10, 11025. DOI: 10.1038/s41598-020-68114-y
- [42] Dubrovina O.A. *Ekologo-biologicheskie osobennosti sosny obyknovnoy (Pinus sylvestris L.) v usloviyakh tekhnogennogo zagryazneniya (na primere Lipetskoy oblasti)* [Ecological and biological features of Scots pine (*Pinus sylvestris* L.) under conditions of man-made pollution (on the example of the Lipetsk region)]. Author's summary Diss. Cand. Sci. (Biol.). Vladimir, 2021, 22 p.

Authors' information

Zaytsev Gleb Anatol'evich✉ — Dr. Sci. (Biology), Professor, Leading Researcher, Laboratory of Forestry, Ufa Institute of Biology, Ufa Federal Research Center of the Russian Academy of Sciences, forestry@mail.ru

Dubrovina Ol'ga Alekseevna — Cand. Sci. (Biology), Senior Lecturer of the Department of Technology of storage and processing of agricultural products, Bunin Yelets State University, laboratoria101@mail.ru

Masina Tat'yana Alekseevna — pg., laboratory assistant of the Department of Chemical-biological disciplines and pharmacology, Bunin Yelets State University, masina-1978@mail.ru

Received 10.06.2022.

Approved after review 20.09.2022.

Accepted for publication 26.09.2022.

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

РЕТРОСПЕКТИВНЫЙ АНАЛИЗ ФОРМИРОВАНИЯ ЛАНДШАФТНО-ЭКОЛОГИЧЕСКОГО ПОДХОДА ПРИ ЛЕСНОЙ РЕКУЛЬТИВАЦИИ НАРУШЕННЫХ ЛАНДШАФТОВ

А.Ю. Кулагин

ФГБУ «Российская Академия Наук», Уфимский Институт биологии — обособленное структурное подразделение Федерального государственного бюджетного научного учреждения Уфимского федерального исследовательского центра РАН, Россия, 450054, Республика Башкортостан, г. Уфа, пр. Октября, д. 69

coolagin@list.ru

Проведение ретроспективного анализа формирования ландшафтно-экологического подхода к рекультивации нарушенных земель показало, что технологии рекультивации развивались от сельскохозяйственного направления до ландшафтно-экологического с учетом природно-климатических особенностей и направленности на снижение экологических рисков. Лесное направление рекультивации представляется перспективным способом ликвидации накопленного экологического ущерба, образованного при разработке месторождений полезных ископаемых. Показано, что успешная лесная рекультивация нарушенных земель носит региональный характер и связана с восстановлением структурно-функциональной целостности ландшафтно-экологических комплексов. Опытно-производственные работы по лесовосстановлению на отвалах рекомендуется проводить с минимальными затратами на технический этап рекультивации. Определено, что древесные растения депонируют токсичные химические элементы и снижают уровень вторичного загрязнения окружающей среды. Предпочтение лесной рекультивации антропогенных ландшафтов связано с восстановлением их биологической продуктивности и ограничениями на сельскохозяйственное использование нарушенных земель.

Ключевые слова: промышленные отвалы, лесная рекультивация, аккумуляция химических элементов

Ссылка для цитирования: Кулагин А.Ю. Ретроспективный анализ формирования ландшафтно-экологического подхода при лесной рекультивации нарушенных ландшафтов // Лесной вестник / Forestry Bulletin, 2022. Т. 26. № 6. С. 48–54. DOI: 10.18698/2542-1468-2022-6-48-54

Социально-экономическое сбалансированное существование и развитие общества неразрывно связаны с природопользованием. Расширение добычи полезных ископаемых и их дальнейшая переработка требуют применения современных технологий на всех этапах этих процессов. Рост численности населения, его возрастающие потребности определяют необходимость постоянного совершенствования промышленного производства [1–5].

Общий ретроспективный анализ подходов к поиску и разведке месторождений полезных ископаемых состоит из комплекса методов наблюдения, анализа и обобщения, которые предусматривают описание обнажений, обнаружение поверхностного залегания полезных ископаемых, закладку шурфов и разведочное бурение, проведение геохимических и геофизических исследований, развитие теории генезиса и формирования месторождений. Разработка месторождений полезных ископаемых в общем виде сводится к открытым, шахтным и глубинным методам с использованием технологий бурения и геохимических методов извлечения продуктов, в частности металлов.

Комплексные ландшафтно-геологические, геофизические и геохимические методы поиска, разведки, оценки запасов и обоснования технологий разработки месторождений и добычи полезных ископаемых до настоящего времени ориентированы на конечный результат — получение сырья и продукта. При этом потребности промышленности и поставленные задачи нередко вступают в противоречие с необходимостью обеспечения высокого качества жизни людей, поскольку разработка месторождений полезных ископаемых приводит к негативным последствиям:

- разрушение ландшафтно-экологических природных комплексов;
- формирование карьерно-отвальных комплексов;
- создание терриконов и образование пустот при проведении подземных горных работ;
- образование нарушенных территорий, занятых отстойниками и отходами в результате обогащения руд и извлечения отдельных элементов;
- газодымовые выбросы в окружающую среду предприятиями по энергообеспечению;
- вторичное геохимическое загрязнение прилегающих ландшафтов и окружающей среды (атмосферного воздуха, поверхностных и подземных вод, почв, объектов растительного и животного мира) вследствие водно-ветровой эрозии в пределах промышленных объектов.

Таким образом, в зонах расположения и функционирования промышленности по добыче и переработке полезных ископаемых формируются территории экологических рисков [6–9]. История их образования насчитывает 200–300 лет. Однако начиная с XX в. процессы техногенеза и их последствия приобрели масштабный и катастрофический характер. Ситуация усугубляется технологическими издержками и физическим износом оборудования, что приводит к увеличению частоты и масштабов аварий. Следовательно, вопросы о ликвидации накопленного экологического ущерба в отдельных регионах стали актуальными и требуют безотлагательного решения.

Цель работы

Цель работы — ретроспективный анализ формирования ландшафтно-экологического подхода при лесной рекультивации техногенных ландшафтов в части восстановления структурно-функциональной целостности природных комплексов на нарушенных землях, снижении негативного воздействия на окружающую среду и ликвидации накопленного экологического ущерба при разработке месторождений полезных ископаемых.

Материалы и методы

Оценивались результаты опытно-производственных работ по лесной рекультивации отвалов Кумертауского бурогоугольного разреза, выполненных в 1981–1983 гг. Лесовосстановление на промышленных отвалах проводилось без нанесения плодородного слоя почвы поверх отвальных грунтов [10–12]. В работе представлена характеристика состояния 40-летних лесных насаждений.

Объекты исследования — насаждения березы повислой (*Betula pendula* Roth), лиственницы Сукачева (*Larix sukaczewii* Dyl.), сосны обыкновенной (*Pinus sylvestris* L.), произрастающие на отвалах Кумертауского бурогоугольного разреза. Выбор видов древесных растений обусловлен ареалом произрастания, устойчивостью к экстремальным природным и техногенным факторам, доступностью посадочного материала.

Исследования состояния лесных насаждений на отвалах осуществлялись по общепринятым методикам [13–16]. Оценка относительного жизненного состояния насаждений проводилась с использованием методики В.А. Алексеева [17].

Исследовались особенности накопления отдельных химических элементов в древесных растениях. Содержание химических элементов в грунтах и растениях определялось методом атомно-абсорбционной спектrophотометрии (спектрофотометр ААС-3, Carl Zeiss Jena) [18, 19]. Повторность — 10 проб.

Статистическая обработка фактического материала выполнялась с использованием общепринятых методов с помощью пакета программы Microsoft Office Excel версии 2016.

Результаты и обсуждение

Насаждения березы повислой, лиственницы Сукачева и сосны обыкновенной представляют лесные культуры, созданные на отвалах Кумертауского бурогоугольного разреза с использованием стандартных технологий посадки древесных пород [10, 11].

По диагностическим признакам густота кроны деревьев составляет от 85 до 90 %, наличие мертвых сучьев на стволах — от 0 до 10 %, степень повреждения листьев — от 0 до 10 %. Среднее относительное жизненное состояние насаждений данных лесообразующих видов на отвалах Кумертауского бурогоугольного разреза составляет 91...95 % и оценивается как «здоровое».

В связи с оценкой вклада древесных насаждений в оптимизацию экологических условий и выполнение защитных функций исследовались особенности накопления отдельных химических элементов в березе повислой, лиственнице Сукачева и сосне обыкновенной, произрастающих на отвалах Кумертауского бурогоугольного разреза. Установлено, что содержание отдельных элементов в почвогрунтах (табл. 1) под древесными растениями в целом ниже, чем на необлесенных участках. Количество марганца в грунтах необлесенного участка отвалов бурогоугольного месторождения на 30 % больше по сравнению с облесенными территориями.

Отмечается видоспецифичность древесных видов по коэффициенту накопления марганца у березы — 2,0, у лиственницы — 5,3, у сосны — 5,8. В почвогрунтах под насаждениями березы цинк обнаруживается в следовых количествах. Коэффициент накопления цинка лиственницей составляет 7,8. Установлено увеличение коэффициента аккумуляции свинца в ряду: береза (1,8) — лиственница (2,3) — сосна (3,9). Кроме того, наблюдается резкое увеличение коэффициента накопления кадмия в ряду: береза (6,7) — лиственница (97,6) — сосна (238,0).

Сравнение распределения металлов по органам древесных растений (рисунок) свидетельствует о том, что наибольшее количество поглощенных техногенных элементов накапливается в побегах и в ассимиляционных органах древесных растений, меньшее — в корнях и коре.

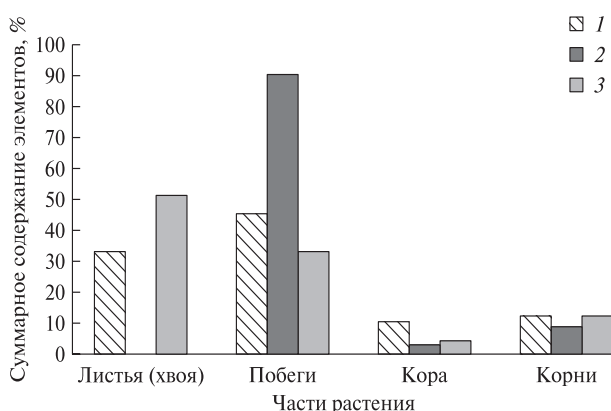
Древесные растения, произрастающие на промышленных отвалах, способны депонировать часть техногенных элементов [20]. При этом отмечается значительное накопление техногенных элементов в побегах и ассимиляционном аппарате древесных растений [21, 22].

Т а б л и ц а 1

Содержание химических элементов (ppm) в образцах почвогрунтов (приповерхностный слой 0...10 см) на степных участках и участках лесной рекультивации отвалов Кумертауского бурогоугольного разреза

The content of chemical elements (ppm) in soil samples (surface layer 0...10 cm) in steppe areas and areas of forest recultivation of dumps in the Kumertau brown coal mine

Химический элемент	Степной необлесенный участок	<i>Betula pendula</i> Roth	<i>Larix sukaczewii</i> Dyl.	<i>Pinus sylvestris</i> L.
Cr	15,0 ± 3,8	353,0 ± 97,4	341,0 ± 92,1	238,0 ± 81,7
Co	2,3 ± 0,7	22,0 ± 8,6	22,0 ± 6,9	22,0 ± 8,2
Mo	0,23 ± 0,08	0,7 ± 0,2	0,55 ± 0,17	0,71 ± 0,26
Pb	1,5 ± 0,4	13,0 ± 4,7	19,0 ± 5,3	10,0 ± 3,0
Hg	0,03 ± 0,009	0,06 ± 0,02	0,1 ± 0,02	0,04 ± 0,01
As	0,51 ± 0,13	27,0 ± 6,9	17,0 ± 5,5	18,0 ± 5,8
Mn	991,0 ± 267,2	601,0 ± 173,8	673,0 ± 199,1	514,0 ± 152,7
Ni	876,0 ± 216,7	207,0 ± 62,4	253,0 ± 76,3	231,0 ± 63,8
Sr	181,0 ± 49,0	86,0 ± 21,9	83,0 ± 23,7	55,0 ± 14,2
Cd	5,4 ± 1,1	0,55 ± 0,16	0,15 ± 0,04	Следы
P	3300,0 ± 990	692,0 ± 216,7	294,0 ± 53,1	526,0 ± 159,8
Cu	Следы	Следы	81,0 ± 21,8	Следы
Ag	Следы	Следы	0,06 ± 0,02	Следы
Zn	11,0 ± 3,4	Следы	77,0 ± 21,9	Следы



Распределение элементов в органах древесных растений, произрастающих на отвалах Кумертауского бурогоугольного разреза: 1 — *Betula pendula* Roth; 2 — *Larix sukaczewii* Dyl.; 3 — *Pinus sylvestris* L.

The distribution of elements in the organs of woody plants growing on the dumps in the Kumertau brown coal mine: 1 — *Betula pendula* Roth; 2 — *Larix sukaczewii* Dyl.; 3 — *Pinus sylvestris* L.

Оценивая общую аккумулирующую способность древесных растений по отношению к химическим элементам в условиях промышленных отвалов, можно составить следующий ряд по аккумулирующей способности: береза > сосна > > лиственница (табл. 2). С учетом выявленной биоаккумулирующей способности древесных растений можно рекомендовать указанные древесные породы для проведения лесной рекультивации и создания защитных насаждений на промышленных отвалах.

Многолетняя разработка месторождений полезных ископаемых приводит к нарушениям

ландшафтно-экологических природных комплексов и к формированию техногенных карьерно-отвальных ландшафтов [1, 10, 23]. Отвалы являются источниками вторичного загрязнения прилегающих территорий за счет водной и ветровой эрозии. Использование карьерно-отвальных комплексов и прилегающих территорий в агрохозяйственных целях недопустимо в связи с вероятностью вторичного загрязнения окружающей среды (тяжелые металлы и их соединения) [24–27]. Лесная рекультивация техногенно-нарушенных территорий — отвалов и карьеров, снижает водно-ветровую эрозию (в 1,5–2 раза по сравнению с открытыми пространствами), сокращает сроки восстановления биологической продуктивности (на 15–20 лет) и обеспечивает многолетнюю биологическую консервацию токсичных соединений. Следует отметить, что лесная рекультивация нарушенных ландшафтов обеспечивает восстановление ландшафтных комплексов и биологического разнообразия, восстанавливает ресурсную значимость техногенных ландшафтов в условиях антропогенной трансформации окружающей среды.

Оценивая историю и опыт восстановления ландшафтно-природных комплексов на территориях, нарушенных при добыче и переработке полезных ископаемых, следует отметить, что в процессе формирования промышленности эти вопросы решались следующим образом:

1) извлечение природного ресурса и последующее естественное восстановление растительности и экосистем на нарушенных территориях проводились без дополнительных финансовых

Т а б л и ц а 2

Суммарное содержание (средние значения) химических элементов (ppm) в почвах и древесных растениях на промышленных отвалах Кумертауского бурогоугольного разреза

Total content (average values) of chemical elements (ppm) in soils and woody plants on industrial dumps in the Kumertau brown coal mine

Показатель	<i>Betula pendula</i> Roth	<i>Larix sukaczewii</i> Dyl.	<i>Pinus sylvestris</i> L.
Сумма элементов в растении	15385,95	9911,0	5611277,50
Сумма элементов в почве под растениями	2002,31	1860,86	1614,36
Отношение суммы элементов в растении к сумме элементов в почве под растениями	7,7	5,3	7,0

затрат на рекультивацию и восстановление биологической продуктивности.

Отличительной чертой данного подхода является длительный период рекультивации и сопутствующее вторичное геохимическое загрязнение прилегающих ландшафтов;

2) после завершения работ по добыче полезных ископаемых выполнялись работы, направленные на сельскохозяйственное использование нарушенных земель (планировку территорий, нанесение плодородного слоя почвы, внесение органоминеральных удобрений и пр.).

Данный подход связан со значительными затратами на организацию территорий, не исключавший получение сельскохозяйственной продукции низкого качества (зерновых и овощных культур), формирование пастбищных и сенокосных угодий и плодово-ягодных насаждений с повышенным содержанием отдельных химических элементов;

3) с учетом близости к карьерно-отвальным комплексам населенных пунктов в незначительных масштабах практиковалась организация коллективных садов и товариществ.

Затраты на организацию территорий и получение продукции перекладывались на людей. При этом сохранялась опасность поступления токсичных соединений в организм человека с продуктами потребления (овощами, фруктами);

4) внедрение искусственного лесовосстановления на нарушенных землях с учетом региональных природно-климатических и эколого-биологических особенностей древесно-кустарниковых растений.

Преимущество лесного направления рекультивации промышленных отвалов обусловлено олиготрофностью большинства видов древесных растений, засухоустойчивостью и устойчивостью к промышленным токсикантам ряда видов древесных растений, а главное — способностью формировать длительно функционирующие лесные растительные группировки;

5) анализ опыта проведения рекультивации земель, нарушенных при разработке месторождений полезных ископаемых, свидетельствует о целесообразности широкого применения лесного направления, при котором к минимуму сводятся затраты на технический этап рекультивации, обеспечивается снижение водно-ветровой эрозии на нарушенных землях, достигается наилучший экологический эффект за счет формирования ландшафтно-природного комплекса.

Выводы

Ретроспективный анализ свидетельствует о том, что при разработке месторождений полезных ископаемых происходит разрушение ландшафтно-экологических комплексов, разрушение почвенного и растительного покровов, нарушение естественных биогеохимических циклов с проявлениями эффектов вторичного загрязнения окружающей среды (загрязнение поверхностных и грунтовых вод, загрязнение атмосферного воздуха и пр.). Технологии рекультивации развивались от сельскохозяйственного направления до ландшафтно-экологического с учетом природно-климатических особенностей и направленности на снижение экологических рисков. Современный этап в природопользовании заключается в необходимости ликвидации накопленного экологического ущерба при разработке месторождений полезных ископаемых.

Показано, что актуальность рекультивации нарушенных земель носит региональный характер и связана с восстановлением структурно-функциональной целостности ландшафтно-экологических комплексов.

Установлено, что опытно-производственные работы по лесовосстановлению на отвалах могут проводиться с минимальными затратами на технический этап рекультивации. Древесные растения депонируют токсичные химические элементы и снижают уровень вторичного загрязнения окружающей среды.

С учетом техногенной трансформации окружающей среды и ограничениями на сельскохозяйственное использование нарушенных земель, перспективной представляется лесная рекультивация с дальнейшим восстановлением биологической продуктивности.

Исследования проводились с использованием оборудования центра коллективного пользования «Агидель» в рамках выполнения плановых исследований по бюджетной теме Рег. № НИОКТР АААА-А18-118022190103-01 и при поддержке гранта Министерства образования и науки Республики Башкортостан НОЦ-РМГ-2021 «Создание методологических основ оценки баланса парниковых газов и определения потенциала депонирования углерода в экосистемах».

Список литературы

- [1] Колесников Б.П. О научных основах биологической рекультивации техногенных ландшафтов // Проблемы рекультивации земель в СССР. Новосибирск: Наука, 1974. С. 73–87.
- [2] Прохорова Н.В., Матвеев Н.М., Павловский В.А. Аккумуляция тяжелых металлов дикорастущими и культурными растениями в лесостепном и степном Поволжье. Самара: Изд-во Самарского ун-та, 1998. 97 с.
- [3] Skrynetska I., Ciepał R., Kandziora-Ciupa M., Barczyk G., Nadgórska-Socha A. Ecophysiological Responses to Environmental Pollution of Selected Plant Species in an Industrial Urban Area // International J. of Environmental Research, 2018, V. 12, pp. 255–267.
- [4] García-Sánchez I.E., Barradas V.L., Ponce de León Hill C.A., Esperón-Rodríguez M., Pérez I.R., Ballinas M. Effect of heavy metals and environmental variables on the assimilation of CO₂ and stomatal conductance of *Ligustrum lucidum*, an urban tree from Mexico City // Urban Forestry & Urban Greening, 2019, V 42, pp. 72–81.
- [5] Bakhtina S.Y., Yanbaev Yu.A., Kulagin A.Yu., Redkina N.N., Masalimov I.Kh., Fayzrakhmanov Sh.F. Dynamics of annual growth of common pine on industrial dumps of miming companies // J. of Forestry Research, 2020, v. 32(107), pp. 1–9.
<https://doi.org/10.1007/s11676-020-01212-9>
- [6] Das S., Prasad P. Seasonal Variation in Air Pollution Tolerance Indices and Selection of Plant Species for Industrial Areas of Rourkela // Indian J. of Environmental Protection, 2010, v. 30, no. 12, pp. 978–988.
- [7] Rostunov A., Konchina T., Zhestkova E., Gusev D., Kharitonov S. The Dependence of Morphological and Physiological Indicators of the Leaves of Woody Plants on the Degree of Technogenic Pollution // Environment. Technology. Resources. Proceedings of the 11th Int. Sci. and Pract. Conf., v. 1, Latvia, Rezekne, June 15–17, 2017. Latvia: Rezekne Academy of Technologies, 2017, pp. 235–239.
- [8] Sensuta B., Wilczyński S., Monin L., Allan M., Pazdur A., Fagel N. Variations of tree ring width and chemical composition of wood of pine growing in the area nearby chemical factories // Geochronometria, 2017, v. 44, pp. 226–239.
- [9] Urazgil'din R.V., Amineva K.Z., Zaitsev G.A., Kulagin A.Yu. Comparative Characteristics of Pine, Spruce and Larch Pigmental Complex Seasonal Variability in Industrial Pollution Conditions. The Fourth International Scientific Conference on Ecology and Geography of Plants and Plant Communities, KnE Life Sciences, Ekaterinburg, April 16–19, 2018, pp. 232–242. DOI 10.18502/cls.v4i7.3244
- [10] Баталов А.А., Мартъянов Н.А., Кулагин А.Ю., Горюхин О.Б. Лесовосстановление на промышленных отвалах Предуралья и Южного Урала. Уфа: Изд-во БНЦ УрО АН СССР, 1989. 140 с.
- [11] Кулагин А.Ю., Ведерников К.Г., Мартъянов Н.А., Баталов А.А. Лесная рекультивация отвалов Кумертауского бурогоугольного разреза // Тр. Стерлитамакского филиала АН РБ. Уфа: Гилем, 2001. Вып. 1. С. 45–49.
- [12] Радостева Э.Р. Содержание меди в органах сосны обыкновенной (*Pinus sylvestris* L.) и березы повислой (*Betula pendula* Roth) в условиях отвалов бурогоугольного и полиметаллического месторождений // Башкирский экологический вестник, 2011. № 1. С. 47–50.
- [13] Раменский Л.Г. Введение в комплексное почвенно-ботаническое исследование земель. М.: Сельхозгиз, 1938. 620 с.
- [14] Сукачев В.Н., Раунер Ю.Л., Молчанов А.А., Роде А.А. Программа и методика биогеоэкологических исследований / под ред. В.Н. Сукачева, Н.В. Дылиса. Москва: Наука, 1966. 333 с.
- [15] Ярмишко В.Т. Сосна обыкновенная и атмосферное загрязнение на Европейском Севере. СПб: Изд-во НИИ Химии СПбГУ, 1997. 210 с.
- [16] Ярмишко В.Т., Лянгузова И.В. Методы изучения лесных сообществ. СПб: Изд-во НИИ Химии СПбГУ, 2002. 240 с.
- [17] Алексеев В.А. Некоторые вопросы диагностики и классификации поврежденных загрязнением лесных экосистем // Лесные экосистемы и атмосферное загрязнение. Л.: Наука, 1990. С. 38–54.
- [18] Брицке М.Э. Атомно-абсорбционный спектрохимический анализ (Методы аналитической химии). М.: Химия, 1982. 224 с.
- [19] Титов А.Ф., Таланова В.В., Казнина Н.М., Лайдинен Г.Ф. Устойчивость растений к тяжелым металлам. Петрозаводск: Карельский научный центр РАН, 2007. 172 с.
- [20] Махонина Г.И. Химический состав растений на промышленных отвалах Урала. Свердловск: Изд-во Уральского университета, 1987. 168 с.
- [21] Бухарина И.Л., Ведерников К.Е., Поварничина Т.М. К вопросу о влиянии техногенной среды на формирование и биохимический состав годичного побега древесных растений // Вестник Ижевского государственного технического университета, 2007. № 2. С. 145–148.
- [22] Brunner I., Luster J., Günthardt-Goerg M.S., Frey B. Heavy metal accumulation and phytostabilisation potential of tree fine roots in a contaminated soil // Environmental Pollution, 2008, V. 152, pp. 559–568.
- [23] Зверковский В.Н., Тупика Н.П. Биоэкологическое обоснование лесной рекультивации нарушенных земель // Биологическая рекультивация нарушенных земель. Екатеринбург: Изд-во УрО РАН, 2003. С. 112–125.
- [24] Freer-Smith P.H., Taylor G. Comparative evaluation of the effects of gaseous pollutants, acidic deposition and mineral deficiencies on gas exchange of trees // Agriculture, Ecosystems & Environment, 1992, V. 42, Iss. 3–4, pp. 321–332.
- [25] Chelli-Chaaboimi A. Mechanisms and Adaptation of Plants to Environmental Stress: A Case of Woody Species // Physiological Mechanisms and Adaptation Strategies in Plants Under Changing Environment. New York: Springer-Verlag New York Inc., 2013, pp. 1–18.
- [26] Pourkhabbaz A., Rastin N., Olbrich A., Langenfeld-Heuser R., Polle A. Influence of Environmental Pollution on Leaf Properties of Urban Plane Trees, *Platanus orientalis* L. // Bul. of Environmental Contamination and Toxicology, 2010, N 85, pp. 251–255.
- [27] Радостева Э.Р., Кулагин А.Ю. Биоаккумуляция металлов в органах древесных растений в условиях полиметаллических отвалов Учалинского горно-обогатительного комбината (Республика Башкортостан) // Изв. Самарского научного центра РАН, 2011. Т. 13. № 5 (2). С. 200–202.

Сведения об авторе

Кулагин Алексей Юрьевич — д-р биол. наук, профессор, зав. лабораторией лесоведения Уфимского института биологии Уфимского федерального исследовательского центра РАН, coolagin@list.ru

Поступила в редакцию 10.06.2022.

Одобрено после рецензирования 20.09.2022.

Принята к публикации 28.09.2022.

RETROSPECTIVE ANALYSIS OF LANDSCAPE-ECOLOGICAL APPROACH FOR DISTURBED LANDSCAPES RECULTIVATION

A. Yu. Kulagin

Ufa Institute of Biology, Ufa Federal Research Centre of the Russian Academy of Sciences, 69, October pr., 450054, Ufa, Republic of Bashkortostan, Russia

coolagin@list.ru

Conducting a retrospective analysis of a landscape-ecological approach to the recultivation of disturbed lands showed that the recultivation technologies have developed from an agricultural direction to a landscape-ecological one, taking into account natural and climatic features and the focus on reducing environmental risks. The forest-oriented recultivation seems to be a promising way to eliminate the accumulated environmental damage formed during the development of mineral deposits. It is shown that successful forest recultivation of disturbed lands has local features and is associated with the restoration of the structural and functional integrity of landscape and ecological complexes. Pilot work on reforestation on dumps is recommended to be carried out with minimal costs for the technical stage of recultivation. It has been determined that woody plants deposit toxic chemical elements and reduce the level of secondary environmental pollution. The preference for forest reclamation of anthropogenic landscapes is associated with the restoration of their biological productivity and restrictions on the agricultural use of disturbed lands.

Keywords: industrial dumps, forest reclamation, accumulation of chemical elements

Suggested citation: Kulagin A. Yu. *Retrospektivnyy analiz formirovaniya landshaftno-ekologicheskogo podkhoda pri lesnoy rekul'tivatsii narushennykh landshaftov* [Retrospective analysis of landscape-ecological approach for disturbed landscapes recultivation]. *Lesnoy vestnik / Forestry Bulletin*, 2022, vol. 26, no. 6, pp. 48–54.
DOI: 10.18698/2542-1468-2022-6-48-54

References

- [1] Kolesnikov B. P. *O nauchnykh osnovakh biologicheskoy rekul'tivatsii tekhnogennykh landshaftov* [On the scientific foundations of biological reclamation of technogenic landscapes]. *Problemy rekul'tivatsii zemel' v SSSR* [Problems of land reclamation in the USSR]. Novosibirsk: Nauka, 1974, pp. 73–87.
- [2] Prokhorova N. V., Matveev N. M., Pavlovskiy V. A. *Akkumulyatsiya tyazhelykh metallov dikorastushchimi i kul'turnymi rasteniyami v lesostepnom i stepnom Povolzh'e* [Accumulation of heavy metals by wild and cultivated plants in the forest-steppe and steppe regions of the Volga]. Samara: Publishing House of Samara University, 1998, 97 p.
- [3] Skrynetska I., Ciepał R., Kandziora-Ciupa M., Barczyk G., Nadgórska-Socha A. Ecophysiological Responses to Environmental Pollution of Selected Plant Species in an Industrial Urban Area. *International J. of Environmental Research*, 2018, V. 12, pp. 255–267.
- [4] García-Sánchez I. E., Barradas V. L., Ponce de León Hill C. A., Esperón-Rodríguez M., Pérez I. R., Ballinas M. Effect of heavy metals and environmental variables on the assimilation of CO₂ and stomatal conductance of *Ligustrum lucidum*, an urban tree from Mexico City. *Urban Forestry & Urban Greening*, 2019, V. 42, pp. 72–81.
- [5] Bakhtina S. Y., Yanbaev Yu. A., Kulagin A. Yu., Redkina N. N., Masalimov I. Kh., Fayzrakhmanov Sh. F. Dynamics of annual growth of common pine on industrial dumps of miming companies. *J. of Forestry Res.*, 2020, V. 32(107), pp. 1–9. <https://doi.org/10.1007/s11676-020-01212-9>
- [6] Das S., Prasad P. Seasonal Variation in Air Pollution Tolerance Indices and Selection of Plant Species for Industrial Areas of Rourkela. *Indian J. of Environmental Protection*, 2010, v. 30, N 12, pp. 978–988.
- [7] Rostunov A., Konchina T., Zhestkova E., Gusev D., Kharitonov S. The Dependence of Morphological and Physiological Indicators of the Leaves of Woody Plants on the Degree of Technogenic Pollution. *Environment. Technology. Resources. Proceedings of the 11th Int. Sci. and Pract. Conf.*, V. I. Latvia: Rezekne Academy of Technologies, Latvia, Rezekne, June 15–17, 2017, pp. 235–239.
- [8] Sensula B., Wilczyński S., Monin L., Allan M., Pazdur A., Fagel N. Variations of tree ring width and chemical composition of wood of pine growing in the area nearby chemical factories. *Geochronometria*, 2017, V. 44, pp. 226–239.
- [9] Urazgil'din R. V., Amineva K. Z., Zaitsev G. A., Kulagin A. Yu. Comparative Characteristics of Pine, Spruce and Larch Pigmental Complex Seasonal Variability in Industrial Pollution Conditions. *The Fourth International Scientific Conference on Ecology and Geography of Plants and Plant Communities*, KnE Life Sciences, Ekaterinburg, April 16-19, 2018, pp. 232–242. DOI 10.18502/kl.v4i7.3244
- [10] Batalov A. A., Mart'yanov N. A., Kulagin A. Yu., Goryukhin O. B. *Lesovosstanovlenie na promyshlennykh otvalakh Predural'ya i Yuzhnogo Urala* [Tech. Reforestation on industrial dumps in the Cis-Urals and the South Urals]. Ufa: BNTs UrOAN SSSR, 1989, 140 p.

- [11] Kulagin A. Yu., Vedernikov K.G., Mart'yanov N.A., Batalov A.A. *Lesnaya rekul'tivatsiya otvalov Kumertauskogo burougol'nogo razreza* [Forest reclamation of dumps of the Kumertau lignite mine]. Trudy Sterlitamakskogo filiala AN RB [Proceedings of the Sterlitamak branch of the Academy of Sciences of the Republic of Belarus]. Ufa: Gilem, 2001, Iss. 1, p. 45–49.
- [12] Radosteva E.R. *Soderzhanie medi v organakh sosny obyknovennoy (Pinus sylvestris L.) i berezy povisloy (Betula pendula Roth) v usloviyakh otvalov burougol'nogo i polimetallicheskogo mestorozhdeniy* [Copper content in the organs of Scots pine (*Pinus sylvestris* L.) and Silver birch (*Betula pendula* Roth) in dumps of brown coal and polymetallic deposits]. Bashkirskiy ekologicheskiy vestnik [Bashkir Ecological Bulletin], 2011, N 1, pp. 47–50.
- [13] Ramenskiy L.G. *Vvedenie v kompleksnoe pochvenno-botanicheskoe issledovanie zemel'* [Introduction to the complex soil-botanical study of lands]. Moscow: Selkhozgiz, 1938, 620 p.
- [14] Sukachev V.N., Rauner Yu.L., Molchanov A.A., Rode A.A. *Programma i metodika biogeotsenologicheskikh issledovaniy* [Program and Methods of Biogeocenological Research]. Ed. V.N. Sukachev, N.V. Dilis. Moscow: Nauka, 1966, 333 p.
- [15] Yarmishko V.T. *Sosna obyknovennaya i atmosferno zagryaznenie na Evropeyskom Severe* [Scotch pine and atmospheric pollution in the European North]. St. Petersburg: Publishing House of the Research Institute of Chemistry, St. Petersburg State University, 1997, 210 p.
- [16] Yarmishko V.T., Lyanguzova I.V. *Metody izucheniya lesnykh soobshchestv* [Methods for studying forest communities]. St. Petersburg: Publishing House of the Research Institute of Chemistry, St. Petersburg State University, 2002, 240 p.
- [17] Alekseev V.A. *Nekotorye voprosy diagnostiki i klassifikatsii povrezhdennykh zagryazneniem lesnykh ekosistem* [Some issues of diagnostics and classification of forest ecosystems damaged by pollution]. Lesnye ekosistemy i atmosferno zagryaznenie [Forest ecosystems and atmospheric pollution]. Leningrad: Nauka, 1990, pp. 38–54.
- [18] Brits M.E. *Atomno-absorbtsionnyy spektrokhimicheskiy analiz (Metody analiticheskoy khimii)* [Atomic absorption spectrochemical analysis (Methods of analytical chemistry)]. Moscow: Chemistry, 1982, 224 p.
- [19] Titov A.F., Talanova V.V., Kaznina N.M., Laydinen G.F. *Ustoychivost' rasteniy k tyazhelym metallam* [Plant resistance to heavy metals]. Petrozavodsk: Karelian Scientific Center of the Russian Academy of Sciences, 2007, 172 p.
- [20] Makhonina G.I. *Khimicheskiy sostav rasteniy na promyshlennykh otvalakh Urala* [The chemical composition of plants on the industrial dumps of the Urals]. Sverdlovsk: Ural University Press, 1987, 168 p.
- [21] Bukharina I.L., Vedernikov K.E., Povarnitsina T.M. *K voprosu o vliyaniy tekhnogennoy sredy na formirovaniye i biokhimicheskiy sostav godichnogo pobega drevesnykh rasteniy* [On the issue of the influence of the technogenic environment on the formation and biochemical composition of the annual shoot of woody plants]. Vestnik Izhevskogo gosudarstvennogo tekhnicheskogo universiteta [Bulletin of the Izhevsk State Technical University], 2007, N 2, pp. 145–148.
- [22] Brunner I., Luster J., Günthardt-Goerg M.S., Frey B. Heavy metal accumulation and phytostabilisation potential of tree fine roots in a contaminated soil. *Environmental Pollution*, 2008, V. 152, pp. 559–568.
- [23] Zverkovskiy V.N., Tupika N.P. *Bioekologicheskoe obosnovaniye lesnoy rekul'tivatsii narushennykh zemel'* [Bioecological substantiation of forest reclamation of disturbed lands]. Biologicheskaya rekul'tivatsiya narushennykh zemel' [Biological reclamation of disturbed lands]. Ekaterinburg: Ural Branch of the Russian Academy of Sciences, 2003, pp. 112–125.
- [24] Freer-Smith P.H., Taylor G. Comparative evaluation of the effects of gaseous pollutants, acidic deposition and mineral deficiencies on gas exchange of trees. *Agriculture, Ecosystems & Environment*, 1992, V. 42, iss. 3–4, pp. 321–332.
- [25] Chelli-Chaaboumi A. *Mechanisms and Adaptation of Plants to Environmental Stress: A Case of Woody Species. Physiological Mechanisms and Adaptation Strategies in Plants Under Changing Environment*. New York: Springer-Verlag New York Inc., 2013, pp. 1–18.
- [26] Pourkhabbaz A., Rastin N., Olbrich N., Langenfeld-Heuser R., Polle A. Influence of Environmental Pollution on Leaf Properties of Urban Plane Trees, *Platanus orientalis* L. *Bulletin of Environmental Contamination and Toxicology*, 2010, N 85, pp. 251–255.
- [27] Radosteva E.R., Kulagin A. Yu. *Bioakkumulyatsiya metallov v organakh drevesnykh rasteniy v usloviyakh polimetallicheskikh otvalov Uchalinskogo gorno-obogatitel'nogo kombinata (Respublika Bashkortostan)* [Bioaccumulation of metals in the organs of woody plants in the conditions of polymetallic dumps of the Uchalinsky Mining and Processing Plant (Republic of Bashkortostan)]. Izvestiya Samarskogo nauchnogo tsentra RAN [Proceedings of the Samara Scientific Center of the Russian Academy of Sciences], 2011, V. 13, N 5(2), pp. 200–202.

The studies were carried out using the equipment of the Agidel Center for Collective Use as part of the planned studies on the budgetary topic Reg. No. NIOKTR AAAA-A18-118022190103-01 and with the support of a grant from the Ministry of Education and Science of the Republic of Bashkortostan REC-RMG-2021 «Creating a methodological framework for assessing the balance of greenhouse gases and determining the potential for carbon sequestration in ecosystems».

Author's information

Kulagin Aleksey Yur'evich — Dr. Sci. (Biology), Professor, Head of the Laboratory of Forest Science, Ufa Institute of Biology, Ufa Federal Research Center of the Russian Academy of Sciences, coolagin@list.ru

Received 10.06.2022.

Approved after review 20.09.2022.

Accepted for publication 28.09.2022.

ЖИЗНЕСПОСОБНОСТЬ ПЫЛЬЦЫ НЕКОТОРЫХ ВИДОВ ДРЕВЕСНЫХ РАСТЕНИЙ ДОНЕЦКОЙ АГЛОМЕРАЦИИ

Н.С. Мирненко

ГОУ ВПО «Донецкий национальный университет», 283001, г. Донецк, ул. Университетская, д. 24

natalya_zaharenkova@mail.ru

Представлены данные о стерильности и жизнеспособности пыльцевых зерен древесных растений городской агломерации Донецка. Объектом исследования послужили пробы пыльцы видов древесных растений, используемых в озеленении г. Донецка: тополь черный (*Populus nigra* L.), ива белая (*Salix alba* L.), каштан конский (*Aesculus hippocastanum* L.), береза повислая (*Betula pendula* Roth). Установлено, что на исследуемых площадках стерильность пыльцевых зерен составляет от 16 до 44 %, а жизнеспособность — от 49 до 96 %, что является критическим показателем, указывающим на неспособность к восстановлению репродуктивной функции у некоторых исследуемых видов. Статистически определено, что корреляция исследуемых параметров (точек отбора, стерильности, жизнеспособности) характеризует Донецкую агломерацию как неблагоприятную среду для жизнедеятельности растений. Полученные данные указывают на высокую степень адаптации и устойчивости древесных видов к техногенному воздействию. Определены индикаторные признаки загрязнения атмосферного воздуха характерны для Донецкой агломерации. В условиях интенсивной техногенной нагрузки проявляется закономерность в изменении качества пыльцевых зерен в виде пыльцевых аномалий. Показатель, характеризующий анатомо-морфологическое строение пыльцевого зерна, можно использовать в условиях Донецка как дополняющий другие характеристики при выявлении значительного уровня загрязнения окружающей среды.

Ключевые слова: палиноиндикация, урбанофлора, Донецк, антропогенное воздействие

Ссылка для цитирования: Мирненко Н.С. Жизнеспособность пыльцы некоторых видов древесных растений Донецкой агломерации // Лесной вестник / Forestry Bulletin, 2022. Т. 26. № 6. С. 55–61.
DOI: 10.18698/2542-1468-2022-6-55-61

Формирование растительного покрова обусловлено непрерывающимся ходом растекания жизни (заполнения территорий) в результате безостановочного процесса размножения [1–3]. Все живые организмы стремятся заполнить свободные экологические ниши, адаптируясь к изменяющимся условиям среды и конкурируя за ресурсы с другими видами. В повышении способности к адаптации заключается стратегия выживания, лежащая в основе видового распространения [1–3]. Возможность широкой экспансии растений обусловлена их высокой репродуктивной способностью, что зачастую выражается в пыльцевой продуктивности. Так, один цветок березы повислой (*Betula pendula* Roth) образует до 6 млн пыльцевых зерен, а род амарант (*Amaranthus*) за период вегетации выбрасывает до полумиллиона семян, что делает его одним из лидеров в репродуктивной стратегии выживания [3, 4].

Важным фактором в распространении растений является деятельность человека (антропогенный фактор), приводящая к трансформации флоры на конкретных участках. Центральный Донбасс представляет собой регион с явно выраженной техногенной нагрузкой. Исторически

сформированная флора представлена степными растительными формациями (что обусловлено географическим положением), а также лесостепными участками естественного (пойменные и байрачные леса) и антропогенного (искусственные леса) происхождения. Фиторазнообразие представленной растительности не уступает по уникальности некоторым мировым биосферным заповедникам. Несмотря на замедление промышленного развития, отмеченное с 2014 г., антропогенная деятельность сказалась на состоянии всей экосистемы. Однако именно на территории Северного Причерноморья растительный мир претерпел наибольшую антропогенную трансформацию. Вследствие интенсивного развития промышленности, сельского хозяйства, а также высокой степени урбанизации местности, были сформированы некоторые антропогенные объекты, в частности, карьеры, терриконы, промышленные площадки, рудеральные полигоны и др. Установленные факторы воздействия привели к коренной трансформации флоры, что фактически уничтожило ее способность к самовосстановлению. Такой тип воздействия можно сравнить с ледниковым периодом, который привел к фундаментальной пертурбации растительности без возможности восстановления доледниковых видов [4–7].

По данным на 2016 г., общая площадь лесов в Донецкой Народной Республике составляет порядка 204,1 тыс. га, более 70 % из них сформировано искусственными посадками, на территориях, исторически не адаптированных для развития лесов, поскольку высоки водная и ветровая эрозии, а естественный лесной фонд сформирован за счет пойменных и байрачных лесов и составляет не более 7,7 % [8].

Таким образом, исследования связанные с установлением фертильности растений, определяются как перспективные и актуальные в разработке систем биологического мониторинга Донецкой агломерации. Для степной зоны этого региона сотрудниками и студентами кафедры ботаники и экологии Донецкого национального университета проводятся исследования в области палинологии, палиноиндикации и экологического мониторинга [5–7, 9–18].

Цель работы

Цель работы — определение показателей стерильности и жизнеспособности пыльцевых зерен некоторых видов древесных растений в условиях антропогенного воздействия на пробных участках г. Донецка.

Материалы и методы

Объектом исследования послужили пробы пыльцы видов древесных растений, используемых в озеленении г. Донецка: тополя черного (*Populus nigra* L.), ивы белой (*Salix alba* L.), каштана конского (*Aesculus hippocastanum* L.), березы повислой (*Betula pendula* Roth). Исследуемые объекты выбраны исходя из обширности ареалов распространения и устойчивости к природно-климатическим особенностям Донецкой агломерации [11, 14, 15–22].

Populus nigra — тополь черный (осокорь) семейства Salicaceae (Ивовые). Цветки двудомные, мужские имеют по 20...30 тычинок, женские формируют пестик из двух сросшихся плодолистиков. Крона широкая или яйцевидная, высотой до 24 м. Цветение в Донецке наблюдается с третьей декады апреля по вторую декаду мая. Применяется в озеленении городской территории [15, 22]. Пыльцевые зерна *P. nigra* имеют средний размер и представлены округлой формой (за счет условно округлой экваториальной части), со стороны полюсов пыльцевое зерно несколько сплюснуто за счет чего имеет эллиптическую форму.

Aesculus hippocastanum — каштан конский, принадлежит к семейству Hippocastanaceae. Цветки однополые, мелкие, белые или желтоватые с особым резким запахом. Цветение каштана в Донецке длится 14...18 сут преимущественно с первой по третью декаду мая. Пыльцевые зерна

A. hippocastanum представлены трехборздно-поровой и эллипсоидальной формами, имеют полярную ось (20,4...25,5 мкм) и экваториальный диаметр (17...21,8 мкм). Условный полюс дает приблизительно округлую форму проекции, а со стороны экватора пыльцевое зерно эллиптическое. Скульптура пыльцевого зерна тонкая, зернисто-струйчатая, цвет желтый или светло-желтый [17].

Salix alba — ива белая относится к семейству Salicaceae. Цветки мелкие, собраны в цилиндрические соцветия-сережки, длиной до 5 см. Период цветения приходится на третью декаду апреля — вторую декаду мая. Произрастает по берегам рек, прудов, плотин. Применяется в озеленении прибрежных территорий [18]. Пыльцевые зерна *S. alba* представлены эллипсоидальной формой, преимущественно трехборздные.

Betula pendula — береза повислая, относится к семейству Betulaceae. Цветки актиноморфные, раздельнополые, собраны в сидячие соцветия — сережки. Период цветения со второй декады апреля по первую декаду мая. Пыльцевые зерна *B. pendula* обычно одиночные, радиально-симметричные, сплюснуто-сфероидальные, сплюснутые, изополярные. Пыльцевое зерно в очертании с одного полюса, имеет вариации от округло-треугольных до треугольных, а в очертании с экваториальной оси — эллиптической формы [11]. Материал отбирали в бумажные пакеты, на которых отмечали дату и место сбора [11, 15–19].

Сбор материала проводили на установленных пробных площадях Донецка с разной степенью антропогенной нагрузки (рис. 1).

В работе [23] была определена фертильность и жизнеспособность пыльцевых зерен. Пыльнички фиксировали со зрелой пылью в растворе Карнуа. Фертильные зерна определяли реакцией на йодид калия КJ и идентифицировали по окрашиванию, стерильные не имели окраски либо она была частичная [23].

Жизнеспособность пыльцы определяли методом проращивания на 10%-м растворе глюкозы (in vitro) на искусственной питательной среде, что позволяло оградить пыльцевые зерна от негативных воздействий во время прорастания. При экстраполяции полученных данных учитывали, что в природных условиях пыльцевые трубки оказывают непосредственное влияние на ткани пестика. Пыльцу проращивали в термостате при средней температуре 24...28 °C от 3 до 7 сут. Каждые сутки для определения динамики прорастания считали количество проросших пыльцевых зерен. Не позднее 7 сут определяли суммарное количество жизнеспособных пыльцевых зерен. Жизнеспособными считались пыльцевые зерна, у которых трубки имеют длину не меньше диаметра пыльцевых зерен.

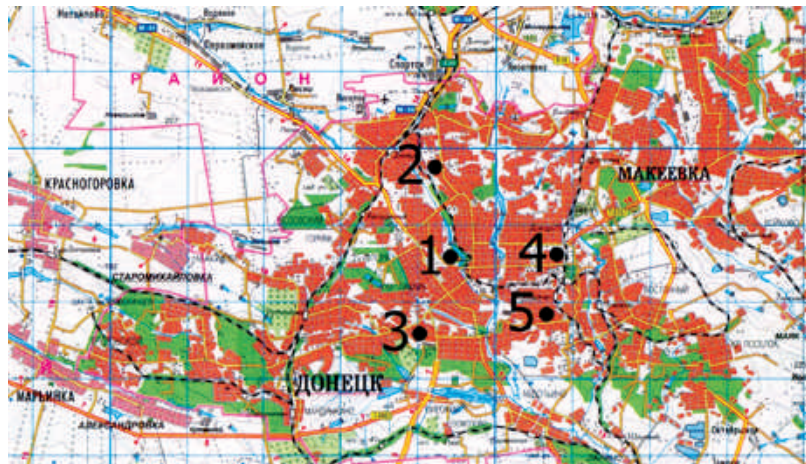


Рис. 1. Расположение точек отбора пыльцевых зерен древесных растений
 Fig. 1. Location of sampling points for pollen grains of woody plants

Статистическую значимость параметрических данных оценивали с помощью *t*-критерия Стьюдента, а равномерность распределения данных — коэффициентом ранговой корреляции Спирмена. Были также рассчитаны элементарные статистические характеристики (стандартное отклонение, ошибка среднего и коэффициент вариации). Все расчеты проводили в программах Statistica 10 и MS Office Excel [24].

Результаты и обсуждение

Исследуемые древесные растения представляют собой одноствольные деревья с хорошо выраженным штамбом (стволом), произрастающие в местах с различными световым, водным и трофическим режимами. Все деревья высажены для озеленения Донецкой агломерации. Наблюдения показали, что городские службы осуществляют уход в виде своевременного полива и защиты коры от поедания вредителями, при этом крона большинства видов деформирована, местами имеет сильное загустение. Санитарная обрезка не проводится.

В результате выполненных исследований были установлены количественные показатели стерильности и фертильности пыльцевых зерен (таблица).

Наибольшее угнетение качества мужского гаметофита наблюдали у *B. pendula* Roth (в среднем ~50 % всей исследуемой пыльцы были стерильными). Установленный факт является крайне негативным показателем, что особенно выражено в условиях усиленной техногенной нагрузки. Также выделен вид *S. alba* L., который имел в отдельных точках стерильность пыльцевых зерен до 50 % всех исследуемых образцов. Остальные виды по параметру стерильности не выше 40 %.

Анализ пробных площадей показал, что наиболее нагруженными являются площади № 2 и

Количественный показатель стерильности пыльцевых зерен на пробных площадях г. Донецка

Quantitative indicator of pollen grains sterility on trial sites in Donetsk

Номер пробной площади	<i>Populus nigra</i> L.	<i>Aesculus hippocastanum</i> L.	<i>Salix alba</i> L.	<i>Betula pendula</i> Roth
1	9 ± 0,45	25 ± 1,25	15 ± 0,75	65 ± 3,25
2	26 ± 1,3	14 ± 0,7	32 ± 1,6	58 ± 2,9
3	14 ± 0,7	8 ± 0,4	47 ± 2,35	33 ± 1,65
4	8 ± 0,4	36 ± 1,8	25 ± 1,25	41 ± 2,05
5	25 ± 1,25	37 ± 1,85	39 ± 1,95	27 ± 1,35
Среднее значение	16 ± 0,8	24 ± 1,2	31 ± 1,55	44 ± 2,2

№ 5 (с показателями стерильности 32 и 33 %), менее нагруженная — № 3 (с показателем стерильности 25 %).

Коэффициент Пирсона, рассчитанный по стерильности пыльцевых зерен в зависимости от точки отбора, показал положительную значимость (0,69), при $p = 0,05$ табличчатый коэффициент составил 0,73, что можно характеризовать как значительную связь между параметрами точка отбора и стерильностью пыльцевых зерен. Наблюдаемая корреляция характеризует городскую среду как крайне неблагоприятную для произрастания растений. Учитывая, что практически все виды были высажены искусственно и их жизнеспособность также искусственно поддерживалась, считаем, что полученные данные указывают на высокую степень адаптации.

По показателю жизнеспособности (пролификации) пыльцы было установлено, что наивысшая степень пролификации пыльцевых зерен наблюдается в первые 15...18 ч после их помещения

в термостат. По истечению 7 сут наблюдалась максимальная степень прорастания пыльцевых трубок (рис. 2).

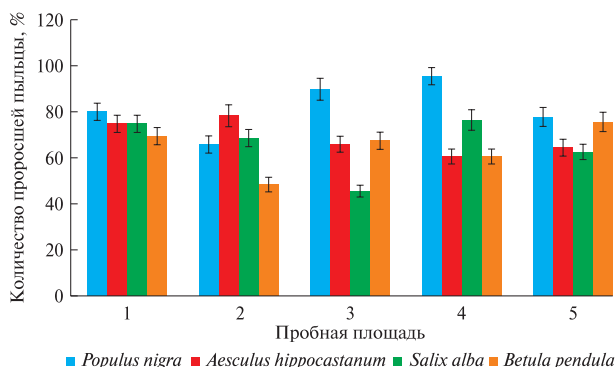


Рис. 2. Степень прорастания пыльцевых зерен (in vitro), собранных на пробных площадях Донецка

Fig. 2. The degree of pollen grains germination (in vitro) collected on trial sites in Donetsk

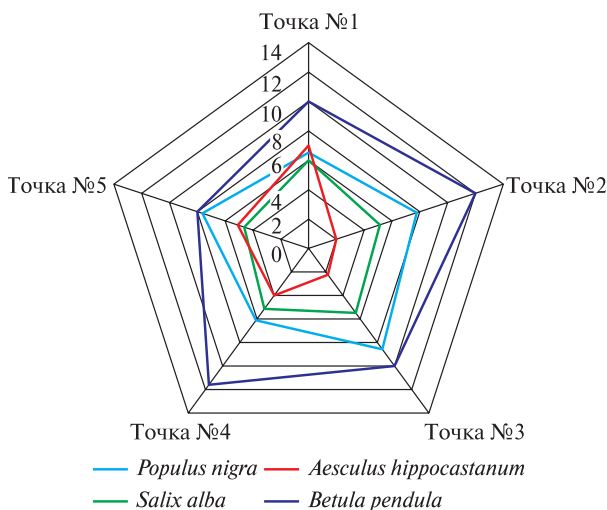


Рис. 3. Распределение аномалий пыльцевого зерна по исследуемым точкам в пределах Донецкой агломерации

Fig. 3. Distribution of pollen grain anomalies in the studied points of Donetsk

Оценка пролификации пыльцевых зерен показала, что на питательной среде в термостате жизнеспособность пыльцы изменяется от 46 до 96 %, а в среднем составляет 74,8 %. Высокую степень жизнеспособности показали пробы пыльцы вида *P. nigra* L. Практически во всех наблюдаемых точках жизнеспособность варьировала от 66 до 96 %, что указывает на наиболее высокую степень адаптации к техногенной нагрузке. Наиболее низкая степень жизнеспособности характерна для видов *B. pendula* Roth и *S. alba* L. На диаграмме (см. рис. 2) отчетливо наблюдается уменьшение количества проросшей пыльцы в точках отбора — пробные площади № 2 и № 3. В данных точках развиваются укороченные либо расширенные пыльцевые трубки, что свидетельствует об устой-

чивых генетических нарушениях, приводящих к уменьшению репродуктивной способности.

Корреляционный анализ коэффициента Пирсона между параметрами стерильности и жизнеспособности имеет положительное значение — 0,91, а связь параметров >0,79 является статистически значимой при $p = 0,05$ [18]. Следовательно, такие параметры достоверны при проведении палиноиндикационного анализа в Донецке. Также коэффициент Пирсона, рассчитанный по жизнеспособности пыльцы в зависимости от точки отбора, показал отрицательную значимость (-0,53), при $p = 0,05$ табличный коэффициент составил 0,68, что свидетельствует о незначительной связи между параметрами точек отбора и прорастанием пыльцевых зерен [18]. Наблюдаемая корреляция указывает на то, что растения испытывают некоторые комплексно неблагоприятные факторы, приводящие к уменьшению репродуктивной способности, однако строгой привязки к точкам отбора статистически не подтверждено.

В ходе эксперимента была проведена оценка морфологической изменчивости соцветий. Некоторые соцветия, содержащие стерильную пыльцу в высокой концентрации, имели нарушение цвета, появление пигментаций, некоторые соцветия развивались в латеральных почках, в участках междоузлия, что не свойственно для наблюдаемых древесных растений.

При анализе пыльцевого материала были выделены пыльцевые аномалии, рассчитанные по пропорции (количество аномальных клеток к их общему количеству). Так, количество аномальных клеток стабильно невысокое (рис. 3). Среди рассмотренных образцов пыльцы наиболее часто встречались следующие отклонения: гипертрофия, неоднородность размеров, стерильность, изменения форм и количества апертур. В точках № 1 и № 4 наблюдалась низкая частота встречаемости пыльцевых аномалий. В точке № 2 часто присутствовали редуцированные, недоразвитые, уменьшенные и стерильные пыльцевые зерна. В точке № 3 наиболее часто регистрировался факт расхождения слоев экзины и интины. Точка № 5 имела аномалии, характерные для всех наблюдаемых пробных площадей. Количество и частота аномалий пыльцевых зерен не имеет строгой приуроченности к одной из наблюдаемых точек. В каждой точке отмечались аномалии, представленные в остальных точках (см. рис. 3).

Выводы

В результате проведенных исследований установлено, что Донецкая агломерация характеризуется повышенным количеством пыльцевых аномалий, а наблюдаемые свойства пролификации

пыльцевых зерен в корреляции с точкой отбора показали незначительную связь. Установлено, что древесные растения испытывают ряд комплексно неблагоприятных факторов приводящих к уменьшению репродуктивной способности. Показатели морфологической изменчивости соцветий являются дополнительными параметрами при индикационной оценке загрязнений окружающей среды. Полученные данные могут быть дополнением к имеющейся в Донбассе информационной базе растительных организмов, используемых для проведения экологического мониторинга.

Список литературы

- [1] Ипатов В.С., Кирикова Л.А. Фитоценология. СПб.: Изд-во Санкт-Петербургского ун-та, 1997. 316 с.
- [2] Вернадский В.И. Химическое строение Земли и ее окружение. М.: Наука, 1987. 339 с.
- [3] Раменский Л.Г., Цаценкин И.А., Чижиков О.Н., Антипов Н.А. Экологическая оценка кормовых угодий по растительному покрову. М.: Сельхозгиз, 1956. 472 с.
- [4] Жуков С.П. Флористическое разнообразие антропогенных экосистем центральной части Донбасса // Самарская Лука: проблемы региональной и глобальной экологии, 2018. Т. 27. № 4(1). С. 118–122.
- [5] Safonov A.I. Phyto-qualimetry of toxic pressure and the degree of ecotopes transformation in Donetsk region // Problems of ecology and nature protection of technogenic region, 2013, no. 1, pp. 52–59.
- [6] Safonov A.I. Phytoindicational monitoring in Donetsk // World Ecology Journal, 2016, v. 6, no. 4, pp. 59–71.
- [7] Сафонов А.И. Эколого-палинологическая ситуация в Донбассе (2014–2020 гг.) // Проблемы экологии и охраны природы техногенного региона, 2021. № 1–2. С. 32–38.
- [8] Сафонов А.И., Мирненко Н.С. Палинологический скрининг в мониторинговой программе Центрального Донбасса // Проблемы экологии и охраны природы техногенного региона, 2019. № 3–4. С. 43–48.
- [9] Safonov A. Ecological scales of indicator plants in an industrial region // BIO Web Conf, 2022, v. 43, 03002, 8 p.
- [10] Мирненко Н.С. Диагностика состояния экотопов Донецка по палинологическим данным *Betula pendula* Roth // Проблемы экологии и охраны природы техногенного региона, 2018. № 1–2. С. 20–24.
- [11] Сафонов А.И. Динамика фитомониторинговых показателей антропогенеза в Донбассе (2000–2019 гг.) // Проблемы экологии и охраны природы техногенного региона, 2020. № 1–2. С. 31–36.
- [12] Сафонов А.И., Гермонова Е.А. Экологические сети фитомониторингового назначения в Донбассе // Проблемы экологии и охраны природы техногенного региона, 2019. № 3–4. С. 37–42.
- [13] Сафонов А.И., Захаренкова Н.С. Диагностика воздуха в г. Донецке по спектру скульптур поверхности пыльцы сорно-рудеральных видов растений // Проблемы экологии и охраны природы техногенного региона, 2016. № 1–2. С. 66–72.
- [14] Safonov A., Glukhov A. Ecological phytomonitoring in Donbass using geoinformational analysis // BIO Web Conf, 2021, v. 31, 00020, 4 p.
- [15] Мирненко Н.С. Мониторинг экотопов г. Донецка по палинологическим данным *Populus nigra* L. // Проблемы экологии и охраны природы техногенного региона, 2021. № 3–4. С. 24–30.
- [16] Мирненко Н.С. Цитологические исследования пыльцевых зерен *Aesculus hippocastanum* L. в г. Донецке // Проблемы экологии и охраны природы техногенного региона, 2020. № 3–4. С. 20–25.
- [17] Мирненко Н.С. Фертильность и жизнеспособность пыльцы *Salix alba* L. в условиях г. Донецка // Проблемы экологии и охраны природы техногенного региона, 2020. № 1–2. С. 6–12.
- [18] Бурмистров А.Н., Никитина В.А. Медоносные растения и их пыльца. М.: Росагропромиздат, 1990. 192 с.
- [19] Антонова Е.В., Морозова И.М. Ботаника: анатомия и морфология растений. Витебск: Изд-во ВГУ им. П.М. Машерова, 2014. 236 с.
- [20] Доброчаева Д.Н., Котов М.И., Прокудин Ю.Н. Определитель высших растений Украины. Киев: Наукова думка, 1987. 548 с.
- [21] Ковылин Н.В., Ковылина О.П., Сухенко Н.В. Особенности взаимоотношения древостоя и напочвенного покрова в искусственных фитоценозах *Populus balsamifera* L. и *Populus nigra* L. // ИзВУЗ Лесной журнал, 2016. № 3(351). С. 31–41.
- [22] Государственный комитет по экологической политике и природным ресурсам при Главе Донецкой Народной Республики. URL: <https://gkecopoldnr.ru/> (дата обращения 22.04.2022).
- [23] Барыкина Р.П. Справочник по ботанической микротехнике. Основы и методы. М.: Изд-во МГУ, 2004. 312 с.
- [24] Городничев Р.М. Методы экологических исследований. Основы статистической обработки данных. Якутск: Издательский дом СВФУ, 2019. 94 с.
- [22] Уразильдин Р.В., Кулагин А.Ю. Повреждения, адаптации, стратегии древесных видов в условиях техногенеза: структурно-функциональные уровни реализации адаптивного потенциала // Успехи современной биологии, 2022. Т. 142. № 1. С. 52–69.
- [26] Bayouli I.T., Bayouli H.T., Dell'Oca A., Meers E., Sun J. Ecological indicators and bioindicator plant species for biomonitoring industrial pollution: Eco-based environmental assessment // Ecological Indicators, 2021, v. 125, p. 107508.

Сведения об авторе

Мирненко Наталья Сергеевна — аспирант кафедры ботаники и экологии, Донецкий национальный университет, natalya_zaharenkova@mail.ru

Поступила в редакцию 10.06.2022.

Одобрено после рецензирования 20.09.2022.

Принята к публикации 28.09.2022.

POLLEN VIABILITY OF SOME WOODY PLANTS SPECIES IN DONETSK AGGLOMERATION

N.S. Mirnenko

Donetsk National University, 24, Universitetskaya st., 83000, Donetsk

natalya_zaharenkova@mail.ru

Data on the sterility and viability of woody plants pollen grains in the Donetsk urban agglomeration are presented. The study object was pollen samples of woody plant species used in landscaping in Donetsk such as black poplar (*Populus nigra* L.), white willow (*Salix alba* L.), horse chestnut (*Aesculus hippocastanum* L.), Silver birch (*Betula pendula* Roth). On the studied sites, it has been established that the sterility of pollen grains ranges from 16 to 44 %, and the viability ranges from 49 to 96%, which is a critical indicator indicating the inability to restore reproductive function in some of the studied species. It is statistically determined that the correlation of the studied parameters (selection points, sterility, viability) characterizes the Donetsk agglomeration as an unfavorable environment for plant life. The data obtained indicate a high degree of adaptation and resistance of tree species to technogenic impact. Indicative signs of atmospheric air pollution are determined, which are typical for the Donetsk agglomeration. Under conditions of intense technogenic load, a pattern appears in the quality change of pollen grains forming pollen anomalies. An indicator that characterizes the anatomical and morphological structure of pollen grains can be used in Donetsk conditions as a complement to other characteristics when a significant level of environmental pollution is detected.

Keywords: palynoidication, urban flora, Donetsk, anthropogenic impact

Suggested citation: Mirnenko N.S. *Zhiznesposobnost' pyl'tsy nekotorykh vidov drevesnykh rasteniy Donetskoj aglomeratsii* [Pollen viability of some woody plants species in Donetsk agglomeration]. *Lesnoy vestnik / Forestry Bulletin*, 2022, vol. 26, no. 6, pp. 55–61. DOI: 10.18698/2542-1468-2022-6-55-61

References

- [1] Ipatov V.S., Kirikova L.A. *Phytocenologiya* [Phytocenology]. St. Petersburg: Publishing House of St. Petersburg University, 1997, 316 p.
- [2] Vernadsky V.I. *Himicheskoe stroenie Zemli I okrugenie* [Chemical structure of the Earth and its environment]. Moscow: Nauka, 1987, 339 p.
- [3] Ramensky L.G., Tsatsenkin I.A., Chizhikov O.N., Antipov N.A. *Ecologicheskaya ocenka kormovykh ugodiy po rastitel'nomu pokrovu* [Ecological assessment of fodder lands by vegetation cover]. Moscow: Selkhozgiz, 1956, 472 p.
- [4] Zhukov S.P. *Floristicheskoe raznoobrazie antropogennykh ecosystem v central'noy chasti Donbassa* [Floristic diversity of anthropogenic ecosystems in the central part of Donbas]. *Samarskaya Luka: problems of regional and global ecology*, 2018, v. 27, no. 4(1), pp. 118–122.
- [5] Safonov A.I. Phyto-qualimetry of toxic pressure and the degree of ecotopes transformation in Donetsk region. *Problems of ecology and nature protection of technogenic region*, 2013, no. 1, pp. 52–59.
- [6] Safonov A.I. Phytoidicational monitoring in Donetsk. *World Ecology J.*, 2016, v. 6, no. 4, pp. 59–71.
- [7] Safonov A.I. *Ecologo-palinologicheskaya situaciya v Donbasse* [Ecological and palynological situation in Donbass (2014–2020)]. *Problems of ecology and nature conservation of the technogenic region*, 2021, no. 1–2, pp. 32–38.
- [8] Safonov A.I., Mirnenko N.S. *Palinologicheskij skringing v monitoringovoy programme Central'nogo Donbassa* [Palynological screening in the monitoring program of the Central Donbas]. *Problemy ekologii i okhrany prirody tekhnogennogo regiona* [Problems of ecology and nature conservation of the technogenic region], 2019, no. 3–4, pp. 43–48.
- [9] Safonov A. Ecological scales of indicator plants in an industrial region // *BIO Web Conf.* 2022. v. 43. 03002. 8 p.
- [10] Mirnenko N.S. *Diagnostika sostoyaniya ecotopov Donetska po palinilighicheskim dannym Betula pendula Roth* [Diagnostics of the state of Donetsk ecotopes according to palynological data of *Betula pendula* Roth]. *Problemy ekologii i okhrany prirody tekhnogennogo regiona* [Problems of ecology and nature conservation of the technogenic region], 2018, no. 1–2, pp. 20–24.
- [11] Safonov A.I. *Dinamika phytomonitoringovykh pokazateley antropotechnogeneza v Donbasse (2000–2019)* [Dynamics of phytomonitoring indicators of anthropotechnogenesis in Donbass (2000–2019)]. *Problemy ekologii i okhrany prirody tekhnogennogo regiona* [Problems of ecology and nature conservation of the technogenic region], 2020, no. 1–2, pp. 31–36.
- [12] Safonov A.I., Germonova E.A. *Ekologicheskiye seti fitomonitoringovogo naznacheniya v Donbasse* [Ecological networks for phytomonitoring purposes in Donbass]. *Problemy ekologii i okhrany prirody tekhnogennogo regiona* [Problems of ecology and nature protection of technogenic region], 2019, no. 3–4, pp. 37–42.
- [13] Safonov A.I., Zakharenkova N.S. *Diagnostika vozduha v Donetske po spectru skulptur poverhnosti pyl'ci sorno-ruderalnykh vidov rasteniy* [Diagnostics of air in Donetsk by the spectrum of pollen surface sculptures of weed-ruderal plant species]. *Problemy ekologii i okhrany prirody tekhnogennogo regiona* [Problems of ecology and environmental protection of the technogenic region], 2016, no. 1–2, pp. 66–72.
- [14] Safonov A., Glukhov A. Ecological phytomonitoring in Donbass using geoinformational analysis. *BIO Web Conf.* 2021, v. 31, 00020, 4 p.
- [15] Mirnenko N.S. *Monitoring ecotopov Donetska po palinologicheskim dannym Populus nigra L.* [Monitoring of ecotopes in the city of Donetsk according to palynological data of *Populus nigra* L.]. *Problemy ekologii i okhrany prirody tekhnogennogo regiona* [Problems of ecology and nature conservation of the technogenic region], 2021, no. 3–4, pp. 24–30.
- [16] Mirnenko N.S. *Cytologicheskie issledovaniya pyl'cevykh zeren Aesculus hippocastanum L. v Donetske* [Cytological studies of pollen grains of *Aesculus hippocastanum* L. in Donetsk]. *Problemy ekologii i okhrany prirody tekhnogennogo regiona* [Problems of ecology and environmental protection of the technogenic region], 2020, no. 3–4, pp. 20–25.

- [17] Mirnenko N.S. *Fertil'nost i zhiznesposobnost' pil'cy Salix alba L. v usloviyah Donetska* [Fertility and viability of *Salix alba* L. pollen in the conditions of Donetsk]. *Problems of ecology and nature conservation of the technogenic region*, 2020, no. 1–2, pp. 6–12.
- [18] Burmistrov A.N., Nikitina V.A. *Medonosnye rasteniya i ih pyl'ca* [Honey plants and their pollen: a handbook]. Moscow: Rosagropromizdat, 1990, 192 p.
- [19] Antonova E.V., Morozova I.M. *Botanica: anatomiya i morfologiya rasteniy* [Botany: anatomy and morphology of plants]. Vitebsk: VSU im. P.M. Masherova, 2014, 236 p.
- [20] Dobrochaeva D.N., Kotov M.I., Prokudin Yu.N. *Opredilitel' visshih rasteniy Ukrainy* [Determinant of higher plants of Ukraine]. Kyiv: Naukova Dumka, 1987, 548 p.
- [21] Kovylin N.V., Kovylyna O.P., Sukhenko N.V. *Osobennosti vzaimootnosheniya drevostoya i napochvennogo pokrova v iskusstvennykh phytocenozah Populus balsamifera L. u Populus nigra L.* [Peculiarities of the relationship between tree stand and ground cover in artificial phytocenoses *Populus balsamifera* L. and *Populus nigra* L.]. *Lesnoy Zhurnal (Russian Forestry Journal)*, 2016, no. 3(351), pp. 31–41.
- [22] *Gosudarstvennyy komitet po ekologicheskoy politike i prirodnym resursam pri Glave Donetskoy Narodnoy Respublik.* [State Committee for Environmental Policy and Natural Resources under the Head of the Donetsk People's Republic. Available at: <https://gkecopoldnr.ru/> (accessed 22.04.2022)]
- [23] Barykina R.P. *Spravochnik po botanicheskoy mikrotehnii. Osnovy i metody* [Handbook of botanical microtechnology. Fundamentals and methods]. Moscow: Publishing House of Moscow State University, 2004, 312 p.
- [24] Gorodnichev R.M. *Metody ekolozhicheskikh issledovaniy. Osnovy statisticheskoy obrabotki dannykh* [Methods of ecological research. Fundamentals of statistical data processing]. Yakutsk: NEFU Publishing House, 2019, 94 p.
- [25] Urazgildin R.V., Kulagin A.Yu. *Povrezhdeniya, adaptatsii, strategii drevesnykh vidov v usloviyakh tekhnogeneza: strukturno-funktsional'nyye urovni realizatsii adaptivnogo potentsiala* [Damages, adaptations, strategies of tree species in technogenesis conditions: structural-functional levels of adaptive potential realization]. *Uspekhi sovremennoy biologii* [Advances in modern biology], 2022, v. 142, no. 1, pp. 52–69.
- [26] Bayouli I.T., Bayouli H.T., Dell'Oca A., Meers E., Sun J. Ecological indicators and bioindicator plant species for biomonitoring industrial pollution: Eco-based environmental assessment. *Ecological Indicators*, 2021, v. 125, p. 107508.

Author's information

Mirnenko Natal'ya Sergeevna — pg., Department of Botany and Ecology, Donetsk National University, natalya_zaharenkova@mail.ru

Received 10.06.2022.

Approved after review 20.09.2022.

Accepted for publication 28.09.2022.

ИЗМЕНЧИВОСТЬ MORFOСТРУКТУРНЫХ ПОКАЗАТЕЛЕЙ РАЗНЫХ ВОЗРАСТНЫХ ПОКОЛЕНИЙ В ПОПУЛЯЦИЯХ СОСНЫ (*PINUS SYLVESTRIS* L.) В УСЛОВИЯХ ПОСТОЯННОГО ИЗБИТОЧНОГО УВЛАЖНЕНИЯ ПОЧВ СЕВЕРНОЙ ТАЙГИ АРХАНГЕЛЬСКОЙ ОБЛАСТИ

С.Н. Тарханов[✉], Е.А. Пинаевская, А.С. Пахов

ФГБУН «Федеральный исследовательский центр комплексного изучения Арктики имени академика Н.П. Лаврова
УрО РАН», Россия, 163069, г. Архангельск, ул. Набережная Северной Двины, д. 23

tarkse@yandex.ru

Представлены материалы изучения изменчивости морфоструктурных показателей разных возрастных генеративных поколений (g_1 и g_2) в популяциях сосны в условиях постоянного избыточного увлажнения почв в северной тайге Архангельской обл. Показано распределение частоты встречаемости возраста и морфоструктурных показателей (размеров ствола и кроны, очищаемости ствола от сучьев, протяженности грубой коры, размеров и числа боковых побегов, длины и продолжительности жизни хвои) деревьев. Установлено, что в условиях постоянного избыточного увлажнения почв чаще встречаются деревья сосны с меньшими размерами ствола и кроны, худшей очищаемостью ствола от сучьев по сравнению с их средними значениями в популяциях. Показано, что большие высота и диаметр ствола, протяженность и диаметр кроны, лучшая очищаемость ствола от сучьев, большая протяженность грубой коры наблюдается у старшего генеративного поколения (g_2), что обусловлено более высоким возрастом деревьев. Установлено, что связь высоты ствола с возрастом деревьев сильнее выражена в выборках молодых генеративных деревьев. В молодом возрасте она более линейна. Выявлено, что у молодого генеративного поколения (g_1) значительно больше длина и масса шишек, длина, ширина и высота апофиза семенных чешуй по сравнению со старшим поколением (g_2), а величина индекса формы апофиза шишек (отношение высоты апофиза к его ширине) у разных поколений существенно не различается.

Ключевые слова: сосна (*Pinus sylvestris* L.), возрастные поколения, изменчивость, морфоструктурные показатели, постоянное избыточное увлажнение почв, северная тайга

Ссылка для цитирования: Тарханов С.Н., Пинаевская Е.А., Пахов А.С. Изменчивость морфоструктурных показателей разных возрастных поколений в популяциях сосны (*Pinus sylvestris* L.) в условиях постоянного избыточного увлажнения почв северной тайги Архангельской области // Лесной вестник / Forestry Bulletin, 2022. Т. 26. № 6. С. 62–74. DOI: 10.18698/2542-1468-2022-6-62-74

Соотношение и динамика компонента изменчивости в общей структуре популяций служат основой для определения направлений и особенностей процесса приспособления популяций к изменяющимся факторам окружающей среды [1]. Вопрос о возрастной изменчивости таежных лесов сложен и недостаточно изучен. Для сосняков в условиях избыточного увлажнения почв характерно сочетание деревьев разных возрастных поколений [2]. Возрастная структура сосновых древостоев в таежных лесах формируется под влиянием множества факторов. Ее закономерное естественное усложнение во времени может происходить как в рамках одного поколения, так и по линии увеличения числа поколений древостоев (два генетических ряда развития древостоев) [3]. Для выявления процесса смены возрастных поколений возможно изучение наиболее простых из них, которые состоят из хорошо выраженных элементов леса [4, 5]. Морфоструктурные показатели

отражают динамику роста и развития отдельных деревьев и формирования древостоя в целом.

Базовым процессом, на основе которого осуществляется дифференциация дерева на качественно различные элементы — вегетативные и генеративные, является рост. Параметры стволов и крон деревьев «суммируют» влияние климатических, почвенных, ценологических и других факторов внешней среды на текущий рост побегов. В свою очередь, колебания показателей роста принято рассматривать как результат адаптации деревьев к изменяющимся экологическим условиям. От них зависит изменчивость морфоструктурных показателей деревьев, определяемая их наследственными различиями и условиями произрастания, причем наследственный фактор имеет наибольшее значение. Постоянное избыточное увлажнение болотных верховых почв северной тайги через корневую систему оказывает влияние на надземную часть растений. Корневая гипоксия существенно снижает биологическую продуктивность сосны. Адаптация отдельных

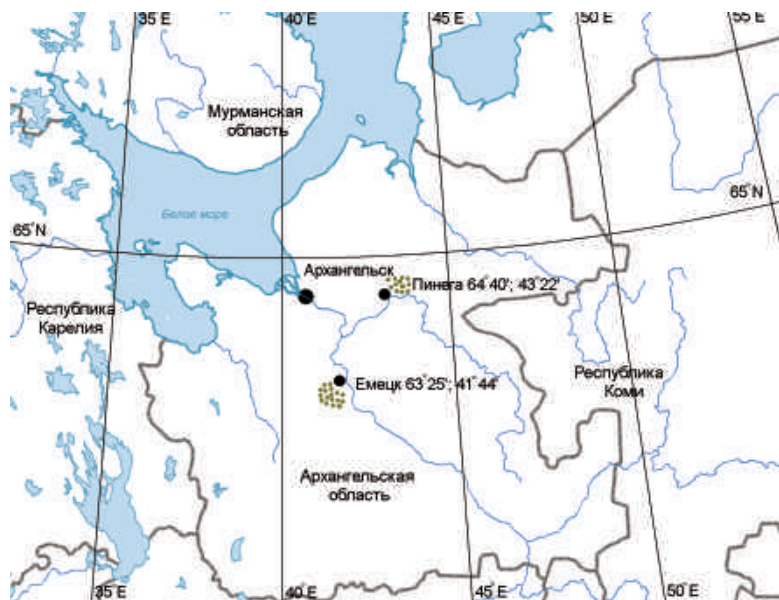


Рис. 1. Карта-схема района исследований
Fig. 1. Schematic map of study areas

деревьев и популяций в целом к этим условиям проявляется в развитии устойчивости к избытку почвенной влаги. Формируются фенотипические проявления устойчивости, в частности, более мелкая и поверхностная корневая система, отрицательный геотропизм корней и др. [6]. Наряду с изменениями физиолого-биохимических процессов, вследствие трансформации корневой системы результатом адаптации к избыточному увлажнению почвы является медленный рост, что влечет за собой потерю апикального доминирования, сокращение объема вегетативной и генеративной сфер, снижение продолжительности жизни и длины хвои, уменьшение размера шишек.

Цель работы

Цель работы — изучение изменчивости морфоструктурных показателей у деревьев разных возрастных поколений в северотаежных популяциях сосны для выявления особенностей их роста и развития в условиях постоянного избыточного увлажнения почв.

Материалы и методы

Район исследований: бассейны рек Северная Двина и Пинега (рис. 1). Объект исследований: вегетативная и генеративная сферы сосны в сосняках кустарничково-сфагновых на болотных верховых торфяных почвах в северной тайге Архангельской обл. Торф, как правило, сфагновый или пушице-сфагновый, низкой степени разложения, имеет сильную реакцию среды (рН солевой суспензии составляет 2,6...3,2), высокую обменную и гидролитическую кислотность, очень низкую степень насыщенности основаниями

(11...14%). Содержание золы в верхнем слое торфа — 2...4%. Торф верхних горизонтов почвенного профиля характеризуется низкой объемной массой, высокой полевой влажностью, близкой к полной влагоемкости (90...94%).

На основании общепринятых методов [7–11] приведены лесоводственно-геоботаническое описание и таксационная характеристика древостоев. На четырех пробных площадях сформированы выборки из вступивших в стадию семеношения относительно молодых (g_1) и средневозрастных (g_2) генеративных деревьев [12]. В емецкой популяции (63°25' с. ш. и 41°44' в. д.) сформированы выборки деревьев в возрасте 20...40 лет (g_1) и 50...80 лет (g_2); в пинежской (64°40' с. ш. и 48°22' в. д.) — соответственно 30...45 (g_1) и 60...100 (g_2). На пробных площадях у 25 деревьев сосны каждого возрастного поколения определяли высоту и диаметр ствола на уровне 1,3 м от поверхности земли, а также абсолютную протяженность и диаметр кроны, измеряли высоту прикрепления к стволу первого мертвого сучка и первой живой ветви, протяженность грубой коры. На 20 ветвях первого порядка у каждого из этих деревьев определяли морфоструктурные показатели боковых однолетних побегов: длину и диаметр побега, длину хвои, подсчитывали число однолетних боковых побегов в мутовке. На ветвях первого порядка определяли предельный возраст хвои. С каждого учетного дерева отбирали по 10 шишек и определяли длину, массу (в воздушно-сухом состоянии) шишки, длину, ширину, высоту и индекс формы апофиза шишки (величину отношения высоты апофиза к ширине, по А.И. Видякину [13]) (рис. 2).

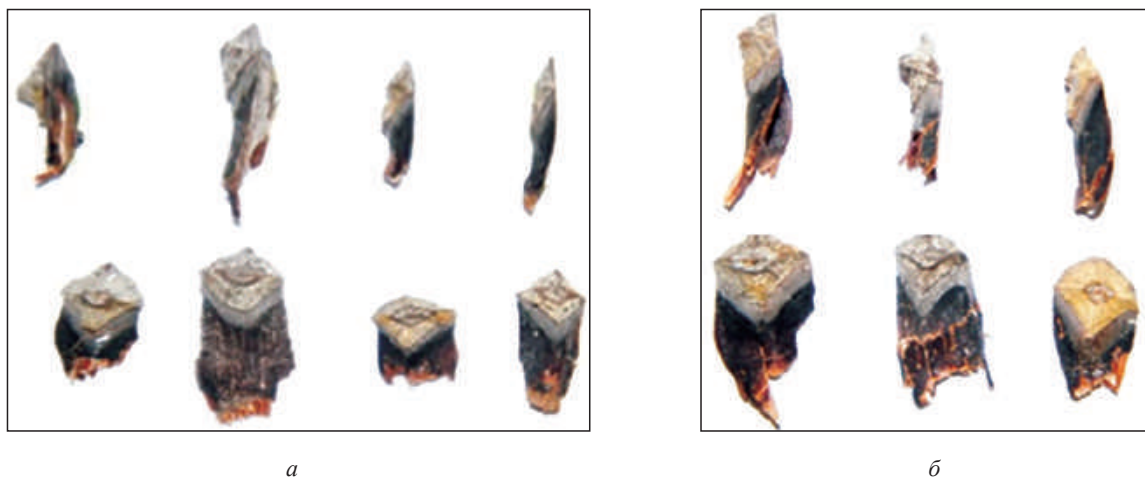


Рис. 2. Форма апофиза семенных чешуй шишек пинежской (а) и емецкой (б) популяций сосны
Fig. 2. Apophysis of cones seed scales of Pinega (a) and Emeck (b) pine populations

При определении объема репрезентативных выборок руководствовались полученными нами ранее результатами по эндогенной и индивидуальной изменчивости данных признаков с учетом 5%-го уровня значимости средней величины, хотя при высокой вариации допускали 10%-й уровень [14]. Все материалы исследований обработаны методами дисперсионного и корреляционного анализа с использованием t -критерия Стьюдента и F -критерия Фишера на 5%-м уровне значимости по Н.Н. Свалову [15]. Уровень изменчивости определяли по эмпирической шкале С.А. Мамаева [16].

Результаты и обсуждение

Распределение деревьев по основным морфо-структурным показателям характеризует процесс постепенного формирования структуры древостоев. Кривые распределения численности деревьев в емецкой и пинежской популяциях сосны четко дифференцированы по выделенным возрастным поколениям g_1 и g_2 в отношении тех основных морфо-структурных показателей, которые прямо связаны с возрастом деревьев. Это выражается в смещении мод распределения частоты встречаемости деревьев по этим показателям у разных поколений относительно друг друга главным образом по размерам ствола, очищаемости ствола от сучьев (рис. 3).

Асимметрия (A) и эксцесс (E) рядов распределения представлены преимущественно положительными значениями, что свидетельствует о значительном числе молодых деревьев в обеих популяциях. Кривые распределения численности деревьев в обеих популяциях по возрасту сильнее редуцированы у молодого генеративного поколения, нежели, у старшего. То же самое можно отметить и в отношении распределения частоты встречаемости деревьев по морфо-структурным показателям. У старшего поколения кривые рас-

пределения числа деревьев по этим показателям более «растянуты». Вероятно, это связано с более узким возрастным диапазоном в выборках учетных деревьев молодого генеративного поколения как в емецкой (18...38 лет), так и в пинежской (30...45 лет) популяции по сравнению со старшим поколением (соответственно 50...80 лет и 60...100 лет). Кривые распределения в выборках деревьев более молодого возрастного поколения положительно асимметричны в обеих популяциях по высоте дерева и диаметру ствола на высоте 1,3 м от поверхности земли ($A = 1,0...1,4$). В старшем возрастном поколении кривые частоты встречаемости деревьев для емецкой и пинежской популяции менее асимметричны по высоте дерева и диаметру ствола на высоте 1,3 м от поверхности земли, хотя величины асимметрии также положительны. В емецкой популяции положительный эксцесс выражен в рядах распределения частоты встречаемости деревьев старшего поколения по высоте прикрепления первого мертвого сучка ($E = 1,5$), протяженности и диаметру кроны ($E = 1,4...1,5$). Кривые распределения частоты встречаемости деревьев (g_2) также положительно асимметричны по высоте прикрепления первого мертвого сучка, протяженности и диаметру кроны ($A = 1,0...2,0$) (рис. 3). В пинежской популяции положительный эксцесс рядов распределения частоты встречаемости деревьев более молодого возрастного поколения проявляется по протяженности и диаметру кроны ($E = 1,6...1,8$), а в старшем возрасте (g_2) выражены положительные асимметричность и эксцесс по протяженности грубой коры ($A = 1,8$; $E = 6,0$). В пинежской популяции положительная асимметричность частоты встречаемости деревьев старшего поколения выражена в длине бокового побега и в числе побегов в мутовке ($A = 1,0...1,1$), а положительный эксцесс проявляется по длине побега ($E = 1,5$).

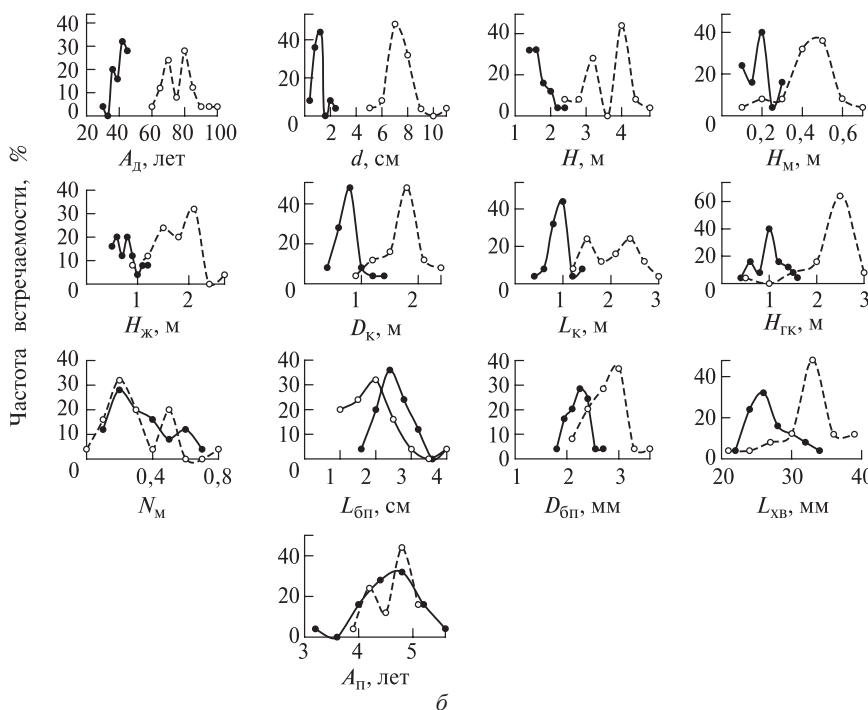
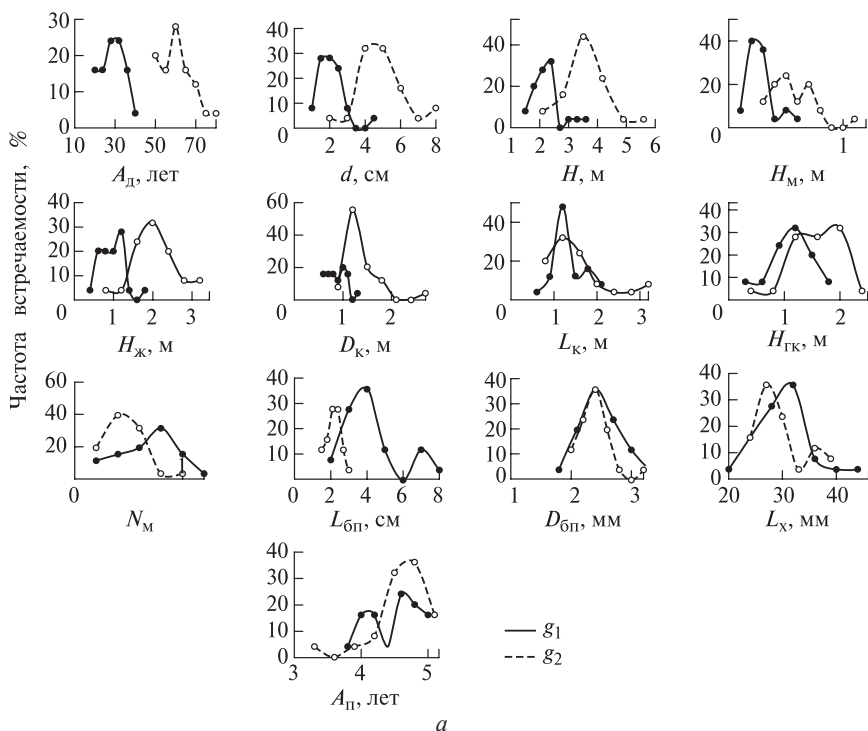


Рис. 3. Кривые распределения деревьев разных возрастных поколений (g_1, g_2) по морфоструктурным показателям: *a* — емецкая популяция; *б* — пинежская популяция; A_d — возраст дерева; d — диаметр ствола на высоте 1,3 м от поверхности земли; H — высота дерева; H_m — высота прикрепления первого мертвого сучка; $H_{ж}$ — высота прикрепления первой живой ветви; D_k — диаметр кроны; L_k — протяженность кроны; $H_{гк}$ — протяженность грубой коры; N_m — число боковых побегов в мутовке; $L_{бп}$ — длина бокового побега; $D_{бп}$ — диаметр бокового побега; L_x — длина хвои; $A_{п}$ — предельная продолжительность жизни хвои

Fig. 3. Distribution curves of different age trees generations (g_1, g_2) according to morphostructural parameters: *a* — Emeck population; *б* — Pinega population; A_d — age of the tree; d — diameter of the trunk at a height of 1,3 m from the ground; H — height of the tree; H_m — height of attachment of the first dead knot; $H_{ж}$ — height of attachment of the first live branch; D_k — crown diameter; L_k — crown length; $H_{гк}$ — length of rough crust; N_m — the number of lateral shoots in the whorl; $L_{бп}$ — length of the lateral shoot; $D_{бп}$ — diameter of the lateral shoot; L_x — length of the needles; $A_{п}$ — limiting life span of needles

Все это свидетельствует о большей частоте встречаемости деревьев с меньшими высотой и диаметром ствола, более узкой и менее протяженной кроной, худшей очищаемостью ствола от сучьев по сравнению с их средними значениями в емецкой и пинежской популяциях в условиях постоянного избыточного увлажнения почв. В пинежской популяции чаще встречаются деревья с меньшей протяженностью грубой коры, более короткими боковыми побегами и их меньшим числом в мутовке по сравнению со средним значением по популяции.

В целом полученные данные распределения деревьев по этим показателям соответствуют ранее полученным результатам по усть-двинской популяции сосны [17]. В емецкой популяции у поколения g_2 проявляется отрицательная (правая) асимметрия распределения численности деревьев по предельной продолжительности жизни хвои ($A = -1,2$). Это означает значительное присутствие в популяции деревьев с более старой хвоей. Для частоты распределения деревьев по предельной продолжительности жизни хвои, длине и диаметру бокового побега характерен положительный эксцесс ($E = 1,0$).

Установлены существенные различия среднего возраста поколений g_1 и g_2 при критических значениях t -критерия Стьюдента как в емецкой

(t -критерий = 16,9; $t_{0,05} = 2,1$), так и в пинежской (t -критерий = 7,6; $t_{0,05} = 2,1$) популяциях. Средние значения морфоструктурных показателей ствола и кроны, очищаемости ствола от сучьев, протяженности грубой коры деревьев разных возрастных поколений сосны (g_1 и g_2) в обеих популяциях существенно различаются на 5%-м уровне значимости (t -критерий, $p < 0,05$). У старшего поколения (g_2) больше размеры ствола и кроны, лучше очищаемость ствола от сучьев, больше протяженность грубой коры (рис. 4).

В пинежской популяции установлены значительные различия между поколениями g_1 и g_2 по длине, диаметру бокового побега и длине хвои (t -критерий = 3,9...5,5; $t_{0,05} = 2,1$), а в емецкой — по длине и числу боковых побегов в мутовке (t -критерий = 3,3...5,3; $t_{0,05} = 2,1$). Более высокие средние значения длины побегов — у молодого генеративного поколения, а диаметр побега и длины хвои — больше у старшего поколения (рис. 5).

Однофакторный дисперсионный анализ подтверждает значительное влияние возрастного поколения на высоту ($p < 0,001$) и диаметр ($p < 0,001$) ствола, а также на очищаемость ствола от сучьев, диаметр кроны, протяженность грубой коры в обеих популяциях, причем в пинежской популяции влияние возрастного фактора более значимо (табл. 1).

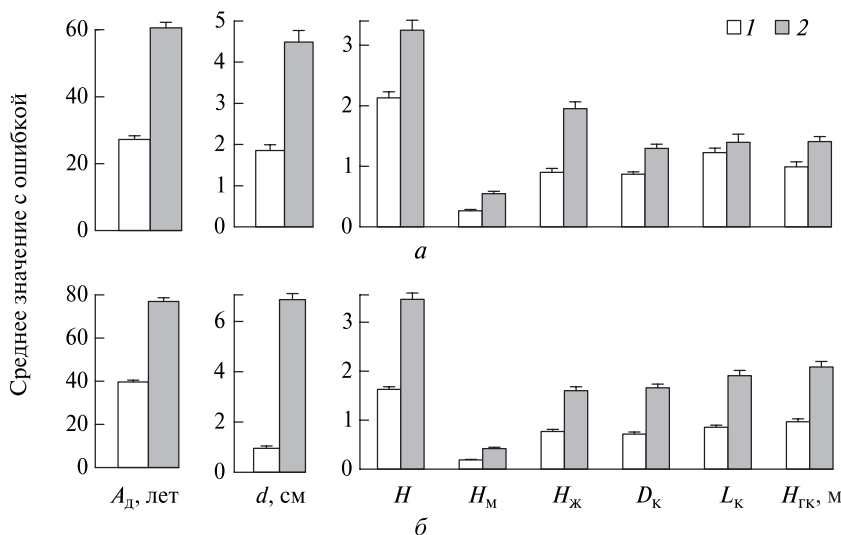


Рис. 4. Морфоструктурные показатели (среднее значение с ошибкой) деревьев разных возрастных поколений сосны: а — емецкая популяция; б — пинежская популяция; 1, 2 — поколения g_1 и g_2 соответственно; A_d — возраст дерева; d — диаметр ствола на высоте 1,3 м от поверхности земли; H — высота дерева; H_M — высота прикрепления первого мертвого сучка; $H_ж$ — высота прикрепления первой живой ветви; D_k — диаметр кроны; L_k — протяженность кроны; $H_{ГК}$ — протяженность грубой коры

Fig. 4. Morphostructural parameters (mean value with error) of different age pine generations: а — Emeck population; б — Pinega population; 1, 2 — generations g_1 and g_2 , respectively; A_d — age of the tree; d — diameter of the trunk at a height of 1,3 m from the ground; H — height of the tree; H_M — height of attachment of the first dead knot; $H_ж$ — height of attachment of the first live branch; D_k — crown diameter; L_k — crown length; $H_{ГК}$ — length of rough bark

Т а б л и ц а 1

Однофакторный дисперсионный анализ влияния возрастного поколения на морфоструктурные показатели деревьев ($F_{0,05} = 4,04$)

The results of a one-way ANOVA analysis of the age generation influence on the morphostructural parameters of trees ($F_{0,05} = 4,04$)

Показатель	Емецкая популяция			Пинежская популяция		
	Критерий Фишера	Показатель силы влияния фактора	Ошибка показателя силы влияния фактора	Критерий Фишера	Показатель силы влияния фактора	Ошибка показателя силы влияния фактора
Высота дерева, м	34,62	0,419	0,17	174,59	0,784	0,004
Диаметр ствола на высоте 1,3 м от поверхности земли, см	69,71	0,592	0,014	542,79	0,919	0,002
Высота прикрепления первого мертвого сучка, м	40,16	0,456	0,017	56,88	0,542	0,010
Высота прикрепления первой живой ветви, м	67,43	0,584	0,014	78,67	0,621	0,008
Протяженность кроны, м	1,18	0,024	0,021	85,27	0,640	0,008
Диаметр кроны, м	29,35	0,379	0,018	127,44	0,726	0,006
Высота поднятия грубой коры, м	12,31	0,204	0,020	78,31	0,620	0,008

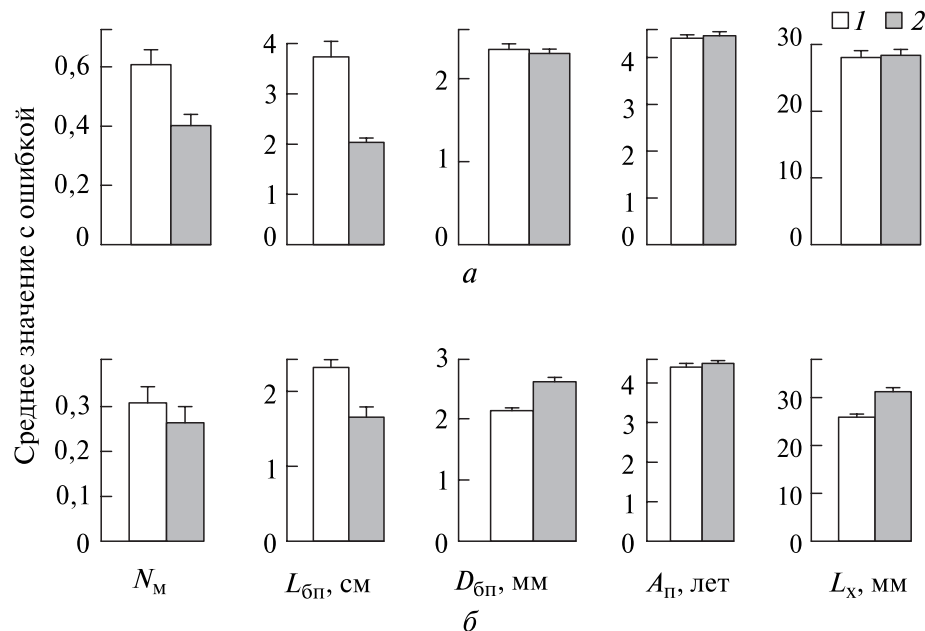


Рис. 5. Морфоструктурные показатели (среднее значение с ошибкой) боковых побегов разных возрастных поколений сосны: *а* — емецкая популяция; *б* — пинежская популяция; 1, 2 — поколения g_1 и g_2 соответственно; N_M — число боковых побегов в мутовке; $L_{бп}$ — длина бокового побега; $D_{бп}$ — диаметр бокового побега; $A_{п}$ — предельная продолжительность жизни хвои; L_x — длина хвои

Fig. 5. Morphostructural parameters (mean value with error) of lateral shoots of different age pine generations: *a* — Emeck population; *б* — Pinega population; 1, 2 — generations g_1 and g_2 , respectively; N_M — the number of lateral shoots in the whorl; $L_{бп}$ — length of the lateral shoot; $D_{бп}$ — diameter of the lateral shoot; $A_{п}$ — limiting life span of needles; L_x — length of the needles

Однофакторный дисперсионный анализ показал влияние возрастного поколения на длину побега в обеих популяциях ($p < 0,001$) (табл. 2). В емецкой популяции влияние возрастного поко-

ления доказано в отношении числа боковых побегов в мутовке ($p < 0,01$). В пинежской популяции подтверждено влияние поколения на диаметр бокового побега ($p < 0,001$) и длину хвои ($p < 0,001$).

Однофакторный дисперсионный анализ влияния возрастного поколения на морфоструктурные показатели побегов ($F_{0,05} = 4,04$)

The results of a one-way ANOVA analysis of the age generation influence generation on the morphostructural parameters of shoots ($F_{0,05} = 4,04$)

Показатель	Емецкая популяция			Пинежская популяция		
	Критерий Фишера	Показатель силы влияния фактора	Ошибка показателя силы влияния фактора	Критерий Фишера	Показатель силы влияния фактора	Ошибка показателя силы влияния фактора
Длина бокового побега, см	27,83	0,367	0,018	15,11	0,239	0,016
Диаметр бокового побега, мм	0,29	0,006	0,021	30,59	0,386	0,013
Длина хвои, мм	0,06	0,001	0,021	24,69	0,340	0,014
Предельная продолжительность жизни хвои, лет	0,26	0,005	0,021	0,69	0,014	0,021
Число боковых побегов в мутовке, шт.	11,00	0,186	0,020	0,75	0,015	0,021

Метод корреляционных плеяд позволяет рассматривать морфоструктуру популяции как единое целое, а с учетом возраста деревьев — сравнивать отдельные группы (поколения) по направленности и силе взаимодействия как прямых, так и косвенных показателей.

Проведенный нами анализ исходил из предположения об адаптационных сдвигах в сопряженной изменчивости морфоструктурных показателей в стрессовых местообитаниях [18, 19]. Это можно наблюдать уже в пределах одного поколения, а соотношение признаков устойчиво сохраняется, оставаясь неизменным свойством особи [20, 21]. Вместе с тем, эволюция корреляционных структур протекает медленнее, чем изменение внешних признаков, и только путем перестройки незначительного числа связей при сохранении стабильности основной части корреляционного скелета организма [22].

Для изучения роста необходимо установить корреляцию основных морфоструктурных показателей с возрастом деревьев. В пределах выборок молодых генеративных деревьев (g_1) установлены достоверная зависимость высоты от возраста деревьев ($r = 0,51 \pm 0,18$ — емецкая популяция; $r = 0,40 \pm 0,19$ — пинежская популяция). В выборках более старых деревьев (g_2) достоверные связи высоты и возраста деревьев при критических значениях t -критерия Стьюдента не выявлены ($t < t_{0,05}$). Это соответствует результатам, полученным ранее И.Н. Кутявиным [5] для подобного типа сосняков Северного Приуралья. Между диаметром ствола на высоте 1,3 м от поверхности земли и возрастом деревьев установлена достоверная корреляция у старшего поколения в пинежской популяции ($r = 0,40 \pm 0,19$).

Таким образом, связь высоты ствола и возраста дерева сильнее выражена в выборках более молодых генеративных деревьев сосны. В молодом

возрасте она более линейна. Учитывая, что возраст деревьев сосны в выборках ($n = 50$) емецкой и пинежской популяций составляет 18...80 лет (емецкая популяция) и 30...100 лет (пинежская популяция), можно отметить отсутствие четко выраженной стадии «затухания» роста по высоте и диаметру ствола. По данным В.И. Левина [2], в условиях Европейского Севера относительно интенсивный рост сосны по диаметру ствола продолжается в возрасте 200 лет и более. В условиях крайнесеверной тайги [23] рост по высоте наиболее интенсивен до возраста 80...100 лет. Поэтому для характеристики связей морфоструктурных показателей ствола с возрастом деревьев более пригодны линейные уравнения, которые подбираются методом наименьших квадратов отклонений (рис. 6).

У молодого поколения как в емецкой, так и пинежской популяциях с возрастом деревьев положительно коррелирует высота прикрепления первой живой ветви (один из показателей, характеризующий развитие кроны и очищаемость ствола от сучьев) и протяженность грубой коры ($n = 25$; $r = 0,47...0,60$; $t_r = 2,6...3,5$). У старшего поколения в емецкой популяции эти связи сохраняются ($r = 0,47...0,66$; $S_r = 0,16...0,18$), а в пинежской популяции они отсутствуют. С повышением возраста деревьев у поколения g_1 в емецкой популяции увеличивается длина боковых побегов и предельный возраст хвои ($r = 0,47...0,49$; $S_r = 0,18$). У старшего поколения подобные связи не наблюдаются. В пинежской популяции корреляция морфоструктурных показателей боковых побегов с возрастом деревьев отсутствует у обоих поколений.

У поколения g_1 в обеих популяциях установлены положительные тесные связи высоты и диаметра ствола на высоте 1,3 м от поверхности земли ($r = 0,85...0,91$; $S_r = 0,08...0,11$), а умеренные и тесные — у этих основных показателей

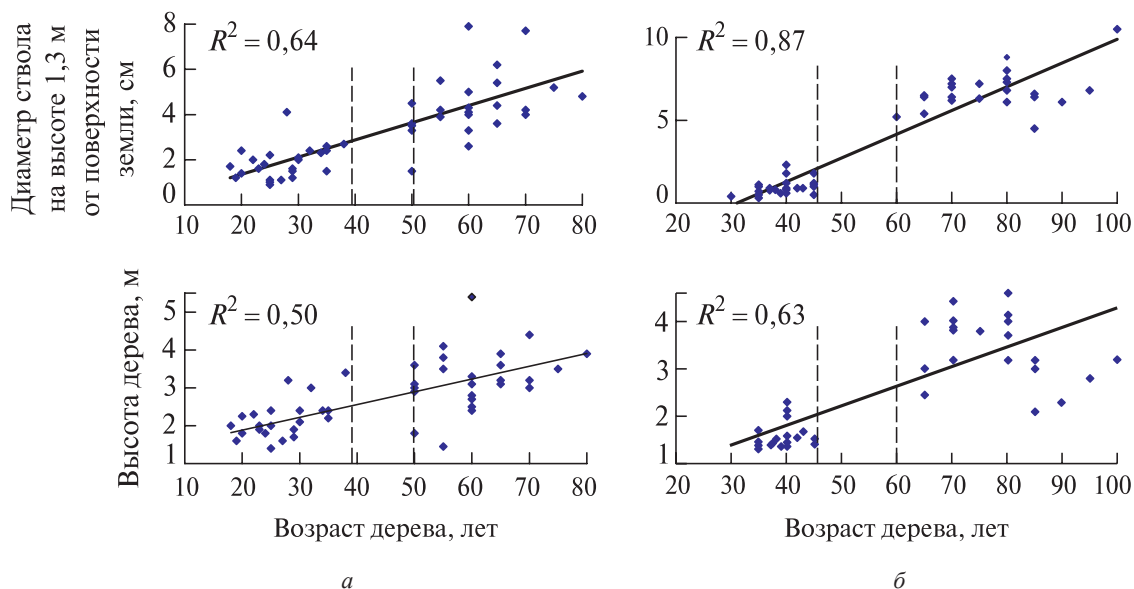


Рис. 6. Зависимость показателей ствола от возраста дерева: а — емецкая популяция; б — пинежская популяция; R^2 — величина достоверности аппроксимации линейного тренда; штриховые линии — разрывы между возрастными поколениями

Fig. 6. Dependence of the trunk parameters on the age of the trees: а — Emeck population; б — Pinega population; R^2 — the value of the reliability of the approximation of the linear trend; dashed lines — gaps between age generations

с размерами (диаметром и протяженностью) кроны, высотой прикрепления первой живой ветви и протяженностью грубой коры ($r = 0,49 \dots 0,82$; $S_r = 0,12 \dots 0,18$). В обеих популяциях у поколения g_2 также установлены положительная тесная ($r = 0,81 \pm 0,12$ — емецкая популяция) и умеренная ($r = 0,51 \pm 0,18$ — пинежская популяция) корреляция высоты и диаметра ствола. В емецкой популяции у поколения g_2 установлены достоверные положительные связи размеров кроны, высоты прикрепления первого мертвого сучка (очищаемости ствола от сучьев), высоты прикрепления к стволу первой живой ветви с высотой и диаметром ствола ($r = 0,41 \dots 0,61$; $S_r = 0,17 \dots 0,19$). В пинежской популяции у поколения g_2 также выражена связь высоты и диаметра ствола с протяженностью грубой коры ($r = 0,58 \dots 0,69$; $S_r = 0,15 \dots 0,17$). В обеих популяциях у поколения более молодого генеративного возраста высота прикрепления первого мертвого сучка и первой живой ветви положительно коррелируют между собой ($r = 0,52 \dots 0,56$; $S_r = 0,17 \dots 0,18$). У старшего поколения в пинежской популяции установлена корреляция протяженности грубой коры с высотой и диаметром ствола ($r = 0,58 \dots 0,69$; $S_r = 0,15 \dots 0,17$). В емецкой популяции такая связь отсутствует. Это, по-видимому, обусловлено более молодым возрастом деревьев данного поколения (50...80 лет) по сравнению с поколением g_2 в пинежской популяции (60...100 лет). В пинежской популяции у поколения g_1 выявлена прямая связь диаметра боковых побегов с высотой и диаметром ствола

($r = 0,43 \dots 0,58$; $S_r = 0,17 \dots 0,19$). Диаметр и длина бокового побега у поколения g_1 этой популяции положительно коррелирует с диаметром кроны ($r = 0,46 \dots 0,49$; $S_r = 0,18 \dots 0,19$). Наличие этих связей, вероятно, характерно для деревьев молодого возраста в пинежской популяции. В емецкой популяции такие связи не выявлены. По данным С.А. Мамаева [16], у сосны обыкновенной в условиях Урала показатели ствола и кроны, протяженность грубой коры не коррелируют с размером хвои. По нашим данным, в условиях постоянного избыточного увлажнения почв выявлена положительная корреляция длины хвои и диаметра бокового побега у разных поколений в обеих популяциях ($r = 0,42 \dots 0,79$; $S_r = 0,13 \dots 0,19$). Длина хвои также положительно коррелирует с очищаемостью ствола от сучьев у деревьев старшего поколения ($r = 0,48 \dots 0,52$; $S_r = 0,18 \dots 0,19$). Вероятно, это связано с режимом освещенности в нижней части кроны деревьев.

Нами установлено, что эндогенная изменчивость морфоструктурных показателей боковых побегов в пределах одного и того же года значительно варьирует. Следовательно, их эндогенная вариабельность в пределах кроны зависит от индивидуальных особенностей дерева и связана с нормой реакции генотипа на изменения внешних условий. По мнению авторов работы [24], более низкий уровень эндогенной изменчивости того или иного показателя может свидетельствовать о его функциональной важности и указывает на довольно жесткую наследственную программу индивидуального развития. Морфоструктурные

**Индивидуальная изменчивость морфоструктурных показателей
разных возрастных поколений (g_1, g_2)**

Individual variability of different age generations (g_1, g_2) morphostructural parameters

Показатель	Емецкая популяция						Пинежская популяция					
	g_1			g_2			g_1			g_2		
	min	max	CV, %	min	max	CV, %	min	max	CV, %	min	max	CV, %
Возраст дерева A_d , лет	18	38	20,4	50	80	13,5	30	45	10,4	60	100	12,7
Диаметр ствола на высоте 1,3 м от поверхности земли d , см	0,9	4,1	38,0	1,5	7,9	31,4	0,3	2,3	47,9	4,5	10,5	17,2
Высота дерева H , м	1,4	3,4	23,7	1,45	5,4	24,8	1,35	2,3	15,9	2,1	4,6	18,6
Высота прикрепления первого мертвого сучка H_m , м	0,1	0,6	45,3	0,3	1,1	34,6	0,1	0,3	36,0	0,1	0,7	33,3
Высота прикрепления первой живой ветви $H_{ж}$, м	0,4	1,7	35,0	0,8	3,2	28,5	0,5	1,2	28,6	0,8	2,6	25,9
Диаметр кроны D_k , м	0,6	1,3	22,5	0,9	2,5	26,3	0,4	1,3	28,4	0,8	2,4	22,1
Протяженность кроны L_k , м	0,6	2,1	29,1	0,7	3,2	48,5	0,4	1,4	24,5	1,0	2,8	27,8
Протяженность грубой коры $H_{гк}$, м	0,1	1,7	41,8	0,3	2,3	30,1	0,4	1,6	30,5	0,1	3,0	26,9
Число боковых побегов в мутовке N_m , шт.	0,2	1,1	40,8	0,1	0,9	46,5	0,1	0,7	58,5	0,0	0,8	67,7
Длина бокового побега $L_{бп}$, см	1,0	7,2	41,6	1,3	2,8	20,4	1,6	3,8	22,5	0,9	3,6	40,8
Диаметр бокового побега $D_{бп}$, мм	1,8	3,1	14,7	1,9	3,0	11,0	1,8	2,6	10,0	1,9	3,3	14,1
Длина хвои L_x , мм	17,0	40,2	18,4	22,5	37,8	15,3	21,4	32,7	11,5	20,5	38,9	14,0
Предельная продолжительность жизни хвои $A_{п}$, лет	3,7	5,0	8,4	3,3	5,1	9,1	3,2	5,4	10,6	3,8	5,1	7,6

показатели, отличающиеся более высоким уровнем эндогенной вариабельности, остаются на этом высоком уровне у деревьев разного возрастного поколения.

Индивидуальный возраст деревьев сосны в емецкой популяции у обоих поколений (g_1 и g_2) характеризуется средним ($CV = 14...20\%$), а в пинежской — низким уровнем ($CV = 10...13\%$) изменчивости (табл. 3). Это указывает на более высокую дифференциацию возраста дерева в емецкой популяции. Между возрастными поколениями сосны установлены достоверные различия дисперсии индивидуального возраста дерева и морфоструктурные показатели (высоты и диаметра ствола, протяженности и диаметра кроны, высоты прикрепления первого мертвого сучка и первой живой ветви, протяженности грубой коры) в обеих популяциях ($F > F_{0,05}$). Известно [16, 25], что индивидуальная изменчивость является, с одной стороны, результатом наследственных различий деревьев, с другой — расхождением условий их произрастания, причем наследственный фактор имеет наибольшее значение.

Известно [16], что длина шишек изменяется из года в год в зависимости от урожая, однако ранг деревьев в погодичной репродукции сохраняется. Длина шишки не зависит от степени раскрытости семенных чешуй, в отличие от ее ширины, что позволяет корректно проводить сравнительную оценку по этому параметру в разные временные периоды вне зависимости от температуры и влажности воздуха или других факторов. Длина шишки тесно коррелирует с ее массой [16]. В обеих популяциях у более молодого поколения (g_1) значительно больше длина и масса шишки ($t = 2,1...4,4$; $t_{0,05} = 2,1$), длина, ширина и высота апофиза семенных чешуй ($t = 2,1...3,6$; $t_{0,05} = 2,1$) по сравнению со старшим поколением (g_2). Значение индекса формы апофиза шишек (отношение высоты апофиза к его ширине) существенно не различается ($t < t_{0,05}$) (рис. 7). Однофакторный дисперсионный анализ подтверждает влияние возрастного поколения на морфоструктурные показатели шишек в обеих популяциях: длину и массу шишки ($F = 4,5...5,0$; $F_{0,05} = 4,0$ — пинежская популяция); $F = 7,1...19,4$;

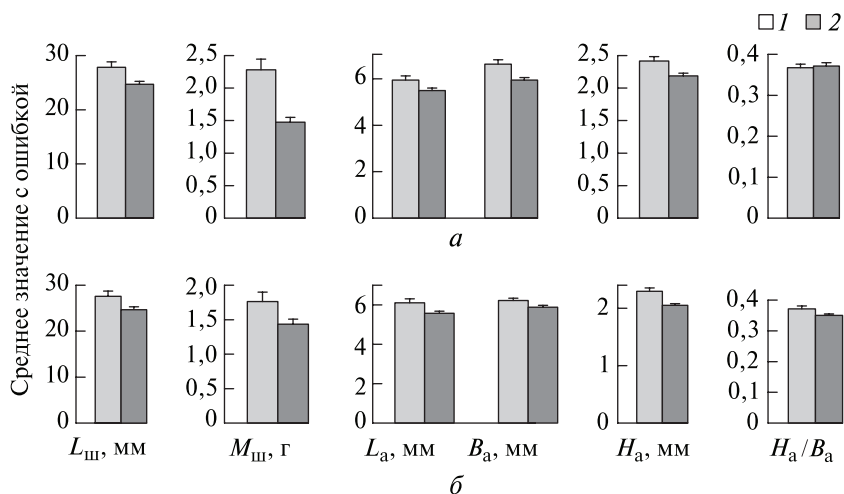


Рис 7. Морфоструктурные показатели (среднее значение с ошибкой) шишек сосны разных возрастных поколений: *а* — емецкая популяция; *б* — пинежская популяция; 1, 2 — поколения g_1 и g_2 соответственно; $L_{ш}$ — длина шишки; $M_{ш}$ — масса шишки; L_a — длина апофиза; B_a — ширина апофиза; H_a — высота апофиза; H_a/B_a — индекс формы апофиза

Fig. 7. Morphostructural parameters (mean value with error) of pine cones of different age generations: *а* — Emeck population, *б* — Pinega population, 1, 2 — generations g_1 and g_2 , respectively; $L_{ш}$ — length of the cone; $M_{ш}$ — mass of the cone; L_a — length of the apophysis, B_a — width of the apophysis, H_a — height of the apophysis; H_a/B_a — apophysis forms index

$F_{0,05}=4,0$ — емецкая популяция; длину, ширину и высоту апофиза семенных чешуй $F=4,9...12,8$; $F_{0,05}=4,0$ — пинежская популяция; $F=4,3...10,5$; $F_{0,05}=4,0$ — емецкая популяция). Таким образом, возрастное поколение деревьев в популяциях сосны оказывает существенное влияние на размеры и массу шишек, форму семенных чешуй. Согласно С.А. Мамаеву [16], форма апофиза не связана с каким-либо другим показателем дерева.

Ранее было установлено [26], что размеры шишек имеют наследственный характер и зависят от условий произрастания сосны. По форме апофиза семенных чешуй выделяются внутривидовые формы сосны (*Pinus sylvestris* L.). Согласно нашим данным [26], диапазон коэффициента эндогенной вариации ряда морфоструктурных показателей шишек в обеих популяциях шире у более молодого поколения по сравнению со старшим. Это относится к длине и массе шишки, длине и ширине апофиза семенных чешуй, а также к индексу формы апофиза (H_a/B_a) (в пинежской популяции). Их изменчивость обусловлена влиянием многих онтогенетических и внешних факторов в периоды формирования женских генеративных почек и взрослых шишек [27]. Установлены достоверные различия дисперсий морфоструктурных показателей шишек в выборках деревьев разных возрастных поколений обеих популяций сосны: длины и массы шишки ($F=3,4...5,0$; $F_{0,05}=2,0$), длины апофиза семенных чешуй ($F=3,4...4,0$; $F_{0,05}=2,0$). Существенные различия дисперсии ширины апофиза семен-

ных чешуй между поколениями наблюдаются только в емецкой популяции ($F > F_{0,05}$). Наиболее высокую индивидуальную вариабельность у обоих поколений имеет масса шишки: $CV=37...39\%$ (g_1) и $CV=25...26\%$ (g_2). Морфометрические показатели апофиза семенных чешуй в пределах поколения в обеих популяциях имеют более низкую индивидуальную вариабельность: $CV=10...17\%$ (g_1) и $CV=7...10\%$ (g_2). Индивидуальная изменчивость длины шишки занимает промежуточное положение: $CV=16...17\%$ (g_1) и $CV=9\%$ (g_2). В емецкой и пинежской популяциях изменчивость этих показателей выше у более молодого поколения.

Выводы

Установленное распределение численности деревьев в емецкой и пинежской популяциях сосны показало их четкую дифференциацию по генеративным поколениям (g_1 и g_2) в отношении основных морфоструктурных показателей, которые прямо связаны с возрастом деревьев. Смещение мод распределения частоты встречаемости деревьев по этим показателям у разных поколений относительно друг друга наблюдается, главным образом, по размерам ствола, очищению ствола от ветвей и сучьев. Преимущественно положительные значения асимметрии и эксцесса рядов распределения деревьев по морфоструктурным показателям свидетельствуют о значительном числе более молодых деревьев в популяциях.

Большие размеры ствола и кроны, лучшая очищаемость ствола от сучьев, большая протяженность грубой коры, более толстые боковые побеги и более длинная хвоя присущи старшему генеративному поколению (g_2), что связано с возрастом деревьев.

Связь высоты ствола и возраста деревьев сильнее выражена в выборках молодых генеративных деревьев сосны. В молодом возрасте она более линейна.

Установленные уровни эндогенной изменчивости морфоструктурных показателей боковых побегов в пределах одного и того же года подвержены значительным колебаниям, что свидетельствует о зависимости варибельности морфоструктурных показателей от индивидуальных особенностей деревьев и их реакции на изменения внешних условий.

У более молодого генеративного поколения (g_1) существенно больше длина и масса шишек, длина, ширина и высота апофиза семенных чешуй по сравнению со старшим поколением (g_2), что связано с формированием шишек в процессе онтогенеза.


Знание особенностей изменчивости морфоструктурных показателей разных генеративных поколений сосны в условиях постоянного избыточного увлажнения почв позволяет более эффективно проводить лесохозяйственные мероприятия, направленные на формирование устойчивых насаждений.

Работа выполнена в рамках выполнения государственного задания ФГБУН «Федеральный исследовательский центр комплексного изучения Арктики имени академика Н.П. Лаверова УрО РАН» (№ ГР 122011400384-2).

Список литературы

- [1] Драгавцев В.А. Методы популяционного эксперимента с растениями // Успехи современной генетики, 1974. Вып. 5. С. 221–228.
- [2] Левин В.И. Сосняки Европейского Севера (строение, рост и таксация древостоев). М.: Лесная пром-сть, 1966. 152 с.
- [3] Цветков В.Ф., Семенов Б.А. Сосняки Крайнего Севера. М.: Агропромиздат, 1985. 116 с.
- [4] Цветков В.Ф., Цветков И.В. Лес в условиях аэротехногенного загрязнения. Архангельск: Изд-во Архангельского ГТУ, 2003. 354 с.
- [5] Кутявин И.Н. Сосновые леса Северного Приуралья: строение, рост, продуктивность. Сыктывкар: ИБ Коми НЦ УрО РАН, 2018. 176 с.
- [6] Веретенников А.В. Метаболизм древесных растений в условиях корневой аноксии. Воронеж: Изд-во Воронежского университета, 1985. 151 с.
- [7] Сукачев В.Н., Зонн С.В. Методические указания к изучению типов леса. М.: Изд-во АН СССР, 1961. 144 с.
- [8] Полевая геоботаника. Т. 3. М.; Л.: Наука, 1964. 531 с.
- [9] Паршевников А.Л. Руководство по полевому исследованию лесных почв. Архангельск: Изд-во Архангельского института леса и лесохимии, 1974. 45 с.
- [10] Анучин Н.П. Лесная таксация. М.: Лесная пром-сть, 1982. 552 с.
- [11] ОСТ 56-69–83. Площади пробные лесоустроительные. Методы закладки. М.: Изд-во ЦБНТИ Гослесхоза СССР, 1983. 14 с.
- [12] Демаков Ю.П. Защита растений. Жизнеспособность и жизнестойкость древесных растений. Йошкар-Ола: Изд-во Марийского ГТУ, 2002. 76 с.
- [13] Видякин А.И. Изменчивость формы апофизов шишек в популяциях сосны обыкновенной на востоке европейской части России // Экология, 1995. № 5. С. 356–362.
- [14] Трульв О.А. Математическая статистика в лесном хозяйстве. Минск: Высшая школа, 1966. 232 с.
- [15] Свалов В.В. Вариационная статистика. М.: Лесная пром-сть, 1977. 178 с.
- [16] Мамаев С.А. Формы внутривидовой изменчивости древесных растений (на примере семейства *Pinaceae* на Урале). М.: Наука, 1972. 284 с.
- [17] Тарханов С.Н., Бирюков С.Ю. Морфоструктура и изменчивость биохимических признаков популяции сосны (*Pinus sylvestris* L.) в стрессовых условиях устья Северной Двины // Сибирский экологический журнал, 2014. Т. 21. № 2. С. 319–327.
- [18] Munch E. Investigation on the Harmony of Tree Shape // Jahrb. Wiss. Bot., 1938, bd. 86, no. 4, pp. 581–673.
- [19] Шмальгаузен И.И. Пути и закономерности эволюционного процесса: Избр. тр. М.: Наука, 1983. 360 с.
- [20] Берг Р.Л. Экологическая интерпретация корреляционных плеяд // Вестник Ленинградского ГУ, 1959. Т. 9. № 2. С. 21.
- [21] Животовский Л.А. Популяционная биометрия. М.: Наука, 1991. 272 с.
- [22] Шмидт В.М. Математические методы в ботанике. Л.: Изд-во Ленинградского гос. университета, 1984. 288 с.
- [23] Семенов Б.А., Цветков В.Ф., Чибисов Г.А., Елизаров Ф.П. Притундровые леса европейской части России (природа и ведение хозяйства). Архангельск: Изд-во Архангельского ГТУ, 1998. 334 с.
- [24] Яблоков А.В. Популяционная биология. М.: Высшая школа, 1987. 303 с.
- [25] Путенихин В.П., Фарукишина Г.Г. Внутривидовая фенотипическая изменчивость лиственницы Сукачева на Урале // Лесоведение, 2004. № 1. С. 38–47.
- [26] Правдин Л.Ф. Сосна обыкновенная. Изменчивость, внутривидовая систематика и селекция. М.: Наука, 1964. 191 с.
- [27] Cousens J. An Introduction to Woodland Ecology. Edinburgh: Oliver and Boyd, 1974, 151 p.

Сведения об авторах

Тарханов Сергей Николаевич  — д-р биол. наук, зав. лабораторией приарктических лесных экосистем, ФГБУН «Федеральный исследовательский центр комплексного изучения Арктики имени академика Н.П. Лаверова УрО РАН», tarkse@yandex.ru

Пинаевская Екатерина Александровна — канд. биол. наук, ст. науч. сотр. лаборатории приарктических лесных экосистем, ФГБУН «Федеральный исследовательский центр комплексного изучения Арктики имени академика Н.П. Лаверова УрО РАН», aviatorov8@mail.ru

Пахов Александр Сергеевич — мл. науч. сотр. лаборатории приарктических лесных экосистем, ФГБУН «Федеральный исследовательский центр комплексного изучения Арктики имени академика Н.П. Лаверова УрО РАН», aleksander.pakhoff@yandex.ru

Поступила в редакцию 10.06.2022.

Одобрено после рецензирования 20.09.2022.

Принята к публикации 12.10.2022.

MORPHOSTRUCTURAL VARIABILITY PARAMETERS OF DIFFERENT AGE GENERATIONS IN PINE (*PINUS SYLVESTRIS* L.) POPULATIONS UNDER CONSTANT EXCESSIVE SOIL MOISTURE IN NORTHERN TAIGA OF ARKHANGELSK REGION

S.N. Tarkhanov , E.A. Pinaevskaya, A.S. Pakhov

N.P. Laverov Federal Center for Integrated Arctic Research of the Ural Branch of the Russian Academy of Sciences, 23, emb. Northern Dvina, 163069, Arkhangelsk, Russia

tarkse@yandex.ru

The data is presented for studying the variability of morphostructural parameters of different age (g_1 and g_2) pine populations under conditions of constant excessive soil moisture of the northern taiga of the Arkhangelsk region. The frequency of occurrence distribution of the age and morphostructural parameters (size of the trunk and crown, self-pruning, length of coarse bark, size and number of side shoots, length and life span of needles) of trees is shown. It has been established that pine trees with smaller trunk and crown sizes, worse self-pruning are more common. Greater height and diameter of the trunk, length and diameter of the crown, better self-pruning, a greater length of the coarse bark is observed in the older generation (g_2). This is due to the older age of the trees. It has been established that the relationship between the height of the trunk and the age of the trees is higher in the samples of young generative trees. It was revealed that the young generation (g_1) has a significantly greater length and mass of cones, the length, width and height of the apophysis of seed scales compared to the older generation (g_2).

Keywords: pine (*Pinus sylvestris* L.), age generations, variability, morphostructural parameters, constant excessive soil moisture, northern taiga

Suggested citation: Tarkhanov S.N., Pinaevskaya E.A., Pakhov A.S. *Izmenchivost' morfostrukturnykh pokazateley raznykh vozrastnykh pokoleniy v populyatsiyakh sosny (Pinus sylvestris L.) v usloviyakh postoyannogo izbytochnogo uvlazhneniya pochv severnoy taygi Arkhangel'skoy oblasti* [Morphostructural variability parameters of different age generations in pine (*Pinus sylvestris* L.) populations under constant excessive soil moisture in northern taiga of Arkhangelsk region]. *Lesnoy vestnik / Forestry Bulletin*, 2022, vol. 26, no. 6, pp. 62–74.
DOI: 10.18698/2542-1468-2022-6-62-74

References

- [1] Dragavtsev V.A. *Metody populyatsionnogo eksperimenta s rasteniyami* [Methods of population experiment with plants]. *Uspekhi sovremennoy genetiki* [Advances in modern genetics], 1974, v. 5, pp. 221–228.
- [2] Levin V.I. *Sosnyaki Evropeyskogo Severa (stroenie, rost i taksatsiya drevostoev)* [Pine forests of the European North (structure, growth and forest inventory)]. Moscow: Lesnaya prom-t' [Timber industry], 1966, 152 p.
- [3] Tsvetkov V.F., Semenov B.A. *Sosnyaki Kraynego Severa* [Pine forests of the Far North]. Moscow: Agropromizdat, 1985, 116 p.
- [4] Tsvetkov V.F., Tsvetkov I.V. *Les v usloviyakh aerotekhnogennoho zagryazneniya* [Forest under conditions of aerotechnogenic pollution] Arkhangel'sk: Izd-vo Arkhangel'skogo gos. tekhn. universiteta, 2003, 354 p.
- [5] Kutuyavin I.N. *Sosnovye lesa Severnogo Priural'ya: stroenie, rost, produktivnost'* [Pine forests of the Northern Cis-Urals: structure, growth, productivity]. Syktyvkar: IB FRC Komi SC UB RAS, 2018, 176 p.
- [6] Veretennikov A.V. *Metabolizm drevesnykh rasteniy v usloviyakh kornevoy anoksii* [Metabolism of woody plants under conditions of root anoxia]. Voronezh: Izd-vo Voronezhskogo universiteta, 1985, 151 p.
- [7] Sukachev V.N., Zonn S.V. *Metodicheskie ukazaniya k izucheniyu tipov lesa* [Guidelines for the study of forest types]. Moscow: Izd-vo AN SSSR, 1961, 144 p.

- [8] *Polevaya geobotanika* [Field Geobotany]. v. 3. Moscow, Leningrad: Nauka, 1964, 531 p.
- [9] Parshvenikov A.L. *Rukovodstvo po polevomu issledovaniyu lesnykh pochv* [Guide to the field study of forest soils]. Arkhangel'sk: Izd-vo Arkhangel'skogo instituta lesa i lesokhimii, 1974, 45 p.
- [10] Anuchin N.P. *Lesnaya taksatsiya* [Forest inventory]. Moscow: Lesnaya prom-t', 1982, 552 p.
- [11] *OST 56-69-83. Ploshchadi probnye lesoustroitel'nye. Metody zakladki* [Trial forest inventory areas. Bookmark Methods]. Moscow: Izd-vo TsBNTI Gosleskhoza SSSR, 1983, 14 p.
- [12] Demakov Yu.P. *Zashchita rasteniy. Zhiznesposobnost' i zhiznestoykost' drevesnykh rasteniy* [Plant protection. Vitality and vitality of woody plants]. Yoshkar-Ola: Izd-vo Mariyskogo gos. tekhn. universitet, 2002, 76 p.
- [13] Vidyakin A.I. *Izmenchivost' formy apofizov shishek v populyatsiyakh sosny obyknovennoy na vostoche evropeyskoy chasti Rossii* [Variability in the shape of cone apophyses in Scots pine populations in the east of the European part of Russia]. *Ekologiya* [Ecology], 1995, no. 5, pp. 356–362.
- [14] Trull' O.A. *Matematicheskaya statistika v lesnom khozyaystve* [Mathematical statistics in forestry]. Minsk: Vysshaya shkola, 1966, 232 p.
- [15] Svalov V.V. *Variatsionnaya statistika* [Variation statistics]. Moscow: Lesnaya prom-t', 1977, 178 p.
- [16] Mamaev S.A. *Formy vnutrividovoy izmenchivosti drevesnykh rasteniy (na primere semeystva Pinaceae na Urale)* [Forms of intraspecific variability of woody plants (on the example of the Pinaceae family in the Urals)]. Moscow: Nauka, 1972, 284 p.
- [17] Tarkhanov S.N., Biryukov S.Yu. *Morfostruktura i izmenchivost' biokhimicheskikh priznakov populyatsii sosny (Pinus sylvestris L.) v stressovykh usloviyakh ust'ya Severnoy Dviny* [Morphostructure and biochemical parameters of scots pine (*Pinus sylvestris* L.) in the stressing environment of North Dvina estuary region]. *Sibirskiy ekologicheskiy zhurnal* (Contemporary Problems of Ecology), 2014, t. 21, no. 2, pp. 319–327.
- [18] Munch E. Investigation on the Harmony of Tree Shape. *Jahrb. Wiss. Bot.*, 1938, bd. 86, no 4, pp. 581–673.
- [19] Shmal'gauzen I.I. *Puti i zakonomernosti evolyutsionnogo protsessa* [Ways and patterns of the evolutionary process]. Izbr. tr. Moscow: Nauka, 1983, 360 p.
- [20] Berg R.L. *Ekologicheskaya interpretatsiya korrelyatsionnykh pleyad* [Ecological interpretation of correlation pleiades]. *Vestnik Leningradskogo gos. universiteta* [Bulletin of the Leningrad state. university], 1959, t. 9, no. 2, p. 21.
- [21] Zhivotovskiy L.A. *Populyatsionnaya biometriya* [Population biometrics]. Moscow: Nauka, 1991, 272 p.
- [22] Shmidt V.M. *Matematicheskie metody v botanike* [Mathematical methods in botany]. Leningrad: Izd-vo Leningradskogo gos. universiteta, 1984, 288 p.
- [23] Semenov B.A., Tsvetkov V.F., Chibisov G.A., Elizarov F.P. *Pritundrovye lesa evropeyskoy chasti Rossii (priroda i vedenie khozyaystva)* [Tundra forests of the European part of Russia (nature and management)]. Arkhangel'sk: Izd-vo Arkhangel'skogo gos. tekhn. universiteta, 1998, 334 p.
- [24] Yablokov A.V. *Populyatsionnaya biologiya* [Population biology]. Moscow: Vysshaya shkola, 1987, 303 p.
- [25] Putenikhin V.P., Farukshina G.G. *Vnutrividovaya fenotipicheskaya izmenchivost' listvennitsy Sukacheva na Urale* [Intraspecific phenotypic variability of Larix Sukachewii Dyl. in the Urals]. *Lesovedenie* [Russian Journal of Forest Science], 2004, no. 1, pp. 38–47.
- [26] Pravdin L.F. *Sosna obyknovennaya. Izmenchivost', vnutrividovaya sistematika i selektsiya* [Common pine. Variability, intraspecific taxonomy and selection]. Moscow: Nauka, 1964, 191 p.
- [27] Cousens J. *An Introduction to Woodland Ecology*. Edinburgh: Oliver and Boyd, 1974, 151 p.

The work was carried out within the framework of the state assignment of the N. Laverov Federal Center for Integrated Arctic Research of the Ural Branch of the Russian Academy of Sciences (state registration no. 122011400384-2).

Authors' information

Tarkhanov Sergey Nikolaevich ✉ — Dr. Sci. (Biology), Head of the Laboratory of Subarctic Forest Ecosystems, N. Laverov Federal Center for Integrated Arctic Research of the Ural Branch of the Russian Academy of Sciences, tarkse@yandex.ru

Pinaevskaya Ekaterina Alexandrovna — Cand. Sci (Biology), Senior Researcher of Laboratory of Subarctic Forest Ecosystems, N. Laverov Federal Center for Integrated Arctic Research of the Ural Branch of the Russian Academy of Sciences, aviatorov8@mail.ru

Pakhov Alexander Sergeevich — Junior Researcher of Laboratory of Subarctic Forest Ecosystems, N. Laverov Federal Center for Integrated Arctic Research of the Ural Branch of the Russian Academy of Sciences, aleksander.pakhoff@yandex.ru

Received 10.06.2022.

Approved after review 20.09.2022.

Accepted for publication 12.10.2022.

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

ПРАКТИКА ПОВЫШЕНИЯ ПОСЕВНЫХ КАЧЕСТВ СЕМЯН СОСНЫ ОБЫКНОВЕННОЙ (*PINUS SYLVESTRIS* L.) И ЕЛИ ЕВРОПЕЙСКОЙ (*PICEA ABIES* L.)

О.Н. Тюкавина^{1, 2✉}, Н.А. Демина¹

¹ФБУ «СевНИИЛХ», Россия, 163062, г. Архангельск, ул. Никитова, д. 13

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

o.tukavina@narfu.ru

Показана недостаточная эффективность лесовосстановления в Российской Федерации, названы ее основные причины: нехватка и высокая стоимость посадочного материала. Проанализированы приемы предпосевной обработки семян в целях повышения энергии прорастания и всхожести. Проведен обзор литературных источников, позволивший оценить эффективность применения регуляторов роста растений при замачивании семян для повышения их посевных качеств и повышения устойчивости всходов к неблагоприятным факторам. Установлено, что замачивание семян не требует больших усилий и признано наиболее простым способом их обработки. Выполнен обзор регуляторов роста растений для обработки семян из «Государственного каталога пестицидов и агрохимикатов», показавший, что препараты в основном разработаны для стимуляции прорастания семян сельскохозяйственных растений и плодово-ягодных культур. На основании обзора проводимых исследований установлен перечень эффективных препаратов для обработки семян сосны обыкновенной. Назван перспективный способ воздействия на прорастание семян и повышение устойчивости формирующихся растений к неблагоприятным факторам с помощью растительного сырья в виде отходов лесозаготовок, частей старящихся и деревьев, опада, травянистой растительности, в том числе сорняков. Рассмотрены химические, биологические, физиологические способы и методы повышения посевных качеств семян, показавшие свою эффективность. В качестве основных принципов выбора способа обработки семян рекомендуются доступность, экономическая целесообразность и высокая эффективность как препаратов, так и приборов.

Ключевые слова: семена сосны и ели, предпосевная обработка, энергия прорастания, всхожесть, регулятор роста, растительное сырье, эффективная концентрация препарата

Ссылка для цитирования: Тюкавина О.Н., Демина Н.А. Практика повышения посевных качеств семян сосны обыкновенной (*Pinus sylvestris* L.) и ели европейской (*Picea abies* L.) // Лесной вестник / Forestry Bulletin, 2022. Т. 26. № 6. С. 75–91. DOI: 10.18698/2542-1468-2022-6-75-91

Качественное восстановление лесов лежит в основе эффективного лесопользования [1]. К проблемам, сдерживающим развитие лесного комплекса Российской Федерации, относится недостаточная эффективность лесовосстановления [2]. Согласно федеральному проекту «Сохранение лесов» [3] к 2024 г. отношение площади лесовосстановления и лесоразведения к площади вырубленных и погибших лесных насаждений должно составить 100 %, в частности, за счет увеличения площади искусственного лесовосстановления, с помощью повышения качества и эффективности работ по лесовосстановлению. Согласно Правилам лесовосстановления [4], не менее 20 % площадей искусственного и комбинированного лесовосстановления до 2025 г. выполняется посадкой сеянцев и саженцев с закрытой корневой системой с последующим увеличением их доли. Следовательно, основой искусственного лесовосстановления считается посадочный материал с открытой корневой системой.

Потребности лесного хозяйства в посадочном и посевном материале возрастают из года в год [5]. Проблема качества и эффективности работ по искусственному лесовосстановлению обусловлена высокой стоимостью и дефицитом качественного посадочного материала [6]. Успешность искусственного лесовосстановления зависит от наличия семян, адаптированных к местным условиям ландшафтной среды [7]. Для выращивания посадочного материала следует использовать районированные семена древесных пород с лучшими наследственными свойствами. Снижение объемов заготовки семян основных лесобразующих пород обостряет проблему получения необходимого объема посадочного материала [5]. Однако нехватка посадочного материала вынуждает лесозаготовителей закупать его в соседних регионах. Поэтому актуальны разработка и внедрение современных экологически ориентированных приемов, обеспечивающих повышение выхода посадочного материала при снижении затрат на его выращивание [6].

Семена, используемые для посева и выращивания посадочного материала в питомниках, должны обладать высокими посевными качествами. Качество семян определяется не только селекционно-генетическими, но и посевными свойствами, которые зависят от предпосевной обработки [5].

Урожайные на семена годы наблюдаются каждые 5–7 лет [8, 9]. Для сосны в европейской части России при этом периодичность урожая составляет 4–5 лет, ели — 3–4 года [10]. Продолжительное хранение семян могут сопровождать окислительные процессы и накопление токсичных метаболитов, которые снижают их посевные качества [11–13]. Специалисты лесного хозяйства часто сталкиваются с проблемой низкой грунтовой всхожести семян хвойных [14]. Семена сосны и ели сохраняют жизнеспособность до 5–6 лет [15], однако колебания влажности и температуры воздуха при их хранении снижают всхожесть семян сосны до 50 %, 20...25 % семян первого класса переходят во второй; 15...20 % второго класса — в третий [16]. При оптимальных условиях хранения всхожесть снижается на 20 % на 3–4-й год хранения [17]. Низкая всхожесть семян хвойных вынуждает завышать нормы высева, что обуславливает неэффективное использование ресурса. Поэтому одной из актуальных задач современного лесного хозяйства является поиск методов повышения посевных качеств семян [6, 18–21].

Анализ отечественного и мирового опыта предпосевной обработки семян позволяет выделить наиболее эффективные и доступные методы и способы подготовки семян к посеву для интенсификации выращивания сеянцев хвойных пород в открытом грунте лесных питомников. В задачи исследования входил поиск информации, анализ, выделение ключевых моментов с ориентировкой на применение к лесным питомникам таежной зоны.

Цель работы

Цель работы — изучение и анализ отечественного и зарубежного опыта исследований по стимуляции прорастания и повышению всхожести семян сосны обыкновенной (*Pinus sylvestris* L.) и ели европейской (*Picea abies* L.).

Материалы и методы

Для получения научных результатов были использованы международные библиографические и реферативные базы данных. Обзор публикаций выполнен за 70-летний период (с 1952 по 2021 гг.). Внимание было сосредоточено на современных литературных источниках, работах, непосредственно посвященных вопросам предпосевной обработки семян.

Были также использованы поисковые запросы по терминам «семена», «всхожесть», «энергия прорастания», «регуляторы роста», «протравители», «seedling», «forest», «nursery». Кроме того, выполнен анализ имеющегося опыта стимуляции прорастания семян ели европейской (*Picea abies* L.) и сосны обыкновенной (*Pinus sylvestris* L.).

Результаты и обсуждение

Посевные качества семян повышаются с увеличением их размера и массы [22–28]. Сортировку семян хвойных можно проводить с помощью решет с отверстиями различного диаметра, с использованием пневмосепаратора лесных семян ПЛС-5М по массе [28]. Жизнеспособные семена отделяют от пустых, нежизнеспособных, поврежденных и мусора с помощью водной сепарации установкой Prevac [29]. Средняя масса 1000 шт. семян по северной подзоне составляет $5,11 \pm 0,03$ г, по средней подзоне — $5,50 \pm 0,03$ г [30]. Сортировка семян способом флотации позволяет отделить большую часть пустых семян от полных, что приводит к повышению их всхожести [31–34].

Снегование — наиболее эффективный способ предпосевной подготовки для семян сосны и ели [15, 29, 35–37]. Данная процедура активизирует ферменты, способствующие повышению устойчивости семян к высоким и низким температурам. В частности, при температуре +10 °C такие семена прорастают быстрее и энергия прорастания их выше [38]. Кроме того, снегование позволяет снизить норму высева на 20...25 % [39]. Рекомендована следующая последовательность процессов [35, 40–42]:

- замачивание семян в снеговой воде комнатной температуры на 18 ч;
- снегование семян за 1–2 мес. до посева путем раскладки семян в полотняных мешочках в уплотненный снег слоем не более 2–3 см;
- обработка подверженных снегованию семян стимуляторами роста;
- протравливание семян фунгицидами.

К тому же снегование способствует формированию более мочковатой корневой системы у сеянцев [43].

От снегования семян позволяет отказаться барботация, поскольку она снижает зараженность семян. Длительность барботации для семян сосны и ели составляет 6–8 ч. Для подавления грибной инфекции барботацию семян следует проводить в 0,5%-м растворе перманганата калия (5 г/л) [29]. Барботация (воздействие на семена кислорода в водной среде) позволяет повысить всхожесть семян на 10–15 (20) %, а также в 2 раза снизить продолжительность прорастания живых семян [44]. Снегование и барботирование

увеличивают грунтовую всхожесть семян сосны обыкновенной и ели европейской на 20...28 %, а также заметно увеличивают энергию прорастания [45, 46].

Лучшими препаратами для предпосевного протравливания семян сосны и ели, включенными в «Государственный каталог пестицидов и агрохимикатов, разрешенных к применению на территории Российской Федерации», оказались следующие:

- Фундазол, Дезорал (6 г на 1 кг семян) [44, 45];
- Фундазол (4–6 г на 1 кг семян) [15, 36, 47];
- Винцит Форте (50 мл/л) [48];
- Винцит Форте + Циркон [49];
- Виал-ТТ (0,5 мл/кг) [50];
- Витарос (3 мл/кг) [50];
- Иншур Перформ (0,5 мл/кг) [50];
- Раксил (0,5 мл/кг) [50];
- ТМТД (4–6 г на 1 кг семян) [15, 47];
- Беномил (4–6 г на 1 кг семян) [15, 47].

Для предотвращения заболевания всходов фузариозом целесообразно протравливание семян путем намачивания их в 0,5%-м растворе перманганата калия в течение 2 ч [35]. Замачивание семян хвойных в растворах фунгицидов предпочтительнее, чем сухое протравливание [44, 45].

Одним из направлений повышения посевных качеств семян является обработка регуляторами роста растений. Согласно Н.А. Коновалову [51], предпосевная обработка семян хвойных биологически активными веществами позволяет увеличить их всхожесть в 4–5 раз. Однако стимуляторы могут не только повышать посевные качества семян, но и обеспечивать устойчивость всходов к неблагоприятным факторам [20, 52, 53]. Замачивание семян не требует больших усилий и является наиболее простым способом обработки [54]. Причем даже замачивание семян хвойных в обычной воде увеличивает энергию прорастания [55]. Чаще это предшествующая другим способам обработки семян процедура. На одну единицу семян по объему берут две–три части воды [15]. Замачивают семена в чистой воде в течение 18 ч при комнатной температуре [35].

Прорастание семян обусловлено представлением и соотношением абсцизовой кислоты (АБК) и гиббереллиновой кислоты (ГК) в них [56–59]. Обработка семян гиббереллинами способствует повышению всхожести семян сосны и ели на 15...35 % [60–64]. Согласно В.И. Мелехову, Н.А. Бабичу, О.П. Лебедевой, Т.В. Тюриковой, Н.Н. Васильевой [65], недостатком гиббереллина является высокая стоимость, неустойчивость и быстрое разрушение в кислой или щелочной среде. Авторами [65] предложено для замачивания семян на 24 ч использовать конденсат сушильного агента, образующегося при сушке древесных

сортиментов в сушильной камере. В этом случае абсолютная всхожесть семян (в процентах к контролю) превышает замачивание в растворе гиббереллина на 3...15 %, а энергия прорастания семян (в процентах к контролю) — на 6...22 % [65]. Влияют на прорастание семян следующие вещества:

- нафтенная кислота [66];
- этилен [67];
- водные растворы гибберелина, гетероауксина, янтарной и аспарагиновой кислот (в концентрации 0,01...0,001 %) [40];
- 0,5%-й раствор шавелевой кислоты [68];
- Экосил Плюс, Экосил Микс [48];
- Фитозонт [69]; Хитозан [68];
- Флорентинная еловая вода [70];
- Стимпо [71];
- Силиплант [49];
- Лариксин, Фитоспектр [72];
- СИЛК [73];
- Фитобактерин [74];
- Парааминобензойная кислота [36, 60, 75];
- ЭкоФус [76].

Однако в питомниках следует использовать препараты, стимулирующие рост растений, из перечня разрешенных на территории Российской Федерации. Перечень разрешенных к применению препаратов на территории РФ ежегодно обновляется [77]. Для стимуляции прорастания семян предложено 53 препарата, из них только Рибав-Экстра и Циркон рекомендуются для обработки семян и стимуляции роста хвойных. Остальные препараты разработаны для стимуляции прорастания семян сельскохозяйственных растений и плодово-ягодных культур. Проводятся исследования по подбору и установлению оптимальных концентраций препаратов из перечня для обработки семян хвойных растений (табл. 1).

Из 53 препаратов, рекомендованных для обработки семян, только по 14 препаратам проведены исследования их влияния на семена хвойных, 39 препаратов в этом аспекте не апробированы.

Эффективные концентрации по апробированным препаратам приведены в табл. 2.

Таким образом, сформирован перечень эффективных препаратов для обработки семян сосны обыкновенной: Агат-25К ($1 \cdot 10^{-2}$ %, $1 \cdot 10^{-3}$ %), Вэрва-ель (0,025 мл/10 мл), Крезацин (1 мл/3 л – 1 мл/5 л), Новосил (2 кап./1 л), ОбергЪ (7 кап./500 мл), Рибав-Экстра (1 мл/4 л – 1 мл/5 л), Циркон (1 мл/5 л – 1 мл/6 л), Экогель экстра (20 мл/л), Экопин (1 мл/3 л – 1 мл/5 л), Эмистим-С (2 мл/л), Эпин-Экстра ($1 \cdot 10^{-2}$ %); для ели: Гетероауксин (4 г/л), Гумат (0,01 %), Экогель экстра (30 мл/л). Согласно авторам работ [69, 83], Эпин-Экстра не оказывает положительного влияния на всхожесть семян сосны обыкновенной.

Регуляторы роста растений для обработки семян [77]

Plant growth regulators for seed treatment [77]

Препарат (класс опасности)	Действующее вещество	Литературный источник
Агростимулин (4)	2,6-диметилпиридин-N-оксид + продукты метаболизма симбионтного гриба <i>Cylindrocarpon magnusianum</i>	–
Витазим (3В)	1-триаконтанол + 24-эпибрассинолид	–
Фуrolан (3)	2-(1,3-диоксоланил-2)-фуран	–
Агат-25 Супер (4)	3-индолилуксусная кислота + α -аланин + α -глутаминовая кислота	[73, 78]
Стимулэйт (4)	6-фурфуриламинопурин + гиббереллиновая кислота А3 + + 4(индол-3ил) масляная кислота	–
Эпин-Экстра (3В)	24-эпибрассинолид	[21, 69, 79–83]
Эпивио Вигор (4)	28-гомобрассинолид + долихолид + брассинон	–
Эмистим (3В)	<i>Acremonium lichenicola</i> симбионтного гриба продукты метаболизма	[84]
Рибав-Экстра (4)	L-аланин + L-глутаминовая кислота	[21, 69, 83]
Цитодеф-100 (3)	N-(1,2,4-триазол-4-ил)-N'-фенилмочевины)	–
Рестарт (4)	<i>Rhodococcus erythropolis</i> штамм ОР1-01	–
ОберегЪ (3)	Арахидоновая кислота	[20]
Биодукс (4)	То же	–
Проросток (3В)	«←»	–
Гибберелон (3)	Гиббереллиновых кислот натриевые соли	–
Циркон (3В)	Гидроксикоричная кислота	[21, 49, 69, 71–73, 78, 81–83, 85–88]
Бигус (4)	Гуминовых кислот калиевые соли	–
ГуматАктив (3)	Гуминовых кислот калиевые соли + фульвокислоты	–
БиоЛарикс (3В)	Дитерпеновые спирты и углеводороды + дигидрокверцетин	–
ЭкоЛарикс (3В)	Дигидрокверцетин	–
АгроСтимул (3В)	То же	–
Лариксифол (3)	«←»	–
Имидор Про (3)	Имидаклоприд	–
Зеребра Агро (4)	Коллоидное серебро + полигексаметиленбигуанид гидрохлорид	–
Плантарел (3)	То же	–
Б-360 (4)	Липо-хитоолигосахариды	–
Экогель экстра (3)	То же	[20]
Мелафен (4)	Меламиновая соль бис (оксиметил) фосфиновой кислоты	–
Крезолан (4)	Ортокрезоксиуксусной кислоты триэтаноламмониевая соль	–
Крезацин (4)	То же	[21, 69, 73, 78, 89]
Крептон (3)	«←»	–
Мивал-Агро (4)	Ортокрезоксиуксусной кислоты триэтаноламмониевая соль + + 1-хлорметилсилатран	–
Энергия-М (3)	То же	–
Атоник Плюс (3В)	Пара-нитрофенолят натрия + орто-нитрофенолят натрия + 5-нитрогвая- колят натрия	–
Вигор Форте (4)	Ортокрезоксиуксусной кислоты триэтаноламмониевая соль + магний азотнокислый + калий азотнокислый + монокалийфосфат + хелат железа + хелат марганца + хелат цинка + хелат меди + кислота борная + + аммоний молибденовокислый	–
Карбонадо (3)	Поли-бета-гидроксимасляная кислота	–
Альбит (4)	Поли-бета-гидроксимасляная кислота + магний сернокислый + + калий фосфорнокислый + калий азотнокислый + карбамид	[72]
Экопин (4)	Поли-бета-гидроксимасляная кислота + магний сернокислый + + калий фосфорнокислый + калий азотнокислый + карбамид	[21, 69]
ВЛ 77 (4)	Полиэтиленоксиды + гуминовые кислоты натриевых солей	–
Нертус ПланетаПег (4)	Полиэтиленгликоль-1500 + полиэтиленгликоль-400 + + гуминовые кислоты (калиевые соли)	–
ЭкстраКор (4)	Проантоцианидины + параоксibenзойные кислоты + дигидрокверцетин	–
Артафит (3В)	Полидиаллилдиметиламмоний хлорид	–

Окончание табл. 1

Препарат (класс опасности)	Действующее вещество	Литературный источник
Матрица Роста	То же	–
Мицефит (4)	Продукты метаболизма эндофитного гриба <i>Mycelium radices</i> var. <i>Ledum</i> , штамм НЖ-13	–
Круйзер (2)	Тиаметоксам	–
Новосил (3В)	Тритерпеновые кислоты	[20]
Вэрва (3В)	То же	[90]
Альфастим (3В)	«→»	–
Биосил (3В)	«←»	–
Биотран (3)	Триэтаноламмониевая соль ортокрезоксиуксусной кислоты + хлорметилсилатран	–
Вэрва-ель (3В)	Флавоноиды ели	[90]
Янтарная кислота (3)	Янтарная кислота	[40, 60]
Биоагро-РР	<i>Pseudomonas fluorescens</i> 1-Б	–
Силацин (3)	Хлорметилсилатран	–

Т а б л и ц а 2

Эффективность препарата при повышении посевных качеств семян сосны обыкновенной (С) и ели европейской (Е)
The preparation efficiency in improving the sowing qualities of Scots pine (C) and Norway spruce (E) seeds

Препарат	Эффективная концентрация	Экспозиция, ч	Энергия прорастания (контроль), %	Всхожесть (контроль), %	Литературный источник
Эмистим-С	С, Е: 2 мл/л	10	–	С: 94, Е: 67	[84]
Эпин-Экстра	С: 0,001 %	12	74 (64)	81 (72)	[81]
	С: 0,0075...0,005 %	24	–	–	[80]
	С: $1 \cdot 5 \cdot 10^{-3}$	20	71 (67,8)	83 (78,3)	[91]
	С: $1 \cdot 10^{-2}$ %	20	86 (65)	93 (77)	[82]
	С: $1 \cdot 10^{-3}$ %	20	81 (65)	89(77)	[82]
	С: $1 \cdot 5 \cdot 10^{-3}$ %	20	76 (65)	91 (77)	[82]
	С: $5 \cdot 10^{-4}$ мл/мл	2	94 (92)	95 (95)	[83]
	С: $1 \cdot 3 \cdot 10^{-3}$ мл/л	20	69,3 (68)	82,3 (78,3)	[21]
	С: $1 \cdot 4 \cdot 10^{-3}$ мл/л	20	69 (68)	81 (78,3)	[21]
С: $1 \cdot 5 \cdot 10^{-3}$ мл/л	20	71 (68)	83 (78,3)	[21]	
Эпин-Экстра + стратификация	С: $5 \cdot 10^{-4}$ мл/мл	2	94 (93)	96 (96)	[83]
Циркон	С: 0,001 %	10	71 (64)	83 (72)	[81]
	С, Е: $1 \cdot 10^{-4}$	24	–	–	[77]
	С: $1 \cdot 10^{-2}$ %, $1 \cdot 10^{-4}$ %	18–20	–	9–13 % выше контроля	[73]
	С: $1 \cdot 10^{-3}$ %	–	–	98,8 (91,2)	[78]
	С: $1 \cdot 10^{-3}$ %	20	69 (65)	82 (77)	[82]
	С: $1 \cdot 5 \cdot 10^{-3}$ %	20	66 (65)	84 (77)	[82]
	С: $1 \cdot 3 \cdot 10^{-3}$ мл/л	20	69,1 (68)	86 (78,3)	[21]
	С: $1 \cdot 4 \cdot 10^{-3}$ мл/л	20	71 (68)	86 (78,3)	[21]
	С: $1 \cdot 5 \cdot 10^{-3}$ мл/л	20	72,1 (68)	90 (78,3)	[21]
	С: $1 \cdot 6 \cdot 10^{-3}$ мл/л	20	74,1 (68)	90,1 (78,3)	[21]
	С: $5 \cdot 10^{-4}$ мл/мл	2	95 (94)	96 (95)	[83]
	$1 \cdot 5 \cdot 10^{-3}$ – $1 \cdot 6 \cdot 10^{-3}$ мл/л	24	–	90	[69]
Циркон + стратификация	С: $5 \cdot 10^{-4}$ мл/мл	2	94 (93)	97 (96)	[83]
ОберегЪ	С: 7 кап./500 мл	0,5–1	–	31 % выше контроля	[20]
Экогель экстра	С: 20 мл/л; Е: 30 мл/л	24	–	22–25 % выше контроля	[20]

Окончание табл. 2

Препарат	Эффективная концентрация	Экспозиция, ч	Энергия прорастания (контроль), %	Всхожесть (контроль), %	Литературный источник
Новосил	С: 2 кап./1 л	0,5	–	14 % выше контроля	[20]
Гетероауксин	Е: 4 г/л (12 ч.)	–	–	20 % выше контроля	[20]
Вэрва	0,025 мл/10 мл	6	–	72 (67)	[90]
Вэрва-ель	0,025 мл/10 мл	6	–	77 (60)	[90]
Рибав-Экстра	Е: 1 мл/л С: 0,2 мл/л	18	–	–	[77]
	С: $5 \cdot 10^{-4}$ мл/мл	18	90 (94)	95 (95)	[83]
	С: $1 \cdot 3 \cdot 10^{-3}$ мл/мл	20	76 (68)	89 (78,3)	[21]
	С: $1 \cdot 4 \cdot 10^{-3}$ мл/мл	20	73,3 (68)	93 (78,3)	[21]
	С: $1 \cdot 5 \cdot 10^{-3}$ мл/мл	20	78 (68)	90,1 (78,3)	[21]
Рибав-Экстра + стратификация	$1 \cdot 4 \cdot 10^{-3} - 1 \cdot 5 \cdot 10^{-3}$ мл/мл	24	–	90–93	[69]
Агат-25К	С: $1 \cdot 10^{-2}$ %, $1 \cdot 10^{-3}$ %	18–20	–	12–16 % выше контроля	[73]
	С: $1 \cdot 10^{-2}$ %	–	–	100 (91,2)	[78]
Крезацин	С: $1 \cdot 10^{-2}$ %, $1 \cdot 10^{-3}$ %	18–20	–	11–13 % выше контроля	[73]
	С: $1 \cdot 10^{-3}$ %	–	–	98,3 (91,2)	[78]
	С: $1 \cdot 5 \cdot 10^{-3}$ %	20	83 (65)	90 (77)	[89]
	С: $1 \cdot 3 \cdot 10^{-3}$ мл/мл	20	89 (68)	99 (78,3)	[21]
	С: $1 \cdot 4 \cdot 10^{-3}$ мл/мл	20	91,3 (68)	97,4 (78,3)	[21]
	С: $1 \cdot 5 \cdot 10^{-3}$ мл/мл	20	87,3 (68)	96,1 (78,3)	[21]
	$1 \cdot 3 \cdot 10^{-3} - 1 \cdot 5 \cdot 10^{-3}$ мл/мл	24	–	91–96	[69]
Экопин	С: $1 \cdot 2 \cdot 10^{-3}$ мл/мл	20	71,3 (68)	84 (78,3)	[21]
	С: $1 \cdot 3 \cdot 10^{-3}$ мл/мл	20	78 (68)	91,2 (78,3)	[21]
	С: $1 \cdot 4 \cdot 10^{-3}$ мл/мл	20	80 (68)	96,4 (78,3)	[21]
	С: $1 \cdot 5 \cdot 10^{-3}$ мл/мл	20	76 (68)	92 (78,3)	[21]
	$1 \cdot 3 \cdot 10^{-3} - 1 \cdot 5 \cdot 10^{-3}$ мл/мл	24	–	91–96	[69]
Гумирал	С: 0,1 %	7–15 сут	97	95	[92]
Гумат (9,9 г/л)*	Е: 0,01 %	1	84 (67)	88 (71)	[93]
Гумат (9,9 г/л)	Е: 0,01 %	20	91 (67)	92 (71)	[93]
Гумат (3,2 г/л)	Е: 0,01 %	1	78 (67)	82 (71)	[93]
Гумат (3,2 г/л)*	Е: 0,01 %	20	90 (67)	91 (71)	[93]
Водный экстракт из листьев ивы козьей	5%-й водный экстракт	7–15 сут	80–83 (68)	80–85 (68)	[6]

Примечание: * содержание действующего вещества (д. в.).

Важно учитывать, что такие биопрепараты как Новосил, Вэрва, Биосил проявляют и защитное действие [94–96].

Обработка семян сосны обыкновенной растворами KMnO_4 ($1 \cdot 10^{-2}$), CuSO_4 ($1 \cdot 10^{-2}$) положительного влияния на всхожесть не оказала [78]. Однако согласно А.И. Новосельцевой, Н.А. Смирнову [40] и Е.М. Романову [97], повышение грунтовой всхожести семян и дальнейшей устойчивости сеянцев к неблагоприятным условиям внешней среды можно достичь путем замачивания семян в растворах: борной кислоты (в концентрациях по д. в. 0,002 %), сернокислой меди (в концентрациях по д. в. 0,05 %), молибдат аммония (в концентрациях по д. в. 0,05 %) со сроком намачивания 18 ч.

Из микроэлементов наиболее эффективным для предпосевной обработки семян всех пород является марганец Mn, для ели — медь Cu. Растворы борной кислоты и цинк Zn эффективны для сосны. Высокая эффективность предпосевной обработки семян хвойных пород растворами, содержащими бор, медь, марганец, цинк, наблюдается при 0,002...0,005%-й концентрации каждого микроэлемента, однако оптимальной является 0,005%-я концентрация [98]. Согласно Г.И. Редько, М.Д. Мерзленко, Н.А. Бабицу [15], для обработки семян ели европейской рекомендуется применять раствор сернокислой меди в концентрации 0,005...0,02 %, сернокислого кобальта — 0,01...0,05 %, сернокислого цинка — 0,04 %,

сернокислого марганца — 0,03 %; для обработки семян сосны обыкновенной — раствор сернокислой меди в концентрации 0,01 %, молибдат аммония — 0,01...0,05 %, борной кислоты — 3 %, сернокислого марганца — 3 %. Рекомендуемые концентрации препаратов: марганцовокислый калий ($KMnO_4$) — 50...200 мг/л, сернокислой меди ($CuSO_4$) — 100 мг/л, борной кислоты (H_3BO_3) — 200 мг/л, молибдата аммония ($(NH_4)_2MoO_4$) — 300...500 мг/л, сернокислого кобальта ($CoSO_4$) — 400 мг/л теплой воды [99].

Предпосевная обработка семян дражированием позволяет выровнять поверхность семени, обеспечить проросток на ранних стадиях развития необходимыми элементами минерального питания и защитить от вредителей и болезней [15, 100], так же, как и при обработке семян перед хранением методом инкрустации [15, 49]. Помимо применения микроэлементов, фунгицидов можно проводить дражирование семян микоризой [99]. На грунтовую всхожесть семян сосны и ели оказало влияние внесение в почву осадков сточных вод. В опыте по проращиванию семян превышение над контрольным вариантом составило 5 % по ели и 12 % по сосне. Оптимальные дозы внесения при соотношении массы почвы к массе внесенного осадка имеют вид: 300:1 и 60:1 [101].

На прорастание семян, развитие всходов и устойчивость к грибным болезням оказывает влияние обработка препаратами Гибберсиб, Гумат натрия, Циркон [85]. Замачивание семян в растворах гуминовых веществ также является перспективным. Гуминовые препараты имеют достаточное количество положительных аспектов: они увеличивают всхожесть, энергию прорастания, положительно влияют на развитие наземной части и корневой системы сеянцев [93, 102–104].

Многие специалисты лесных питомников отказываются от применения регуляторов роста из-за недоступности или сложности приготовления растворов [6]. Растительное сырье в виде древесной зелени, сорняков является доступным и дешевым. Стимулирующее воздействие на прорастание и повышение устойчивости формирующихся растений к неблагоприятным факторам оказывают следующие экстракты растительного сырья:

- соломы овса [105];
- багульника, брусники, толокнянки, водяники черной, ольхи кустарниковой [106];
- отходов овощеводческих и цветочных хозяйств [107];
- корней и отпада сосны китайской [108];
- корней и ветвей березы плосколистной [109];
- древесной зелени пихты, можжевельника [21, 90, 110–112];
- листьев ивы козьей [6];
- отходов лесозаготовок [70].

Такой перечень разного растительного сырья, оказывающего стимулирующее воздействие на прорастание семян хвойных, позволяет предположить, что экстракты зелени любых растений, в том числе и сорняков, заготовленные в начале вегетационного периода, окажут схожий эффект.

К физическим методам повышения посевных качеств семян хвойных относятся следующие:

- обработка низкочастотным электромагнитным полем (повышается всхожесть на 28...30 %) [113];
- активированной плазмой (на 11...22 %) [45, 114];
- ультрафиолетовым облучением (на 11 %) [19, 115];
- рентгеновскими лучами [116];
- ультразвуком (на 7 %) [117].

Согласно Г.И. Редько, М.Д. Мерзленко, Н.А. Бабич [15], обработку семян ультразвуковыми и звуковыми волнами проводят в воде пьезокварцевыми ультразвуковыми генераторами с частотой колебаний от 20 до 1000 кГц и звуковыми генераторами (вибраторами) с частотой колебаний от 0 до 20 кГц. Мощность обработки дозируется в пределах 1...3 Вт/см², продолжительность составляет 5...10 мин.

Выводы

Широкий спектр методов и способов повышения посевных качеств семян хвойных, в том числе химических, биологических и физических позволяет достигать равной эффективности, поэтому дальнейший выбор того или иного из них обусловлен доступностью препаратов и приборов, предназначенных для этой цели.

Работа проведена по результатам исследований, выполненных в рамках государственного задания ФБУ «СевНИИЛХ» на проведение прикладных научных исследований. Регистрационный номер темы: 122020100292-5.

Список литературы

- [1] Мочалов Б.А., Бобушкина С.В. Лесокультурное производство — основа непрерывности лесопользования // ИзВУЗ Лесной журнал, 2021. № 4. С. 80–96.
- [2] Стратегия развития лесного комплекса РФ до 2030 г.: утверждена Распоряжением правительства Российской Федерации от 20 сентября 2018 года № 1989-р. URL: <http://static.government.ru/media/files/cA4eYSe0MObgNpm5hSavTdlxID77KCTL.pdf> (дата обращения 03.03.2022).
- [3] Паспорт национального проекта «Экология»: утвержден президиумом Совета при Президенте Российской Федерации по стратегическому развитию и национальным проектам, протокол от 24.12.2018 г. № 16. URL: <https://legalacts.ru/doc/pasport-natsionalnogo-proekta-ekologija-utv-prezidiumom-soveta-pri-prezidente/> (дата обращения 05.03.2022).

- [4] Об утверждении Правил лесовосстановления, состава проекта лесовосстановления, порядка разработки проекта лесовосстановления и внесения в него изменений: утверждены Приказом Минприроды России от 04.12.2020 г. № 1014. URL: <https://docs.cntd.ru/document/573123762> (дата обращения 03.03.2022).
- [5] Свиридов Л.Т., Голев А.Д., Голева Г.Г., Тарасова Е.В. Эффективность применения безрешетной технологии по предпосевной обработке семян сосны обыкновенной и выращиванию сеянцев в питомнике // Лесотехнический журнал, 2014. № 3. С. 40–47.
- [6] Егорова А.В. Влияние экстрактов из древесной зелени и водопроводного осадка в качестве компонента субстрата на всхожесть семян и рост сеянцев сосны обыкновенной: дис. ... канд. с.-х. наук. Петрозаводск, 2019. 125 с.
- [7] Санников С.Н., Петрова И.В., Санникова Н.С., Афонин А.Н., Чернодубов А.И., Егоров Е.В. Генетико-климатолого-географические принципы семенного районирования сосновых лесов России // Сибирский лесной журнал, 2017. № 2. С. 19–30.
- [8] Пентелькина Н.В., Смирнов А.И. Возможность использования электромагнитного поля для повышения качества семян ели и сосны, подвергнутых длительному хранению // Новое слово в науке и практике: гипотеза и апробация результатов исследований. Сб. материалов III Междунар. науч.-практ. конф., Новосибирск, 1 марта 2013 г. / под общ. ред. С.С. Чернова. Новосибирск: Сибпринт, 2013. С. 120–127.
- [9] Смирнов А.И., Орлов Ф.С., Пентелькина Н.В. Использование низкочастотных электромагнитных полей для повышения посевных и фитосанитарных качеств семян хвойных пород // Актуальные проблемы лесного комплекса, 2013. Вып. 35. С. 79–86.
- [10] Данилов Д.Н. Периодичность плодоношения и географическое размещение урожаев семян хвойных пород. М.; Л.: Гослесбуиздат, 1952. 142 с.
- [11] Крамер П.Д., Козловский Т.Т. Физиология древесных растений. М.: Лесная пром-сть, 1983. С. 413.
- [12] Холявко В.С., Глоба-Михайленко Д.А. Дендрология и основы зеленого строительства. М.: Агропромиздат, 1988. 287 с.
- [13] Орехова Т.П. Создание долговременного банка семян древесных видов – реальный способ сохранения их генофонда // Хвойные бореальной зоны, 2010. Т. 27. № 1 (2). С. 25–31.
- [14] Пентелькина Н.В. Применение регулятора роста Циркон при выращивании посадочного материала ценных древесных пород // Циркон — природный регулятор роста. Применение в сельском хозяйстве. М.: НЭСТ М, 2010. С. 330–340.
- [15] Редько Г.И., Мерзленко М.Д., Бабич Н.А. Лесные культуры. СПб: Изд-во ГЛТА, 2005. 556 с.
- [16] Смирнов С.Д. Опыт лесного семеноводства и селекции // Обзорная информация ЦБНТИ Госкомлеса. М.: Изд-во ЦБНТИ лесного хозяйства, 1974. С. 20.
- [17] Указания по лесному семеноводству в Российской Федерации: утверждены Рослесхозом от 11.01.2000 г. М.: Изд-во ВНИИЛесресурс, 2000. 199 с.
- [18] Gui Z.B., Qiao L.M. Results of wood seeds treatment with electrostatic field for aerial seeding at Baoji mountain area of Shaanxi // J. Zhejiang Forestry Science and Technology, 1997, v. 17, pp. 24–27.
- [19] Украинцев В.С., Корепанов Д.А., Кондратьева Н.П., Бывальцев А.В. Влияние ультрафиолетового облучения на повышение посевных качеств семян хвойных пород // Вестник Удмурдского университета, 2011. Вып. 1. С. 132–137.
- [20] Кириенко М.А., Гончарова И.А. Влияние концентрации стимуляторов роста на грунтовую всхожесть семян и сохранность сеянцев главных лесообразующих видов Средней Сибири // Сибирский лесной журнал, 2016. № 1. С. 39–45.
- [21] Острошенко В.Ю. Эффективность применения стимуляторов роста при выращивании посадочного материала хвойных древесных пород в Приморском крае: дис. ... канд. с.-х. наук. по спец. 06.03.01 Лесные культуры, селекция, семеноводство. Усурийск, 2021. 281 с.
- [22] Войчалъ П.И. Опытные культуры сосны из сортированных семян // ИзВУЗ Лесной журнал, 1961. № 6. С. 27–30.
- [23] Arnold P.C., Roberts A.W. Stress distributions in loaded wheat drains // Adric. Engng. Res., 1966, no. 2 (1), v. 38, pp. 17–21.
- [24] Скрынников Б.М. Технологический процесс очистки и сортировки семян воздушным потоком // ИзВУЗ Лесной журнал, 1985. № 6. С. 26–30.
- [25] Смирнов Н.А., Казаков В.И. Рекомендации по технологии и комплексу машин для выращивания укрупненного посадочного материала ели европейской без перешколкивания. Пушкино: Изд-во ВНИИЛМ, 1991. 22 с.
- [26] Винокуров В.Н., Силаев Г.В., Казаков В.И. Механизация лесного и лесопаркового хозяйства. М.: Лесн. пром-сть, 2006. 432 с.
- [27] Родин С.А., Проказин Н.Е. Технологическое обеспечение работ по лесовосстановлению. Пушкино: Изд-во ВНИИЛМ, 2012. 212 с.
- [28] Казаков В.И., Проказин Н.Е., Лобанова Е.Н., Казаков И.В. Влияние сортировки семян хвойных пород на посевные качества // Лесотехнический журнал, 2016. № 3. С. 161–167.
- [29] Жигунов А.В., Соколов А.И., Харитонов В.А. Выращивание посадочного материала с закрытой корневой системой в Устьянском тепличном комплексе. Практические рекомендации. Петрозаводск: Изд-во Карельского научного центра РАН, 2016. 43 с.
- [30] Бабич Н.А., Дрочкова А.А., Комарова А.М., Лебедева О.П., Андропова М.М. Вариативность массовых характеристик семян *Pinus sylvestris* L. в таежной зоне // ИзВУЗ Лесной журнал, 2019. № 2. С. 141–147. DOI: 10.17238/issn0536-1036.2019.2.141
- [31] Деева В.П. Использование новых регуляторов роста при выращивании посадочного материала хвойных пород деревьев // Лесное и охотничье хозяйство, 2007. № 8. С. 17–21.
- [32] Тулик П.В. Повышение качества семян хвойных интродуцентов методом флотации // Проблемы лесоведения и лесоводства: сб. науч. тр., 2008. Вып. 68. С. 290–298.
- [33] Тулик П.В. Способ повышения качества семян хвойных интродуцентов с применением регуляторов роста // Труды БГТУ. Сер. 1. Лесное хозяйство, 2010. Вып. 18. С. 218–221.
- [34] Himanen K., Nygren M. Seed soak-sorting prior to sowing affects the size and quality of 1.5-year-old containerized *Picea abies* seedlings // Silva Fennica, 2015, v. 49, no. 3, 15 p. DOI: 10.14214/sf.1056
- [35] Листов А.А. Мероприятия по ускоренному лесовозобновлению в сосняках лишайниковых Европейского Северо-Востока СССР. Архангельск: Изд-во АИЛИЛХ, 1982. 39 с.
- [36] Родин А.Р., Калашникова Е.А., Родин С.А., Силаев Г.В. Лесные культуры. М.: Изд-во Федерального агентства лесного хозяйства, 2009. 462 с.
- [37] Ковылина О.П. Новые технологии выращивания посадочного материала. Красноярск: Изд-во СибГУ им. М.Ф. Решетнова, 2017. 61 с.

- [38] Байтулин И.О. Создание лесного питомника и технология выращивания посадочного материала. Костанай: Костанайполиграфия, 2009. 48 с.
- [39] Маркова И.А., Жигунов А.В. Лесные культуры: агротехника выращивания посадочного материала в лесных питомниках. СПб.: СИНЭЛ; СПбГЛТА, 2021. 134 с.
- [40] Новосельцева А.И., Смирнов Н.А. Справочник по лесным питомникам. М.: Лесная пром-сть, 1983. 280 с.
- [41] Родин А.Р., Попова Н.Я., Шульгин Н.И., Хренов Л.С. Рекомендации по выращиванию сосны и ели в открытом грунте в зоне смешанных лесов. М.: Изд-во Минлесхоза РСФСР, 1989. 32 с.
- [42] Волкович А.П., Носников В.В. Интенсивные технологии выращивания посадочного материала и лесовосстановления: тексты лекций. Минск: Изд-во БГТУ, 2015. 74 с.
- [43] Справочник по лесосеменному делу / под ред. А.И. Новосельцевой. М.: Лесная пром-сть, 1978. 336 с.
- [44] Маркова И.А., Жигунов А.В. Лесные культуры. Агротехника выращивания посадочного материала в лесных питомниках таежной зоны. СПб.: Изд-во СПбГЛТА, 2007. 88 с.
- [45] Жигунов А.В. Теория и практика выращивания посадочного материала с закрытой корневой системой. СПб.: Изд-во СПбНИИЛ, 2000. 294 с.
- [46] Wagner R.G., Colombo S.J. Regenerating the Canadian Forest. Principles and Practice for Ontario / Ed. R.G. Wagner. Published by Fitzhenry and Whiteside Limited. Markham, Ontario, Canada in Corporation with Ontario Ministry and Natural Resources, 2001, 658 p.
- [47] Кузнецова О.Н. Питательная смесь для производства саженцев хвойных пород // Лесное хозяйство, 2010. № 1. С. 46–47.
- [48] Машкин И.А., Корытько Л.А., Шуканов В.П. Влияние защитно-стимулирующих препаратов на болезнестойчивость и качественные характеристики семян ели (*Picea abies*) с закрытой корневой системой // Труды БГТУ, 2020. № 2. С. 109–119.
- [49] Пентелькина Н.В. Защита семян ели от инфекционного полегания путем обработки семян протравителями и регуляторами роста перед закладкой на хранение // Труды Санкт-Петербургского научно-исследовательского института лесного хозяйства, 2013. № 2. С. 62–67.
- [50] Ярмолович В.А., Дишук Н.Г., Асмоловский М.К., Семенова В.Ю. Биологическая эффективность новых препаратов для предпосевной обработки семян в защите семян от инфекционного полегания // Труды БГТУ, 2013. № 1. С. 262–265.
- [51] Коновалов Н.А. Опыт предпосевной обработки семян лиственницы Сукачевы // ИзВУЗ Лесной журнал, 1961. № 4. С. 162–164.
- [52] Ларионова Н.А. Применение гормональных веществ для улучшения качества семян и роста семян хвойных пород в Красноярском крае // Лесное хозяйство, 1997. № 6. С. 28–30.
- [53] Пентелькин С.К., Пентелькина Н.В. Крезацин для лесных питомников // Лесное хозяйство, 2000. № 2. С. 29–31.
- [54] Галдина Т.Е., Харьков В.А. Оценка влияния биостимуляторов на состояние и качество семян сосны обыкновенной (*Pinus silvestris* L.) // IV Междунар. студ. электрон. науч. конф. «Студенческий научный форум», Москва, 15 февраля — 31 марта 2012 года. URL: <https://scienceforum.ru/2012/article/2012000558> (дата обращения 05.03.2022).
- [55] Himanen K., Lilja A., Poimala née Rytkönen A., Nygren M. Soaking effects on seed germination and fungal infection in *Picea abies* // Scandinavian Journal of Forest Research, 2013, no. 28, pp. 1–7.
- [56] Brady S.M., McCourt P. Hormone Cross-Talk in Seed Dormancy // J. Plant Growth Regul., 2003, v. 22, pp. 25–31.
- [57] Обручева Н.В. Переход от гормональной к негормональной регуляции на примере выхода семян из покоя и запуска прорастания // Физиология растений, 2012. Т. 59. № 4. С. 591–600.
- [58] Miransari M., Smith D.L. Plant hormones and seed germination // Environmental and Experimental Botany, 2014, v. 99, pp. 110–121.
- [59] Vaistija F.E., Barros-Galvão T., Colea A.F., Gildaya A.D., Hea Z., Lia Y., Harveya D., Larsona T.R., Grahama I.A. MOTHER-OF-FT-AND-TFL1 represses seed germination under far-red light by modulating phytohormone responses in *Arabidopsis thaliana* // PNAS, 2018, v. 115, pp. 8442–8447.
- [60] Романов Е.М. Выращивание семян древесных растений: биоэкологические и агротехнические аспекты. Йошкар-Ола: МарГТУ, 2000. 500 с.
- [61] Feurtado J.A., Yang J., Ambrose S.J., Cutler A.J., Abrams S.R., Kermode A.R. Disrupting abscisic acid homeostasis in western white pine (*Pinus monticola* Dougl. Ex D. Don) seeds induces dormancy termination and changes in abscisic acid catabolites // J. Plant Growth Regul., 2007, v. 26, pp. 46–54.
- [62] Zhang Y., Lu S., Gao H. Effects of Stratification and Hormone Treatments on Germination and PhysioBiochemical Properties of *Taxus chinensis* var. *mairei* Seed // American J. of Plant Sciences, 2012, v. 3, pp. 829–835.
- [63] Zhao G., Jiang X. Roles of Gibberellin and Auxin in Promoting Seed Germination and Seedling Vigor in *Pinus massoniana* // For. Sci., 2014, v. 60 (2), pp. 367–373.
- [64] Mugloo J.A., Mir N.A., Khan P.A., Parray G.N., Kaiser K.N. Effect of Different Pre-Sowing Treatments on Seed Germination of Spruce (*Picea smithiana* Wall. Boiss) Seeds under Temperate Conditions of Kashmir Himalayas, India // Int. J. Curr. Microbiol. App.Sci., 2017, v. 6 (11), pp. 3603–3612.
- [65] Мелехов В.И., Бабич Н.А., Лебедева О.П., Тюрикова Т.В., Васильева Н.Н. Средство для предпосевной обработки семян хвойных пород. Патент RU 2 680 700 C1, 2019. 4 с.
- [66] Wort D.J., Severson J.G., Peirson D.R. Mechanism of Plant Growth Stimulation by Naphthenic Acid // Plant Physiol., 1973, no. 5, pp. 162–165.
- [67] Borno C., Taylor I.E. The effect of high concentration of ethylene on seed germination of Douglas fir (*Pseudotsugamenziesii* (Mirb) // Can. J. of Forest Research, 1975, no. 5 (3), pp. 419–423.
- [68] Sohtys A., Studnicki M., Zawadzki G., Aleksandro-wicz-Trzcińska M. The effects of salicylic acid, oxalic acid and chitosan on damping-off control and growth in Scots pine in a forest nursery // i Forest Biogeosciences and Forestry. 2020, v. 13, pp. 441–446.
- [69] Гриднев А.Н. Научные основы выращивания посадочного материала в условиях Дальнего Востока. Уссурийск: Изд-во Приморской ГСХА, 2020. 271 с.
- [70] Тагильцев Ю.Г., Орлов А.М., Гуль Л.П., Колесникова Р.Д. Использование биологически активных веществ из отходов лесозаготовок для лесовосстановления // Инновации и технологии в лесном хозяйстве. Материалы II Междунар. науч.-практ. конф. Часть 2. Санкт-Петербург, 06–07 февраля 2012 г. СПб: Изд-во Санкт-Петербургского научно-исследовательского института лесного хозяйства, 2012. С. 194–196.
- [71] Frolenkova M.S., Volkovich A.P. Influence of preseedling treatment of seeds of Scots pine and Norway spruce on their viability and energy of germination // Proceedings of BSTU, 2016, no. 1, pp. 80–83.

- [72] Кабанова С.А., Данченко М.А., Борцов В.А., Кочерганов И.С. Результаты предпосевной обработки семян сосны обыкновенной стимуляторами роста // Лесотехнический журнал, 2017. № 2. С. 75–83.
- [73] Пентелькина Ю.С. Влияние стимуляторов на всхожесть семян и рост сеянцев хвойных видов: автореф. дис. ... канд. с.-х. наук. Москва, 2003. 28 с.
- [74] Adilbayeva Z., Maisupova B., Abayeva K., Utebekova A., Akhmetov R. The Effect of Stimulants on the Seed Germination and Growth of Schrenk's Spruce Seedlings // OnLineJ.ofBiologicalSciences, 2021, v.21(2), pp.354–364. DOI: 10.3844/ojbsci.2021.354.364
- [75] Алиев Э.В., Сиволапов А.И. Влияние предпосевной обработки семян на всхожесть и рост сеянцев сосны обыкновенной ростовыми веществами // Современные проблемы науки и образования, 2013. № 4. С. 36.
- [76] Бессчетнова Н.Н., Бессчетнов В.П., Храмова О.Ю., Дорожкина Л.А. Стимулирующий эффект препарата ЭкоФус в предпосевной обработке семян ели европейской (*Picea abies* (L.) Н. Karst.) // Агрехимический вестник, 2017. № 2. С. 41–44.
- [77] Государственный каталог пестицидов и агрохимикатов, разрешенных к применению на территории Российской Федерации (на 27 января 2022 г.). Ч. 1. Пестициды. М.: Изд-во Министерства сельского хозяйства Российской Федерации, 2022. 839 с.
- [78] Пентелькин С.К., Пентелькина Н.В., Острошенко В.В., Острошенко Л.Ю. Влияние стимуляторов на грунтовую всхожесть семян дальневосточных хвойных древесных пород // Актуальные проблемы лесного комплекса, 2004. № 9. С. 39–42.
- [79] Пентелькина Н.В., Острошенко Л.Ю. Выращивание сеянцев хвойных пород в условиях Севера и Дальнего Востока с использованием стимуляторов роста // Актуальные проблемы лесного комплекса, 2005. № 10. С. 125–129.
- [80] Усов В.Н., Попков Б.В. Влияние стимулятора роста «Эпин» на прорастание семян и рост сеянцев сосны густоцветковой и Банка // К 50-летию кафедры лесоводства Института лесного и лесопаркового хозяйства ВГОУ ВПО «Приморская ГСХА». Юбилейный сб. науч. тр. Усурийск: Изд-во ПГСХА, 2010. С. 180–185.
- [81] Остробородова Н.И., Уланова О.И. Влияние регулятора роста на биологические свойства сосны обыкновенной // XXI век: итоги прошлого и проблемы настоящего плюс, 2014. № 1 (17). С. 33–37.
- [82] Острошенко В.В., Острошенко Л.Ю., Ключников Д.А., Острошенко В.Ю., Чекушкина Т.И. Влияние стимуляторов роста на энергию прорастания и лабораторную всхожесть семян сосны обыкновенной (*Pinus sylvestris* L.) // Изв. Самарского НЦ РАН, 2015. Т. 17. № 6. С. 242–248.
- [83] Гапонько Е.А., Каницкая Л.В. Оценка влияния стимуляторов на энергию прорастания и всхожесть семян сосны обыкновенной (*Pinus sylvestris*) // Успехи современного естествознания, 2018. № 8. С. 46–51.
- [84] Носников В.В., Волкович А.П., Юреня А.В., Ярмлович В.А. Эффективность предпосевной обработки семян сосны и ели препаратом Эмистим-С // Труды БГТУ, 2014. № 1. С. 150–153.
- [85] Кавоси М.Р. Результаты изучения влияния современных биологических препаратов на прорастание семян и развитие всходов сосны и ели // Вестник МГУЛ – Лесной вестник, 2006. № 2. С. 161–166.
- [86] Пентелькина Н.В. Проблемы выращивания посадочного материала в лесных питомниках и пути их решения // Актуальные проблемы лесного комплекса, 2012. № 31. С. 189–193.
- [87] Проказин Н.Е., Лобанова Е.Н., Пентелькина Н.В., Казаков В.И., Иванюшева Г.И., Сахнов В.В., Чукарина А.В., Багаев С.С. Влияние биостимуляторов и микроудобрений на рост сеянцев хвойных пород // Лесохозяйственная информация, 2013. № 2. С. 9–15.
- [88] Проказин Н.Е., Лобанова Е.Н., Пентелькина Н.В., Иванюшева Г.И., Сахнов В.В., Петров В.А., Чукарина А.В., Багаев С.С. Выращивание посадочного материала хвойных пород с использованием ростовых стимуляторов // Лесохозяйственная информация, 2015. № 1. С. 50–56.
- [89] Острошенко В.В., Острошенко Л.Ю., Острошенко В.Ю. Применение стимулятора роста «Крезацин» при выращивании сеянцев рода Пихта (*Abies*) // Вестник КрасГАУ, 2015. № 5. С. 184–189.
- [90] Андреева Е.М., Степенко С.К., Кучин А.В., Терехов Г.Г., Хуршкainen Т.В. Влияние стимуляторов роста природного происхождения на проростки хвойных пород // Лесотехнический журнал, 2016. № 3. С. 10–19.
- [91] Острошенко В.Ю. Влияние стимулятора роста «Эпин-Экстра» на энергию прорастания и лабораторную всхожесть семян сосны обыкновенной (*Pinus sylvestris* L.) // Вестник КрасГАУ, 2017. № 11. С. 208–218.
- [92] Сахнов В.В. Особенности развития сеянцев сосны обыкновенной (*Pinus sylvestris* L.) и лиственницы Сукачева (*Larix sukaczewii* Dyl.) при использовании препарата «Гумирал» в лесных питомниках Среднего Поволжья: автореф. дис. ... канд. биол. наук. 03.00.16 «Экология». Уфа, 2007. 17 с.
- [93] Митрофанов С.В., Гапеева Н.Н., Мочалова Е.Н. Влияние гуминовых удобрений на посевные качества Ели европейской // Экологически устойчивое земледелие: состояние, проблемы и пути их решения. Матер. Всерос. науч.-практ. конф. с междунар. участием. ВНИИОУ – филиал ФГБНУ «Верхневолжский ФАНЦ», 22–24 июня 2018 г. Иваново: ПресСто, 2018. С. 177–181.
- [94] Хуршкainen Т.В. Выделение и исследование кислых компонентов липидов древесной зелени пихты (*Abies sibirica*) и ели (*Picea sibirica*): автореф. дис. ... канд. хим. наук: 02.00.10. Сыктывкар, 2004. 24 с.
- [95] Хуршкainen Т.В., Кучин А.В. Лесохимия для инноваций в сельском хозяйстве // Изв. Коми НЦ УрО РАН, 2011. Вып. 1(5). С. 17–23.
- [96] Чукичева И.Ю., Хуршкainen Т.В., Кучин А.В. Природные регуляторы роста растений из хвойного сырья // Инноватика и экспертиза: науч. тр., 2018. № 3 (24). С. 93–99.
- [97] Романов Е.М. Интенсификация выращивания посадочного материала ели и сосны. Практические рекомендации. Йошкар-Ола: Изд-во Министерства лесного хозяйства Марийской АССР, 1978. 25 с.
- [98] Братилова Н.П., Матвеева Р.Н., Щерба Ю.Е., Кичильдеев А.Г. Выращивание селекционного посадочного материала. Красноярск: Изд-во СибГАУ, 2016. 66 с.
- [99] Маркова И.А. Современные проблемы лесовыращивания (лесокультурное производство). СПб.: Изд-во СПбГЛТА, 2008. 152 с.
- [100] Острошенко В.В., Острошенко А.Ю., Акимов Р.Ю., Пак А.В. Нормирование работ по дражированию семян хвойных древесных пород // Вестник КрасГАУ, 2013. № 3. С. 139–142.
- [101] Кураев В.Н., Мартынюк А.А. Использование органических отходов в лесном хозяйстве. Пушкино: Изд-во ВНИИЛМ, 2012. 126 с.
- [102] Устинова Т.С. Влияние препарата Гумат+7 на рост сеянцев ели европейской // Актуальные проблемы лесного комплекса, 2009. № 22. С. 146–148.

- [103] Устинова Т.С., Зуров Р.Н. Влияние препарата Гумат+7 на ростовые процессы хвойных пород // Актуальные проблемы лесного комплекса, 2010. № 26. С. 115–118.
- [104] Немков П.С., Грехова И.В. Влияние гуминового препарата на семена хвойных пород // Теоретическая и прикладная экология, 2015. № 1. С. 96–99.
- [105] Митрофанов Р.Ю., Кочеткова Т.В., Золотухин В.Н., Будаева В.В. Росторегулирующие свойства экстракта соломы овса // Новые достижения в химии и химической технологии растительного сырья: Матер. III Всерос. конф., Барнаул, 23–27 апреля 2007 г. Барнаул: Изд-во Алт. ун-та, 2007. Кн. 3. С. 229–232.
- [106] Зайцева Н.В. Способ предпосевной обработки семян для повышения их устойчивости к ультрафиолетовому облучению. Патент RU 2 618 325 C2, 2017. 10 с.
- [107] Яковенко Е.Я. Способ получения натурального регулятора роста растений. Патент RU 2 109 446 C1, 1998. 6 с.
- [108] Meiqiu Z.H.U., Changming M.A., Wang Y., Zhang L., Wang H., Yoan Y., Du K. Effect of extracts of Chinese pine on its own seed germination and seedling growth // Front. Agric. China, 2009, pp. 353–358.
- [109] Liu Z.L., Wang Q.C., Hao L.F. Interspecific allelopathic effect of different organs' aqueous extracts of *Betula platyphylla* and *Larix olgensis* on their seed germination and seedling growth // The J. of Applied Ecology, 2011, v. 22, pp. 3138–3144.
- [110] Кирсанова Е.В., Цуканова З.Р., Мусалатова Н.Н. О перспективах предпосевной обработки регуляторами роста семян яровой пшеницы в Орловской области // Вестник ОрелГАУ, 2008. № 3. С. 21–23.
- [111] Панюшкина Н.В., Карасев В.Н., Карасева М.А., Бродников С.Н. Способ стимуляции скорости прорастания семян сосны обыкновенной. Патент RU 2 569 017 C1, 2015. 5 с.
- [112] Хуршайнен Т.В., Терентьев В.И., Скрипова Н.Н., Никонова Н.Н., Королева А.А. Химический состав отходов переработки хвойного сырья // Химия растительного сырья, 2019. № 1. С. 233–239.
- [113] Смирнов А.И., Орлов Ф.С., Дроздов И.И. Влияние низкочастотного электромагнитного поля на прорастание семян и рост сеянцев сосны обыкновенной и ели европейской // ИзВУЗ Лесной журнал, 2015. № 3 (345). С. 53–58.
- [114] Гаврилова О.И., Гостев К.В., Гостев В.А., Журавлева М.В., Румянцева М.А. Исследование влияния предпосевной обработки семян древесных пород водой, активированной плазмой // Инженерный Вестник Дона, 2016. № 4. С. 1–6.
- [115] Краснолуцкая М.Г. Повышение эффективности ультрафиолетовой светодиодной облучательной установки для предпосевной обработки семян ели: автореф. дис. ... канд. техн. наук. Чебоксары, 2018. 20 с.
- [116] Матвеева Р.Н., Буторова О.Ф. Ускоренное выращивание сеянцев и культур кедров сибирского в Восточной Сибири. Красноярск: Изд-во СибГТУ, 2001. 254 с.
- [117] Гульбинене Н.П. Влияние ультразвука и стимуляторов роста на всхожесть семян и рост сеянцев и саженцев ели обыкновенной (*Picea abies* (L.) Karsten.): автореф. дис. ... канд. с.-х. наук. Минск, 1983. 21 с.

Сведения об авторах

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

Демина Надежда Александровна — канд. с.-х. наук, ст. науч. сотр. ФБУ «СевНИИЛХ», monitoringlesov@sevniilh-arh.ru

Поступила в редакцию 10.06.2022.

Одобрено после рецензирования 20.09.2022.

Принята к публикации 26.09.2022.

PRACTICE OF IMPROVING SCOTS PINE (*PINUS SYLVESTRIS* L.) SEEDS AND EUROPEAN SPRUCE (*PICEA ABIES* L.) PROGENY

O.N. Tyukavina^{1, 2✉}, N.A. Demina¹

¹Northern Research Institute of Forestry, 13, Nikitova st., 163062, Arkhagelsk, Russia

²Northern (Arctic) Federal University named after M.V. Lomonosov, 17, Naberezhnaya Severnoy Dviny, 163002, Arkhangel'sk, Russia

o.tukavina@narfu.ru

The article notes that the efficiency of reforestation in the Russian Federation is insufficient, the main problems are shortage and high cost of planting material. Techniques for presowing treatment of seeds in order to increase germination energy and germination of seeds are analyzed. A review of literature sources has been conducted to assess the application effectiveness of plant growth regulators in soaking seeds in order to increase their progeny and increase the resistance of seedlings to adverse factors. Soaking seeds does not require much effort and is the easiest way to treat seeds. A review of preparations (plant growth regulators) for seed processing from the «State Catalog of Pesticides and Agrochemicals» showed that mainly preparations are designed to stimulate the germination of seeds of agricultural plants, fruit and berry crops. Research is actively conducted to find effective preparations and their optimal concentrations for the treatment of coniferous seeds. Based on the review of research, a list of effective preparations for the treatment of Scots pine seeds has been established. Along with ready-made preparations of active substances, a promising way to influence the germination of seeds and increase the resistance of emerging plants to adverse factors may be plant raw materials in the form of wood wastes, parts of shrubs and trees, fall, herbaceous vegetation, including weeds, etc. A review of chemical, biological, physiological methods for improving seed quality showed that they can all be effective. The main principle of choosing the method of treating seeds should be the availability, economic feasibility and high efficiency of the preparation and devices.

Keywords: pine and spruce seeds, pre-sowing treatment, germination energy, germination, growth regulator, plant raw materials, effective concentration of the preparation

Suggested citation: Tyukavina O.N., Demina N.A. *Praktika povysheniya posevnykh kachestv semyan sosny obyknovennoy (Pinus sylvestris L.) i eli evropeyskoy (Picea abies L.)* [Practice of improving Scots pine (*Pinus sylvestris* L.) seeds and European spruce (*Picea abies* L.) progeny]. *Lesnoy vestnik / Forestry Bulletin*, 2022, vol. 26, no. 6, pp. 75–91. DOI: 10.18698/2542-1468-2022-6-75-91

References

- [1] Mochalov B.A., Bobushkina S.V. *Lesokol'urnoe proizvodstvo — osnova nepreryvnosti lesopol'zovaniya* [Forestry production is the basis for the continuity of forest management]. *Lesnoy Zhurnal (Russian Forestry Journal)*, 2021, no. 4, pp. 80–96.
- [2] *Strategiya razvitiya lesnogo kompleksa RF do 2030 g.: Utv. Rasporyazheniem pravitel'stva RF ot 20 sentyabrya 2018 g. № 1989-r.* [Strategy for the development of the forest complex of the Russian Federation until 2030: Approved Order of the Government of the Russian Federation of September 20, 2018 No. 1989-r]. Available at: <http://static.government.ru/media/files/cA4eYSe0MObgNpm5hSavTdlxID77KCTL.pdf> (accessed 03.03.2022).
- [3] *Pasport natsional'nogo proekta «Ekologiya»: Utv. prezidiumom Soveta pri Prezidente RF po strategicheskomu razvitiyu i natsional'nym proektam, protokol ot 24.12.2018 № 16* [Passport of the national project «Ecology»: Approved Presidium of the Council under the President of the Russian Federation for Strategic Development and National Projects, protocol dated December 24, 2018 No. 16.] Available at: <https://legalacts.ru/doc/pasport-natsionalnogo-proekta-ekologiya-utv-prezidiumom-soveta-pri-prezidente/> (accessed 05.03.2022).
- [4] *Ob utverzhdenii Pravil lesovosstanovleniya, sostava proekta lesovosstanovleniya, poryadka razrabotki proekta lesovosstanovleniya i vneseniya v nego izmeneniy: Utv. Prikazom Minprirody Rossii ot 04.12.2020 g. № 1014* [On the approval of the Rules for reforestation, the composition of the reforestation project, the procedure for the development of the reforestation project and amending it: Approved by order of the Ministry of Natural Resources of Russia dated December 4, 2020 No.1014]. Available at: <https://docs.cntd.ru/document/573123762> (accessed 03.03.2022).
- [5] Sviridov L.T., Golev A.D., Goleva G.G., Tarasova E.V. *Effektivnost' primeneniya bezreshetnoy tekhnologii po predposevnoy obrabotke semyan sosny obyknovennoy i vyrashchivaniyu seyantssev v pitomnike* [The effectiveness of the use of slatless technology for presowing seed treatment of Scots pine and growing seedlings in the nursery]. *Lesotekhnicheskii zhurnal [Lesotechnical journal]*, 2014, no. 3, pp. 40–47.
- [6] Egorova A.V. *Vliyaniye ekstraktov iz drevesnoy zeleni i vodoprovodnogo osadka v kachestve komponenta substrata na vskhzhest' semyan i rost seyantssev sosny obyknovennoy* [Influence of extracts from tree greens and tap water sediment as a substrate component on seed germination and seedling growth of Scotch pine]. *Diss. Cand. Sci (Agric.)*, Petrozavodsk, 2019, 125 p.
- [7] Sannikov S.N., Petrova I.V., Sannikova N.S., Afonin A.N., Chernodubov A.I., Egorov E.V. *Genetiko-klimatologo-geograficheskie printsipy semennogo rayonirovaniya sosnovykh lesov Rossii* [Genetic-climatological-geographical principles of seed regionalization of pine forests in Russia]. *Sibirskiy lesnoy zhurnal [Siberian Forest Journal]*, 2017, no. 2, pp. 19–30.
- [8] Pentel'kina N.V., Smirnov A.I. *Vozmozhnost' ispol'zovaniya elektromagnitnogo polya dlya povysheniya kachestva semyan eli i sosny, podvergnutykh dlitel'nomu khraneniyu* [The possibility of using an electromagnetic field to improve the quality of spruce and pine seeds subjected to long-term storage]. III Mezhdunarodnaya nauchno-prakticheskaya konferentsiya «Novoe slovo v nauke i praktike: gipoteza i aprobatsiya rezul'tatov issledovaniy», Novosibirsk, 1 marta 2013 g. [III International Scientific and Practical Conference «A New Word in Science and Practice: Hypothesis and Approbation of Research Results»], Novosibirsk, 2013, pp. 120–127.

- [9] Smirnov A.I., Orlov F.S., Pentel'kina N.V. *Ispol'zovanie nizkочастотnykh elektromagnitnykh poley dlya povysheniya posevnykh i fitosanitarnykh kachestv semyan khvoynnykh porod* [The use of low-frequency electromagnetic fields to improve the sowing and phytosanitary qualities of coniferous seeds]. Aktual'nye problemy lesnogo kompleksa [Actual problems of the forestry complex], 2013, v. 35, pp. 79–86.
- [10] Danilov D.N. *Periodichnost' plodonosheniya i geograficheskoe razmeshchenie urozhayev semyan khvoynnykh porod* [Periodicity of fruiting and geographical distribution of seed crops of coniferous species]. Moscow; Leningrad: Goslesbumizdat, 1952, 142 p.
- [11] Kramer P.D., Kozlovskiy T.T. *Fiziologiya drevesnykh rasteniy* [Physiology of woody plants]. Moscow: Lesnaya promyshlennost' [Timber industry], 1983, pp. 413.
- [12] Kholyavko V.S., Globa-Mikhaylenko D.A. *Dendrologiya i osnovy zelenogo stroitel'stva* [Dendrology and fundamentals of green building]. Moscow: Agropromizdat, 1988, 287 p.
- [13] Orekhova T.P. *Sozdanie dolgovremennogo banka semyan drevesnykh vidov — real'nyy sposob sokhraneniya ikh genofonda* [Creation of a long-term seed bank of tree species is a real way to preserve their gene pool]. Khvoynnye boreal'noy zony [Conifers of the boreal zone], 2010, XXVII, no. 2, pp. 25–31.
- [14] Pentel'kina N.V. *Primenenie regulyatora rosta Tsirkon pri vyrashchivaniy posadochnogo materiala tsennykh drevesnykh porod* [Application of the growth regulator Zircon in the cultivation of planting material of valuable tree species]. Tsirkon — prirodnyy regulyator rosta. Primenenie v sel'skom khozyaystve [Zircon — natural growth regulator. Application in agriculture], Moscow: NJeST M, 2010, pp. 330–340.
- [15] Red'ko G.I., Merzlenko M.D., Babich N.A. *Lesnye kul'tury* [Forest crops]. St. Petersburg: GLTA, 2005, 556 p.
- [16] Smirnov S.D. *Opyt lesnogo semenovodstva i seleksii* [Experience of forest seed production and selection]. Obzornaya informatsiya TsBNTI Goskomlesa [Overview information of the Central Forest Research Institute of the State Committee for Forestry]. Moscow: TsBNTI lesnogo khozyaystva, 1974, pp. 20.
- [17] *Ukazaniya po lesnomu semenovodstvu v Rossiyskoy Federatsii: Utv. Rosleskhozom ot 11.01.2000 g.* [Guidelines for forest seed production in the Russian Federation: Approved Rosleskhozom dated January 11, 2000]. Moscow: VNIIClesresurs, 2000, 199 p.
- [18] Gui Z.B., Qiao L.M. Results of wood seeds treatment with electrostatic field for aerial seeding at Baoji mountain area of Shaanxi. *J. Zhejiang Forestry Science and Technology*, 1997, v. 17, pp. 24–27.
- [19] Ukraintsev V.S., Korepanov D.A., Kondrat'eva N.P., Byval'tsev A.V. *Vliyanie ul'trafiol'tovogo oblucheniya na povyshenie posevnykh kachestv semyan khvoynnykh porod* [Influence of ultraviolet irradiation on improving the sowing qualities of coniferous seeds]. Vestnik Udmurtskogo universiteta [Bulletin of the Udmurd University], 2011, v. 1, pp. 132–137.
- [20] Kirienko M.A., Goncharova I.A. *Vliyanie kontsentratsii stimulyatorov rosta na gruntovuyu vskhozhest' semyan i sokhrannost' seyantsev glavnykh lesoobrazuyushchikh vidov Sredney Sibiri* [Influence of the concentration of growth stimulants on the soil germination of seeds and the safety of seedlings of the main forest-forming species of Central Siberia]. Sibirskiy lesnoy zhurnal [Siberian Forest Journal], 2016, no. 1, pp. 39–45.
- [21] Ostroschenko V.Yu. *Effektivnost' primeneniya stimulyatorov rosta pri vyrashchivaniy posadochnogo materiala khvoynnykh drevesnykh porod v Primorskom krae* [The effectiveness of the use of growth stimulants in the cultivation of planting material of coniferous tree species in the Primorsky Territory]. Diss. Cand. Sci. (Agric.). Ussuriysk, 2021, 281 p.
- [22] Voychal' P.I. *Opytnye kul'tury sosny iz sortirovannykh semyan* [Experimental cultures from sorted seeds]. Lesnoy Zhurnal (Russian Forestry Journal), 1961, no. 6, pp. 27–30.
- [23] Arnold P.C., Roberts A.W. Stress distributions in loaded wheat drains. *Adric. Engng. Res*, 1966, no. 2 (1) 38, pp. 17–21.
- [24] Skrynnikov B.M. *Tekhnologicheskyy protsess ochistki i sortirovki semyan vozdushnym potokom* [Technological process of cleaning and sorting seeds by air flow]. Lesnoy Zhurnal (Russian Forestry Journal), 1985, no. 6, pp. 26–30.
- [25] Smirnov N.A., Kazakov V.I. *Rekomendatsii po tekhnologii i kompleksu mashin dlya vyrashchivaniya ukрупnennogo posadochnogo materiala eli evropeyskoy bez pereshkolivaniya* [Recommendations on the technology and complex of machines for growing enlarged planting material of European spruce without reshoveling]. Pushkino: VNIILM, 1991, 22 p.
- [26] Vinokurov V.N., Silaev G.V., Kazakov V.I. *Mekhanizatsiya lesnogo i lesoparkovogo khozyaystva* [Mechanization of forestry and forest-park economy]. Moscow: Lesnaya promyshlennost' [Timber industry], 2006, 432 p.
- [27] Rodin S.A., Prokazin N.E. *Tekhnologicheskoe obespechenie rabot po lesovosstanovleniyu* [Technological support for reforestation]. Pushkino: VNIILM, 2012, 212 p.
- [28] Kazakov V.I., Prokazin N.E., Lobanova E.N., Kazakov I.V. *Vliyanie sortirovki semyan khvoynnykh porod na posevnye kachestva* [Influence of seed sorting of coniferous breeds on sowing qualities]. Lesotekhnicheskyy zhurnal [Lesotechnical journal], 2016, no. 3, pp. 161–167.
- [29] Zhigunov A.V., Sokolov A.I., Kharitonov V.A. *Vyrashchivanie posadochnogo materiala s zakrytoy kornevoy sistemoy v Ust'yanskom teplichnom komplekse. Prakticheskie rekomendatsii* [Growing planting material with a closed root system in the Ustyansk greenhouse complex. Practical recommendations], Petrozavodsk: Karel'skiy nauchnyy tsentr RAN, 2016, 43 p.
- [30] Babich N.A., Drochkova A.A., Komarova A.M., Lebedeva O.P., Andronova M.M. *Variativnost' massovykh kharakteristik semyan Pinus sylvestris L. v taehznoy zone* [Variability of mass characteristics of seeds of Pinus sylvestris L. in the taiga zone]. Lesnoy Zhurnal (Russian Forestry Journal), 2019, no. 2, pp. 141–147. DOI: 10.17238/issn0536-1036.2019.2.141
- [31] Deeva V.P. *Ispol'zovanie novykh regulyatorov rosta pri vyrashchivaniy posadochnogo materiala khvoynnykh porod derev'ev* [The use of new growth regulators in the cultivation of planting material of coniferous trees]. Lesnoe i okhotnich'e khozyaystvo [Forestry and hunting], 2007, no. 8, pp. 17–21.
- [32] Tupik P.V. *Povyshenie kachestva semyan khvoynnykh introdutsentov metodom flotatsii* [Improving the quality of seeds of coniferous introduced plants by the method of flotation]. Problemy lesovedeniya i lesovodstva: sbornik nauchnykh trudov [Problems of forestry and forestry: a collection of scientific papers]. Gomel: Institut lesa NAN Belarusi, 2008, v. 68, pp. 290–298.
- [33] Tupik P.V. *Povyshenie kachestva semyan khvoynnykh introdutsentov metodom flotatsii* [A method for improving the quality of seeds of coniferous introducers with the use of growth regulators]. Trudy BGTU. Seriya 1. Lesnoe khozyaystvo [Proceedings of BSTU. Series 1. Forestry], 2010, v. XVIII, pp. 218–221.

- [34] Himanen K., Nygren M. Seed soak-sorting prior to sowing affects the size and quality of 1,5-year-old containerized *Picea abies* seedlings. *Silva Fennica*, 2015, v. 49, no. 3, 15 p. DOI: 10.14214/sf.1056
- [35] Listov A.A. *Meropriyatiya po uskorennomu lesovozobnovleniyu v sosnyakakh lishaynikovyykh Evropeyskogo Severo-vostoka SSSR* [Measures for accelerated reforestation in lichen pine forests of the European North-East of the USSR]. Arkhangelsk: AILILKh, 1982, 39 p.
- [36] Rodin A.R., Kalashnikova E.A., Rodin S.A., Silaev G.V. *Lesnye kul'tury* [Forest cultures]. Moscow: Federal'noe agentstvo lesnogo khozyaystva, 2009, 462 p.
- [37] Kovylin O.P. *Novye tekhnologii vyrashchivaniya posadochnogo materiala* [New technologies for growing planting material]. Krasnoyarsk: SibGU im. M.F. Reshetnova, 2017, 61 p.
- [38] Baytuln I.O. *Sozdanie lesnogo pitomnika i tekhnologiya vyrashchivaniya posadochnogo materiala* [Creation of a forest nursery and technology for growing planting material]. Kostanay: Kostanaypoligrafiya, 2009, 48 p.
- [39] Markova I.A., Zhigunov A.V. *Lesnye kul'tury: agrotehnika vyrashchivaniya posadochnogo materiala v lesnykh pitomnikakh* [Forest crops: agrotechnics of growing planting material in forest nurseries]. St. Petersburg: SINJeL: SPbGLTA, 2021, 134 p.
- [40] Novosel'tseva A.I., Smirnov N.A. *Spravochnik po lesnym pitomnikam* [Handbook of forest nurseries]. Moscow: Lesnaya promyshlennost' [Timber industry], 1983, 280 p.
- [41] Rodin A.R., Popova N.Ya., Shul'gin N.I., Khrenov L.S. *Rekomendatsii po vyrashchivaniyu sosny i eli v otkrytom grunte v zone smeshannykh lesov* [Recommendations for growing pine and spruce in the open field in the zone of mixed forests]. Moscow: Minleshoz RSFSR, 1989, 32 p.
- [42] Volkovich A.P., Nosnikov V.V. *Intensivnye tekhnologii vyrashchivaniya posadochnogo materiala i lesovosstanovleniya: teksty lektsiy* [Intensive technologies for growing planting material and reforestation: lecture texts]. Minsk: BGTU, 2015, 74 p.
- [43] *Spravochnik po lesosennomu delu* [Handbook of forest seed business]. Moscow: Lesnaya promyshlennost' [Timber industry], 1978, 336 p.
- [44] Markova I.A., Zhigunov A.V. *Lesnye kul'tury. Agrotehnika vyrashchivaniya posadochnogo materiala v lesnykh pitomnikakh taezhnoy zony* [Forest cultures. Agrotechnics of growing planting material in the forest nurseries of the taiga zone]. St. Petersburg: SPbGLTA, 2007, 88 p.
- [45] Zhigunov A.V. *Teoriya i praktika vyrashchivaniya posadochnogo materiala s zakrytoy kornevoy sistemoy* [Theory and practice of growing planting material with a closed root system]. St. Petersburg: SPbNIIL, 2000, 294 p.
- [46] Wagner R.G., Colombo S.J. Regenerating the Canadian Forest. Principles and Practice for Ontario, 2001, 658 p.
- [47] Kuznetsova O.N. *Pitate'l'naya smes' dlya proizvodstva sazhensev khvoynnykh porod* [Nutrient mixture for the production of seedlings of coniferous species]. *Lesnoe khozyaystvo* [Forestry], 2010, no. 1, pp. 46–47.
- [48] Mashkin I.A., Koryt'ko L.A., Shukanov V.P. *Vliyaniye zashchitno-stimuliruyushchikh preparatov na bolezneustoychivost' i kachestvennyye kharakteristiki seyantsev eli (Picea abies) s zakrytoy kornevoy sistemoy* [Influence of protective-stimulating drugs on disease resistance and qualitative characteristics of seedlings of spruce (*Picea abies*) with a closed root system]. *Trudy BGTU* [Proceedings of BSTU], 2020, no. 2, pp. 109–119.
- [49] Pentel'kina N.V. *Zashchita seyantsev eli ot infektsionnogo poleganiya putem obrabotki semyan protravitelyami i regulyatorami rosta pered zakladkoj na khraneniye* [Protection of spruce seedlings from infectious lodging by seed treatment with disinfectants and growth regulators before storage]. *Trudy Sankt-Peterburgskogo nauchno-issledovatel'skogo instituta lesnogo khozyaystva* [Proceedings of the St. Petersburg Research Institute of Forestry], 2013, no. 2, pp. 62–67.
- [50] Yarmolovich V.A., Dishuk N.G., Asmolovskiy M.K., Semenova V.Yu. *Biologicheskaya effektivnost' novykh preparatov dlya predposevnoy obrabotki semyan v zashchite seyantsev ot infektsionnogo poleganiya* [Biological efficiency of new preparations for pre-sowing treatment of seeds in protecting seedlings from infectious lodging]. *Trudy BGTU* [Proceedings of BSTU], 2013, no. 1, pp. 262–265.
- [51] Konavalov N.A. Opyt predposevnoy obrabotki semyan listvennitsy Sukacheva [Experience of pre-sowing treatment of Sukachev's larch seeds]. *Lesnoy Zhurnal* (Russian Forestry Journal), 1961, no. 4, pp. 162–164.
- [52] Larionova N.A. *Primeneniye gormonal'nykh veshchestv dlya uluchsheniya kachestva semyan i rosta seyantsev khvoynnykh porod v Krasnoyarskom krae* [The use of hormonal substances to improve the quality of seeds and the growth of seedlings of conifers in the Krasnoyarsk Territory]. *Lesnoe khozyaystvo* [Forestry], 1997, no. 6, pp. 28–30.
- [53] Pentel'kin S.K., Pentel'kina N.V. *Krezatsin dlya lesnykh pitomnikov* [Krezatsin for forest nurseries]. *Lesnoe khozyaystvo* [Forestry], 2000, no. 2, pp. 29–31.
- [54] Galdina T.E., Khar'kova V.A. *Otsenka vliyaniya biostimulyatorov na sostoyaniye i kachestvo seyantsev sosny obyknovennoy (Pinus silvestris L.)* [Evaluation of the impact of biostimulants on the condition and quality of seedlings of Scots pine (*Pinus silvestris* L.)]. V Mezhdunarodnaya studencheskaya elektronnyaya nauchnaya konferentsiya «Studencheskiy nauchnyy forum» Moskva, 15 fevralya — 31 marta 2012 goda [IV International Student Electronic Scientific Conference «Student Scientific Forum» Moscow, February 15 — March 31, 2012]. Available at: <https://scienceforum.ru/2012/article/2012000558> (accessed 03.03.2022).
- [55] Himanen K., Lilja A., Poimala née Rytönen A., Nygren M. Soaking effects on seed germination and fungal infection in *Picea abies*. *Scandinavian J. of Forest Research*, 2013, no. 28, pp. 1–7.
- [56] Brady S.M., McCourt P. Hormone Cross-Talk in Seed Dormancy. *J Plant Growth Regul*, 2003, v. 22, pp. 25–31.
- [57] Obrucheva N.V. *Perekhod ot gormonal'noy k negormonal'noy regulyatsii na primere vykhoda semyan iz pokoya i zapuska prorastaniya* [Transition from hormonal to non-hormonal regulation on the example of seed exit from dormancy and initiation of germination]. *Fiziologiya rasteniy* [Plant Physiology], 2012, v. 59, no. 4, pp. 591–600.
- [58] Miransari M., Smith D.L. Plant hormones and seed germination. *Environmental and Experimental Botany*, 2014, v. 99, pp. 110–121.
- [59] Vaistija F.E., Barros-Galvãoa T., Colea A.F., Gildaya A.D., Hea Z., Lia Y., Harveya D., Larsona T.R., Grahama I.A. MOTHER-OF-FT-AND-TFL1 represses seed germination under far-red light by modulating phytohormone responses in *Arabidopsis thaliana*. *PNAS*, 2018, v. 115, pp. 8442–8447.
- [60] Romanov E.M. *Vyrashchivaniye seyantsev drevesnykh rasteniy: bioekologicheskie i agrotekhnicheskie aspekty* [Growing seedlings of woody plants: bioecological and agrotechnical aspects]. Yoshkar-Ola: MarGTU, 2000, 500 p.

- [61] Feurtado J.A., Yang J., Ambrose S.J., Cutler A.J., Abrams S.R., Kermode A.R. Dis-rupting abscisic acid homeostasis in western white pine (*Pinus monticola* Dougl. Ex D. Don) seeds induces dormancy termination and changes in abscisic acid catabolites. *J Plant Growth Regul*, 2007, v. 26, pp. 46–54.
- [62] Zhang Y., Lu S., Gao H. Effects of Stratification and Hormone Treatments on Germination and PhysioBiochemical Properties of *Taxus chinensis* var. *mairei* Seed. *American J. of Plant Sciences*, 2012, v. 3, pp. 829–835.
- [63] Zhao G., Jiang X. Roles of Gibberellin and Auxin in Promoting Seed Germination and Seedling Vigor in *Pinus massoniana*. *For. Sci*, 2014, v. 60 (2), pp. 367–373.
- [64] Mugloo J.A., Mir N.A., Khan P.A., Perray G.N., Kaiser K.N. Effect of Different Pre-Sowing Treatments on Seed Germination of Spruce (*Picea smithiana* Wall. Boiss) Seeds un-der Temperate Conditions of Kashmir Himalayas, India. *Int. J. Curr. Microbiol. App. Sci*, 2017, v. 6 (11), pp. 3603–3612.
- [65] Melekhov V.I., Babich N.A., Lebedeva O.P., Tyurikova T.V., Vasil'eva N.N. *Sredstvo dlya predposevnoy obrabotki semyan khvoynykh porod* [Means for pre-sowing treatment of coniferous seeds]. Patent RU 2 680 700 S1, 2019. 4 p.
- [66] Wort D.J., Severson J.G., Peirson D.R. Mechanism of Plant Growth Stimulation by Naphthenic Acid. *Plant Physiol*, 1973, no. 5, pp. 162–165.
- [67] Borno C., Taylor I.E. The effect of high concentration of ethylene on seed germination of Douglas fir (*Pseudotsugamenziesii* (Mirb) Can. J. of Forest Research, 1975, no. 5 (3), pp. 419–423.
- [68] Sołtys A., Studnicki M., Zawadzki G., Aleksandrowicz-Trzczińska M. The effects of salicylic acid, oxalic acid and chitosan on damping-off control and growth in Scots pine in a forest nursery. *i Forest Biogeosciences and Forestry*, 2020, v. 13, pp. 441–446.
- [69] Gridnev A.N. *Nauchnye osnovy vyrashchivaniya posadochnogo materiala v usloviyakh Dal'nego Vostoka* [Scientific basis for growing planting material in the conditions of the Far East: a textbook]. Ussuriysk: Primorskaya GSKhA, 2020, 271 p.
- [70] Tagil'tsev Yu.G., Orlov A.M., Gul' L.P., Kolesnikova R.D. *Ispol'zovanie biologicheskii aktivnykh veshchestv iz otkhodov lesozagotovok dlya lesovosstanovleniya* [The use of biologically active substances from logging waste for reforestation]. Innovatsii i tekhnologii v lesnom khozyaystve. Materialy II Mezhdunarodnoy nauchno-prakticheskoy konferentsii. Chast' 2 [Innovations and technologies in forestry. Materials of the II International Scientific and Practical Conference. Part 2], St. Petersburg: Sankt-Peterburgskiy nauchno-issledovatel'skiy institut lesnogo khozyaystva, 2012, pp. 194–196.
- [71] Frolenkova M.S., Volkovich A.P. Influence of preseedling treatment of seeds of Scots pine and Norway spruce on their viability and energy of germination. *Proceedings of BSTU*, 2016, no. 1, pp. 80–83.
- [72] Kabanova C.A., Danchenko M.A., Bortsov V.A., Kocherganov I.S. *Rezultaty predposevnoy obrabotki semyan sosny obyknovnoy stimulyatorami rosta* [Results of pre-sowing treatment of Scots pine seeds with growth stimulators]. *Lesotekhnicheskii zhurnal* [Lesotechnical journal], 2017, no. 2, pp. 75–83.
- [73] Pentel'kina Yu.S. *Vliyanie stimulyatorov na vskhozhest' semyan i rost seyantsev khvoynykh vidov* [Influence of stimulants on seed germination and growth of seedlings of coniferous species]. Diss. Cand. Sci. (Agric.). Moscow, 2003, 28 p.
- [74] Adilbayeva Z., Maisupova B., Abayeva K., Utebekova A., Akhmetov R. The Effect of Stimulants on the Seed Germination and Growth of Schrenk's Spruce Seedlings. *OnLine J. of Biological Sciences*, 2021, v. 21 (2), pp. 354–364. DOI: 10.3844/ojbsci.2021.354.364
- [75] Aliev E.V., Sivolapov A.I. *Vliyanie predposevnoy obrabotki semyan na vskhozhest' i rost seyantsev sosny obyknovnoy rostovymi veshchestvami* [Influence of pre-sowing treatment of seeds on the germination and growth of seedlings of Scots pine with growth substances]. *Sovremennye problemy nauki i obrazovaniya* [Modern problems of science and education], 2013, no. 4, p. 36.
- [76] Besschetnova N.N., Besschetnov V.P., Khramova O.Yu., Dorozhkina L.A. *Stimuliruyushchiy effekt preparata EkoFus v predposevnoy obrabotke semyan eli evropeyskoy (Picea abies (L.) H. Karst.)* [Stimulating effect of EcoFus in presowing seed treatment of European spruce (*Picea abies* (L.) H. Karst.)]. *Agrokhimicheskii vestnik* [Agrochemical Bulletin], 2017, no. 2, pp. 41–44.
- [77] *Gosudarstvennyy katalog pestitsidov i agrokhimikatov, razreshennykh k primeneniyu na territorii Rossiyskoy Federatsii (na 27 yanvarya 2022 g.). Ch. 1. Pestitsidy* [State Catalog of Pesticides and Agrochemicals Permitted for Use on the Territory of the Russian Federation (as of January 27, 2022). Part 1 Pesticides], Moscow, 2022, 839 p.
- [78] Pentel'kin S.K., Pentel'kina N.V., Ostroshenko V.V., Ostroshenko L.Yu. *Vliyanie stimulyatorov na gruntovuyu vskhozhest' semyan dal'nevostochnykh khvoynykh drevesnykh porod* [Influence of stimulants on soil germination of seeds of Far Eastern coniferous tree species]. *Aktual'nye problemy lesnogo kompleksa* [Actual problems of the forest complex], 2004, no. 9, pp. 39–42.
- [79] Pentel'kina N.V., Ostroshenko L.Yu. *Vyrashchivanie seyantsev khvoynykh porod v usloviyakh Severa i Dal'nego Vostoka s ispol'zovaniem stimulyatorov rosta* [Growing seedlings of coniferous species in the conditions of the North and the Far East using growth stimulants]. *Aktual'nye problemy lesnogo kompleksa* [Actual problems of the forest complex], 2005, no. 10, pp. 125–129.
- [80] Usov V.N., Popkov B.V. *Vliyanie stimulyatora rosta «Epin» na prorastanie semyan i rost seyantsev sosny gustotsvetkovoy i Banksa* [Influence of the growth stimulator «Epin» on the germination of seeds and the growth of seedlings of densely flowering pine and Banks]. *K 50-letiyu kafedry lesovodstva Instituta lesnogo i lesoparkovogo khozyaystva VGOU VPO «Primorskaya GSKhA»* [To the 50th anniversary of the Department of Forestry of the Institute of Forestry and Forest Park Management of the Primorskaya State Agricultural Academy. Anniversary collection of scientific papers]. Ussuriysk: PGSHA, 2010, pp. 180–185.
- [81] Ostroborodova N.I., Ulanova O.I. *Vliyanie regulyatorov rosta na biologicheskie svoystva sosny obyknovnoy* [Influence of growth regulators on the biological properties of Scots pine]. *XXI vek: itogi proshlogo i problemy nastoyashchego plyus* [XXI century: results of the past and problems of the present plus], 2014, no. 1 (17), pp. 33–37.
- [82] Ostroshenko V.V., Ostroshenko L.Yu., Klyuchnikov D.A., Ostroshenko V.Yu., Chekushkina T.I. *Vliyanie stimulyatorov rosta na energiyu prorastaniya i laboratornyuyu vskhozhest' semyan sosny obyknovnoy (Pinus sylvestris L.)* [Influence of growth stimulators on germination energy and laboratory germination of Scotch pine (*Pinus sylvestris* L.) seeds]. *Izvestiya SamNTs RAN* [Izvestiya SamNTs RAS], 2015. v. 17. no. 6, pp. 242–248.

- [83] Gapon'ko E.A., Kanitskaya L.V. *Otsenka vliyaniya stimulyatorov na energiyu prorstaniya i vskhozhest' semyan sosny obyknovnoy (Pinus sylvestris)* [Evaluation of the effect of stimulants on the vigor of germination and seed germination of Scots pine (*Pinus sylvestris*)]. *Uspekhi sovremennogo estestvoznaniya* [Successes of modern natural science], 2018, no. 8, pp. 46–51.
- [84] Nosnikov V.V., Volkovich A.P., Yurenaya A.V., Yarmolovich V.A. *Effektivnost' predposevnoy obrabotki semyan sosny i eli preparatom Emistim-S* [Efficiency of pre-sowing treatment of pine and spruce seeds with Emistim-S]. *Trudy BGTU* [Proceedings of BSTU], 2014, no. 1, pp. 150–153.
- [85] Kavosi M.R. *Rezultaty izucheniya vliyaniya sovremennykh biologicheskikh preparatov na prorstanie semyan i razvitie vskhodov sosny i eli* [Results of studying the influence of modern biological preparations on seed germination and development of seedlings of pine and spruce]. *Moscow state forest university bulletin – Lesnoy vestnik*, 2006, no. 2, pp. 161–166.
- [86] Pentel'kina N.V. *Problemy vyrashchivaniya posadochnogo materiala v lesnykh pitomnikakh i puti ikh resheniya* [Problems of growing planting material in forest nurseries and ways to solve them]. *Aktual'nye problemy lesnogo kompleksa* [Actual problems of the forest complex], 2012, no. 31, pp. 189–193.
- [87] Prokazin N.E., Lobanova E.N., Pentel'kina N.V., Kazakov V.I., Ivanyusheva G.I., Sakhnov V.V., Chukarina A.V., Bagaev S.S. *Vliyanie biostimulyatorov i mikroudobreniy na rost seyantsev khvoynykh porod* [Influence of biostimulants and microfertilizers on the growth of seedlings of coniferous breeds]. *Lesokhozyaystvennaya informatsiya* [Forestry information], 2013, no. 2, pp. 9–15.
- [88] Prokazin N.E., Lobanova E.N., Pentel'kina N.V., Ivanyusheva G.I., Sakhnov V.V., Petrov V.A., Chukarina A.V., Bagaev S.S. *Vyrashchivanie posadochnogo materiala khvoynykh porod s ispol'zovaniem rostovykh stimulyatorov* [Growing planting material of coniferous species using growth stimulants]. *Lesokhozyaystvennaya informatsiya* [Forestry information], 2015, no. 1, pp. 50–56.
- [89] Ostroshenko V.V., Ostroshenko L.Yu., Ostroshenko V.Yu. *Primenenie stimulyatora rosta «Krezatsin» pri vyrashchivanii seyantsev roda Pikhta (Abies)* [The use of the growth stimulator «Krezatsin» in the cultivation of seedlings of the genus Fir (*Abies*)]. *Vestnik KrasGAU*, 2015, no. 5, pp. 184–189.
- [90] Andreeva E.M., Stetsenko S.K., Kuchin A.V., Terekhov G.G., Khurshkaynen T.V. *Vliyanie stimulyatorov rosta prirodnoy proiskhozhdeniya na prorstki khvoynykh porod* [Influence of growth stimulants of natural origin on seedlings of coniferous species]. *Lesotekhnicheskii zhurnal* [Lesotechnical journal], 2016, no. 3, pp. 10–19.
- [91] Ostroshenko V.Yu. *Vliyanie stimulyatora rosta «Epin-Ekstra» na energiyu prorstaniya i laboratornyuyu vskhozhest' semyan sosny obyknovnoy (Pinus sylvestris L.)* [Influence of the growth stimulator «Epin-Extra» on the vigor of germination and laboratory germination of seeds of Scotch pine (*Pinus sylvestris L.*)]. *Vestnik KrasGAU* [Vestnik KrasGAU], 2017, no. 11, pp. 208–218.
- [92] Sakhnov V.V. *Osobennosti razvitiya seyantsev sosny obyknovnoy (Pinus sylvestris L.) i listvennitsy Sukacheva (Larix sukaczewii Dyl.) pri ispol'zovanii preparata «Gumiral» v lesnykh pitomnikakh Srednego Povolzh'ya* [Features of the development of seedlings of Scotch pine (*Pinus sylvestris L.*) and Sukachev larch (*Larix sukaczewii Dyl.*) when using the drug «Gu-miral» in forest nurseries of the Middle Volga]. *Diss. Cand. Sci. (Biol.)*, Ufa, 2007, 17 p.
- [93] Mitrofanov S.V., Gapeeva N.N., Mochalova E.N. *Vliyanie guminovykh udobreniy na posevnye kachestva Eli evropeyskoy* [Influence of humic fertilizers on the sowing qualities of European Spruce]. *Ekologicheski ustoychivoe zemledelie: sostoyanie, problemy i puti ikh resheniya. Materialy Vserossiyskoy nauchno-prakticheskoy konferentsii s mezhdunarodnym uchastiem. VNIIOU — filial FGBNU «Verkhnevolzhskiy FANTs», 22–24 iyunya 2018 g.* [Ecologically sustainable agriculture: state, problems and ways to solve them. Materials of the All-Russian scientific-practical conference with international participation. VNIIOU — branch of the Federal State Budgetary Scientific Institution «Verkhnevolzhsky FANTs», June 22–24, 2018]. *Ivanovo: PresSto*, 2018, pp. 177–181.
- [94] Khurshkaynen T.V. *Vydelenie i issledovanie kislykh komponentov lipidov drevesnoy zeleni pikhty (Abies sibirica) i eli (Picea sibirica)* [Isolation and study of acidic components of lipids in fir (*Abies sibirica*) and spruce (*Picea sibirica*) tree greens]. *Cand. Diss. Sci. (Chemical)*, Syktyvkar, 2004, 24 p.
- [95] Khurshkaynen T.V., Kuchin A.V. *Lesokhimiya dlya innovatsiy v sel'skom khozyaystve* [Forest chemistry for innovations in agriculture]. *Izvestiya Komi nauchnogo tsentra UrO RAN* [Proceedings of the Komi Scientific Center of the Ural Branch of the Russian Academy of Sciences], 2011, v. 1(5), pp. 17–23.
- [96] Chukicheva I.Yu., Khurshkaynen T.V., Kuchin A.V. *Prirodnye regulatory rosta rasteniy iz khvoynogo syr'ya* [Natural growth regulators of plants from coniferous raw materials]. *Innovatika i ekspertiza: nauchnye trudy* [Innovation and expertise: scientific works], 2018, no. 3 (24), pp. 93–99.
- [97] Romanov E.M. *Intensifikatsiya vyrashchivaniya posadochnogo materiala eli i sosny. Prakticheskie rekomendatsii* [Intensification of cultivation of spruce and co-dream planting material. Practical recommendations]. *Yoshkar-Ola: Ministry of Forestry of the Mari ASSR*, 1978, 25 p.
- [98] Bratilova N.P., Matveeva R.N., Shcherba Yu.E., Kichkil'deev A.G. *Vyrashchivanie selektsionnogo posadochnogo materiala* [Cultivation of breeding planting material]. *Krasnoyarsk: SibGAU*, 2016, 66 p.
- [99] Markova I.A. *Sovremennye problemy lesovyrashchivaniya (lesokol'turnoe proizvodstvo)* [Modern problems of forest growing (forestry production)]. *St. Petersburg: SPbGLTA*, 2008, 152 p.
- [100] Ostroshenko V.V., Ostroshenko A.Yu., Akimov R.Yu., Pak A.V. *Normirovanie rabot po drazhirovaniyu semyan khvoynykh drevesnykh porod* [Rationing of work on pelleting seeds of coniferous trees]. *Vestnik KrasGAU*, 2013, no. 3, pp. 139–142.
- [101] Kuraev V.N., Martynuk A.A. *Ispol'zovanie organicheskikh otkhodov v lesnom khozyaystve* [The use of organic waste in forestry]. *Pushkino: VNIILM*, 2012, 126 p.
- [102] Ustinova T.S. *Vliyanie preparata Gumat+7 na rost seyantsev eli evropeyskoy* [Influence of the drug Gumat+7 on the growth of seedlings of European spruce]. *Aktual'nye problemy lesnogo kompleksa* [Actual problems of the forest complex], 2009, no. 22, pp. 146–148.
- [103] Ustinova T.S., Zurov R.N. *Vliyanie preparata Gumat+7 na rostovye protsessy khvoynykh porod* [Influence of the drug Gumat+7 on the growth processes of conifers]. *Aktual'nye problemy lesnogo kompleksa* [Actual problems of the forestry complex], 2010, no. 26, pp. 115–118.

- [104] Nemkov P.S., Grekhova I.V. *Vliyanie guminovogo preparata na seyantsy khvoynykh porod* [Influence of a humic preparation on seedlings of coniferous breeds]. *Teoreticheskaya i prikladnaya ekologiya* [Theoretical and applied ecology], 2015, no. 1, pp. 96–99.
- [105] Mitrofanov R.Yu., Kochetkova T.V., Zolotukhin V.N., Budaeva V.V. *Rostoreguliruyushchie svoystva ekstrakta solomy ovsa* [Growth-regulating properties of oat straw extract]. *Novye dostizheniya v khimii i khimicheskoy tekhnologii rastitel'nogo syr'ya: Materialy III Vseros. konf.* [New achievements in chemistry and chemical technology of plant raw materials: Proceedings of III All-Russia. conf.], 23–27 Apr. 2007, Book 3. Barnaul: Altai University Press, 2007, pp. 229–232.
- [106] Zaytseva N.V. *Sposob predposevnoy obrabotki semyan dlya povysheniya ikh ustoychivosti k ul'trafiioletovomu oblucheniyu* [A method for pre-sowing treatment of seeds to increase their resistance to ultraviolet irradiation]. Patent RU 2 618 325 C2, 2017. 10 p.
- [107] Yakovenko E.Ya. *Sposob polucheniya natural'nogo regulatora rosta rasteniy* [A method for obtaining a natural plant growth regulator]. Patent RU 2 109 446 C1, 1998. 6 p.
- [108] Meiqiu Z.H.U., Changming M.A., Wang Y., Zhang L., Wang H., Yoan Y., Du K. Effect of extracts of Chinese pine on its own seed germination and seedling growth. *Front. Agric. China*, 2009, pp. 353–358.
- [109] Liu Z.L., Wang Q.C., Hao L.F. Interspecific allelopathic effect of different organs' aqueous extracts of *Betula platyphylla* and *Larix olgensis* on their seed germination and seedling growth. *The J. of Applied Ecology*, 2011, v. 22, pp. 3138–3144.
- [110] Kirsanova E.V., Tsukanova Z.R., Musalatova N.N. *O perspektivakh predposevnoy obrabotki regulatorami rosta semyan yarovoy pshenitsy v Orlovskoy oblasti* [On the prospects of pre-sowing treatment by regulators of spring wheat seed growth in the Orel region]. *Vestnik OrelGAU* [Bulletin of the OrelSAU], 2008, no. 3, pp. 21–23.
- [111] Panyushkina N.V., Karasev V.N., Karaseva M.A., Brodnikov S.N. *Sposob stimulyatsii skorosti prorastaniya semyan sosny obyknovennoy* [Method for stimulating the germination rate of common pine seeds]. Patent RU 2 569 017 C1, 2015, 5 p.
- [112] Hurshkajnen T.V., Terent'ev V.I., Skripova N.N., Nikonova N.N., Koroleva A.A. *Khimicheskyy sostav otkhodov pererabotki khvoynogo syr'ya* [Chemical composition of waste processing of coniferous raw materials]. *Khimiya rastitel'nogo syr'ya* [Chemistry of plant raw materials], 2019, no. 1, pp. 233–239.
- [113] Smirnov A.I., Orlov F.S., Drozdov I.I. *Vliyanie nizkochtotnogo elektromagnitnogo polya na prorastanie semyan i rost seyantsev sosny obyknovennoy i eli evropeyskoy* [Intensive agricultural techniques for sowing seeds of coniferous species]. *Moscow state forest university bulletin – Lesnoy vestnik*, 2015, no. 2, pp. 69–73.
- [114] Gavrilova O.I., Gostev K.V., Gostev V.A., Zhuravleva M.V., Rummyantseva M.A. *Issledovanie vliyaniya predposevnoy obrabotki semyan drevesnykh porod vodoy, aktivirovannoy plazmoy* [Investigation of the effect of pre-sowing treatment of woody seeds with water activated by plasma]. *Inzhenernyy Vestnik Dona* [Engineering Bulletin of the Don], 2016, no. 4, pp. 1–6.
- [115] Krasnolutsкая M.G. *Povyshenie effektivnosti ul'trafiioletovoy svetodiodnoy obluchatel'noy ustanovki dlya predposevnoy obrabotki semyan eli* [Improving the efficiency of an ultraviolet LED irradiation system for pre-sowing treatment of spruce seeds]. *Cand. Diss. Sci. (Tech.)*. Cheboksary, 2018, 20 p.
- [116] Matveeva R.N., Butorova O.F. *Uskorennoe vyrashchivanie seyantsev i kul'tur kedra sibirskogo v Vostochnoy Sibiri* [Accelerated cultivation of seedlings and Siberian cedar crops in Eastern Siberia]. Krasnoyarsk: SibSTU, 2001, 254 p.
- [117] Gul'binene N.P. *Vliyanie ul'trazvuka i stimulyatorov rosta na vskhozhest' semyan i rost seyantsev i sazhenitsev eli obyknovennoy (Picea abies (L.) Karsten.)* [The effect of ultrasound and growth stimulators on seed germination and growth of seedlings and seedlings of spruce (*Picea abies* (L.) Karsten.)]. *Diss. Cand. Sci. (Agric.)*. Minsk, 1983, 21 p.

The work was carried out on the basis of the research carried out within the framework of the state task of the FBU «SevNIILKh» for conducting applied scientific research. Subject registration number: 122020100292-5.

Authors' information

Тюкавина Ольга Николаевна [✉] — Dr. Sci. (Agriculture), Research of the Northern research Institute of Forestry, Associate Professor of the Northern (Arctic) Federal University named after M.V. Lomonosov, o.tukavina@narfu.ru

Демина Надежда Александровна — Cand. Sci. (Agriculture), Senior Research of the Northern research Institute of Forestry, monitoringlesov@sevniilh-arh.ru

Received 10.06.2022.

Approved after review 20.09.2022.

Accepted for publication 26.09.2022.

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

ФИТОРЕМЕДИАЦИЯ ПОЧВ, ЗАГРЯЗНЕННЫХ ИОНАМИ ТЯЖЕЛЫХ МЕТАЛЛОВ, С ПОМОЩЬЮ ДРЕВЕСНЫХ И КУСТАРНИКОВЫХ РАСТЕНИЙ

О.В. Фрунзе

ГОУ ВПО «Донецкий национальный университет», 283001, г. Донецк, ул. Университетская, д. 24

o.frunze@donnu.ru

Проанализировано использование древесных и кустарниковых растений с развитой корневой системой и большой биомассой в технологии фиторемедиации почв, загрязненных тяжелыми металлами. Древесные растения могут применяться в процессе фитовосстановления городских систем в качестве долгосрочных поглотителей ионов тяжелых металлов из почвы. Рассмотрены основные механизмы фиторемедиации загрязненных урбанизированных территорий с помощью древесных и кустарниковых растений. Исследована сорбционная способность ионов кобальта, марганца и хрома некоторыми видами древесных и кустарниковых растений. Изучено накопление тяжелых металлов проростками в условиях загрязнения почвы ионами кобальта, марганца и хрома. Определен фактор переноса ионов кобальта, марганца и хрома для изученных видов растений. Выявлены виды-гипераккумуляторы тяжелых металлов — *Gleditsia triacanthos* L., *Caragana arboréscens* L., которые можно использовать для фитовосстановления почв техногенного региона, загрязненных ионами кобальта, марганца и хрома. Отмечены низкие концентрации кобальта, марганца и хрома у проростков *Quercus robur* L. и *Robinia pseudoacacia* L. в надземной части, что свидетельствует об их способности исключать ионы тяжелых металлов из своих надземных частей. Установлено, что устойчивые к загрязнению почвы проростки *Gleditsia triacanthos* L., *Caragana arboréscens* L. вследствие своей превосходной приспособляемости даже на деградированной и загрязненной тяжелыми металлами почве опытного участка обладают высоким уровнем накопления биомассы без достоверных фактов угнетения ростовых процессов. Во время контролируемого процесса фиторемедиации, проводимого в полевых условиях отмечена их высокая сорбционная способность, позволяющая рекомендовать указанные виды к использованию в технологиях восстановления почв, загрязненных ионами тяжелых металлов.

Ключевые слова: кобальт, марганец, хром, техногенное загрязнение, фиторемедиация, растения-гипераккумуляторы, сорбционная способность

Ссылка для цитирования: Фрунзе О.В. Фиторемедиация почв, загрязненных ионами тяжелых металлов, с помощью древесных и кустарниковых растений // Лесной вестник / Forestry Bulletin, 2022. Т. 26. № 6. С. 92–98. DOI: 10.18698/2542-1468-2022-6-92-98

Основным источником загрязнения почвы ионами кобальта, марганца и хрома служат деятельность металлургических предприятий и другие виды антропогенной деятельности [1–4]. В индустриально развитых регионах Донбасса большинство промышленных комплексов размещены в черте городов и стали неотъемлемой частью городской среды. Вследствие высокой токсичности тяжелых металлов и их способности образовывать стойкие комплексы с органическими структурами живых систем загрязнение почв металлами стало одной из наиболее серьезных экологических проблем в регионе [5]. Ионы тяжелых металлов из почвы могут попадать в трофические цепи и оказывать значительное негативное влияние на здоровье человека [6–9].

Предложенная Крамером в 2008 г., технология фиторемедиации представляет собой перспективный экологически чистый способ восстановления почвы с использованием растений [1, 10–13]. Тем не менее, большинство растений обладает

чувствительностью к чрезмерным концентрациям тяжелых металлов в почве. В природе немногие растения проявляют толерантность к тяжелым металлам или имеют способность к их аккумуляции (гипераккумуляторы), т. е. могут произрастать в загрязненных тяжелыми металлами почвах. Большинство из них — это травянистые виды с небольшой биомассой [11]. Древесные и кустарниковые растения с развитой корневой системой и большой биомассой вызывают особый интерес для технологии фиторемедиации почв, загрязненных тяжелыми металлами [5, 13]. Древесные растения могут применяться в процессе фитовосстановления городских систем в качестве долгосрочных поглотителей ионов тяжелых металлов из почвы.

Цель работы

Цель работы — исследование сорбционной способности ионов кобальта, марганца и хрома некоторыми видами древесных и кустарниковых растений, применяющихся для озеленения урбанизированных территорий Донбасса для выявления видов-гипераккумуляторов ионов тяжелых металлов.

Материалы и методы

Т а б л и ц а 1

Объектами исследования для проведения эксперимента были выбраны проростки *Gleditsia triacanthos* L., *Quercus robur* L., *Caragana arboréscens* L. и *Robinia pseudoacacia* L.

В качестве загрязнителей использовались сульфат кобальта, сульфат марганца и сульфат хрома (II) по стехиометрическому отношению. Концентрации составляли: марганца — 0...3 г/кг, кобальта — 0...10 мг/кг, хрома — 0...6 мг/кг. Семена растений проращивали согласно их биологическим особенностям. Выращивание вели на протяжении 30 сут при продолжительности светового дня 14 ч и температуре окружающей среды +20...22 °С, влажности почвы около 70 %. В каждый сосуд было внесено по 350 г почвы, просеянной через почвенное сито с диаметром отверстий 3 мм, в которую предварительно ввели сульфат кобальта, сульфат марганца и сульфат хрома.

Содержание марганца, кобальта и хрома в растительном материале определяли по методу атомно-адсорбционной спектроскопии по В. Прайсу на атомно-адсорбционном спектрофотометре Сатурн-3. Метод основан на кислотном вскрытии растительного сырья, распылении полученных растворов в пламя ацетилен — воздух или введении в графитовую печь спектрофотометра полученного раствора с последующей электротермической атомизацией [14].

Полевой эксперимент проводили в зоне влияния металлургического завода ТЗНТС г. Тореза Донецкой обл. Параметры почвы и концентрацию ионов кобальта, марганца и хрома в почве, сухой биомассе древесных растений определяли в течение четырех вегетационных периодов.

Проведенные исследования показали, что на деградированной территории преобладают малогумусные черноземы, характеризующиеся низкой влажностью и низким значением рН. Этот тип почвы имеет плохо сформированный профиль, отличается высокой проницаемостью и очень низким содержанием гумуса. Почвы также бедны питательными веществами и характеризуются низкой сорбционной способностью и малой емкостью буфера. Загрязнение района исследований — это результат воздействия выбросов металлургического завода в виде твердых частиц и, как следствие, накопление тяжелых металлов — кобальта, марганца и хрома (табл. 1).

Полевой эксперимент. Полевой эксперимент проведен на расстоянии 900 м к северо-востоку от металлургического завода на участке площадью 40 м² (участок № 1). Напротив, участок № 2 площадью 40 м² был использован в качестве контроля с условно незагрязненной почвой относительно

Характеристика почвы

Soil parametres

Параметр	Среднее значение (M) ± погрешность (m)
Влажность, %	17,96 ± 1,32
рН в Н ₂ О	5,15...5,25
рН в 1М КСl	4,64...4,79
Содержание гуминовых кислот, %	0,89 ± 0,01
Углерод (С), всего, г/кг	11,38 ± 1,12
Азот (N), мг/кг	675,00 ± 15,12
Фосфор (P), доступно, мг/кг	23,96 ± 0,78
Фосфор (P), всего, мг/кг	75,33 ± 5,22
Кобальт (Co), мг/кг	14,47 ± 0,27
Марганец (Mn), г/кг	5,740 ± 2,00
Хром (Cr), мг/кг	10,25 ± 0,12

участка № 1. Участок № 2 разместили на территории Донецкого ботанического сада. На участках № 1 и № 2 в апреле первого вегетационного года высадили 30-дневные саженцы древесных растений, осенью отобрали образцы почвы и растительного материала. В отобранных образцах определяли содержание ионов кобальта, марганца и хрома.

Полученные данные обрабатывали статистически с помощью специально разработанных программ.

Результаты и обсуждение

Анализ показал высокий уровень содержания ионов кобальта в почве участка № 1, превышающий предельно допустимую концентрацию (ПДК) данного металла в несколько раз (табл. 2).

В ходе полевого эксперимента выявлены достоверные изменения концентрации кобальта в почве участка № 1 в течение всех четырех вегетационных периодов высадки растений, которые зависели как от видовой специфики растений, так и от природы металла.

Так, при выращивании устойчивых к загрязнению проростков *Gleditsia triacanthos* L., *Caragana arboréscens* L. на 2-й вегетационный период наблюдалось достоверное снижение в почве участка № 1 содержания ионов кобальта на 4,5...15,5 %. В конце 3-го вегетационного периода концентрация кобальта уменьшилась на 10,5...17 %, по сравнению с данными начала опыта. На 4-й вегетационный период концентрация в почве ионов кобальта снизилась на 19,5...20 %. На участке № 2 также было отмечено достоверное снижение концентрации ионов кобальта при высадке проростков *Gleditsia triacanthos* L., *Caragana arboréscens* L., что свидетельствует об их высокой фиторемедиационной способности.

Т а б л и ц а 2

**Изменение концентрации ионов кобальта, марганца и хрома в почве,
подверженной фиторемедиации с помощью древесных растений**
Changes in the concentration of cobalt, manganese and chromium ions in soil subjected
to phytoremediation by woody plants

Веgetационный период	Содержание в почве ионов кобальта, мг/кг		Содержание в почве ионов марганца, г/кг		Содержание в почве ионов хрома, мг/кг	
	Контроль <i>M ± m</i>	Эксперимент <i>M ± m</i>	Контроль <i>M ± m</i>	Эксперимент <i>M ± m</i>	Контроль <i>M ± m</i>	Эксперимент <i>M ± m</i>
<i>Gleditsia triacanthos</i> L.						
1	4,56 ± 0,11	15,37 ± 0,11	1,15 ± 0,05	6,33 ± 0,10	2,48 ± 0,03	10,32 ± 0,31
2	3,65 ± 0,11	13,22 ± 0,18	1,32 ± 0,04	4,62 ± 0,11	2,25 ± 0,03	8,89 ± 0,21
3	3,01 ± 0,10	12,45 ± 0,11	0,55 ± 0,01	4,32 ± 0,10	1,76 ± 0,03	7,25 ± 0,25
4	2,89 ± 0,08	12,01 ± 0,15	0,65 ± 0,01	2,89 ± 0,05	1,15 ± 0,03	6,48 ± 0,25
<i>Caragána arboréscens</i> L.						
1	4,56 ± 0,11	15,37 ± 0,11	1,15 ± 0,05	6,33 ± 0,10	2,48 ± 0,03	10,32 ± 0,31
2	3,55 ± 0,11	13,11 ± 0,25	1,22 ± 0,03	5,32 ± 0,11	2,35 ± 0,01	8,05 ± 0,11
3	3,15 ± 0,09	12,45 ± 0,23	0,75 ± 0,01	4,87 ± 0,10	1,86 ± 0,01	8,15 ± 0,11
4	2,75 ± 0,11	11,66 ± 0,23	0,78 ± 0,01	3,89 ± 0,10	1,15 ± 0,01	7,35 ± 0,11
<i>Quercus robur</i> L.						
1	4,56 ± 0,11	15,37 ± 0,11	1,15 ± 0,05	6,33 ± 0,10	2,48 ± 0,03	10,32 ± 0,31
2	4,15 ± 0,10	13,35 ± 0,20	1,22 ± 0,07	5,78 ± 0,10	2,32 ± 0,01	9,45 ± 0,25
3	3,75 ± 0,10	14,00 ± 0,20	1,20 ± 0,06	4,65 ± 0,10	2,11 ± 0,01	9,15 ± 0,20
4	3,11 ± 0,08	14,00 ± 0,18	1,00 ± 0,05	4,55 ± 0,10	2,00 ± 0,01	9,08 ± 0,20
<i>Robinia pseudoacacia</i> L.						
1	4,56 ± 0,11	15,37 ± 0,11	1,15 ± 0,05	6,33 ± 0,10	2,48 ± 0,03	10,32 ± 0,31
2	4,15 ± 0,11	14,65 ± 0,25	1,30 ± 0,05	5,79 ± 0,10	2,65 ± 0,03	10,11 ± 0,25
3	4,21 ± 0,11	14,55 ± 0,25	1,32 ± 0,05	5,75 ± 0,10	2,55 ± 0,03	10,10 ± 0,20
4	4,20 ± 0,11	14,39 ± 0,24	1,33 ± 0,05	5,75 ± 0,10	2,54 ± 0,03	10,08 ± 0,20

При выращивании на участке № 1 толерантных к загрязнению проростков *Quercus robur* L. во 2-й вегетационный период зафиксировано снижение содержания ионов кобальта на 1...7,5 %. На 3-й вегетационный период концентрация снизилась на 6,0...8,5 %, на 4-й — на 9,5...11,0 % по сравнению с данными 1-го вегетационного периода. На участке № 2 также наблюдалось снижение концентрации кобальта на 3...10 %.

Иная тенденция замечена на участке № 1 у чувствительных к загрязнению почвы проростков *Robinia pseudoacacia* L. Во 2-й вегетационный период концентрация ионов кобальта в почве практически не изменилась. На 3-й и 4-й вегетационный период было некоторое снижение, однако изменения статистически не достоверны. Аналогичные данные получены и при выращивании рассматриваемых растений на участке № 2.

Анализ почвы участка № 1 показал высокий уровень содержания ионов марганца, превышающий ПДК данного металла в несколько раз. На этом участке были получены следующие результаты. Так, при выращивании устойчивых к загрязнению проростков *Gleditsia triacanthos* L., *Caragána arboréscens* L. на 2-й вегетационный период зафиксировано достоверное снижение

содержания ионов марганца в почве участка № 1 — на 14,5...22,5 %. Высокие показатели снижения концентрации марганца в почве могут быть обусловлены тем, что этот элемент необходим для биохимических процессов растений (является незаменимым элементом фотосистемы II), следовательно, поглощается проростками в большом количестве. В конце 3-го вегетационного периода концентрация ионов марганца в почве уменьшилась на 30,5...40 % по сравнению с началом опыта, на 4-й она снизилась на 45,5...60,0 %. На участке № 2 также было отмечено достоверное снижение содержания ионов кобальта при выращивании проростков *Gleditsia triacanthos* L., *Caragána arboréscens* L. — на 10...50 %.

При выращивании на участке № 1 толерантных к загрязнению проростков *Quercus robur* L. на 2-й вегетационный период было установлено незначительное снижение содержания ионов марганца — на 3,4...5,5 %, на 3-й — их концентрация снизилась на 6,5...7,5 %, а на 4-й — на 11,5 % по сравнению с данными по 1-му вегетационному периоду. На участке № 2 концентрация ионов марганца также снизилась.

При выращивании на участке № 1 чувствительных к загрязнению почвы проростков *Robinia*

pseudoacacia L. во 2-й, 3-й и 4-й вегетационный периоды практически не было изменений концентрации ионов марганца в почве, как и при выращивании данных растений на участке № 2.

Анализ почвы участка № 1 на содержание тяжелых металлов показал его высокий уровень по хрому, превышающий ПДК данного металла практически в 3,5 раза. Во время контролируемого процесса фиторемедиации, проводимого в полевых условиях, были получены следующие результаты. При выращивании устойчивых к загрязнению проростков *Gleditsia triacanthos* L., *Caragana arboréscens* L. на 2-й вегетационный период наблюдалось достоверное снижение содержания в почве участка № 1 ионов хрома — на 6,5...9,5 %. В конце 3-го вегетационного периода концентрация ионов хрома в почве уменьшилась на 12,5...25 % по сравнению с началом опыта. На 4-й вегетационный период концентрация в почве ионов хрома снизилась на 42,4...48,5 %. На участке № 2 также было отмечено достоверное снижение содержания ионов хрома при выращивании проростков *Gleditsia triacanthos* L., *Caragana arboréscens* L.

Исследования показали высокое накопление ионов кобальта, марганца и хрома в корнях всех изучаемых видов древесных растений, особенно в условиях высокой концентрации тяжелых металлов в почве.

Так, у устойчивого вида *Gleditsia triacanthos* L., обладающего высокой аккумулярующей способностью, было отмечено увеличение концентрации ионов кобальта, марганца и хрома в корнях — на 10...50 % в течение четырех вегетационных периодов, причем количество кобальта в корневой системе практически в 2,5 раза было больше по сравнению с его надземной частью (рис. 1–3). Это обусловлено высокой степенью связывания ионов металла компартментами корневой системы при транспортировке тяжелых металлов от корней к побегам, что можно расценивать как механизм приспособления растений к полиметаллическому стрессу.

У проростков *Caragana arboréscens* L. также прослеживалась тенденция к большему накоплению ионов тяжелых металлов в корневой системе растений.

У проростков *Quercus robur* L. и *Robinia pseudoacacia* L. в надземной части определена низкая концентрация и кобальта, и марганца, и хрома, что говорит о способности данных видов растений к исключению ионов тяжелых металлов из надземной части. Аналогичные результаты были также отмечены многими исследователями у таких древесных видов, как *Salix* для свинца, цинка, меди, алюминия [4, 10, 15], *Fraxinus* для цинка, кадмия и меди [16, 17] и *Eucalyptus* для свинца, кадмия и меди [18].

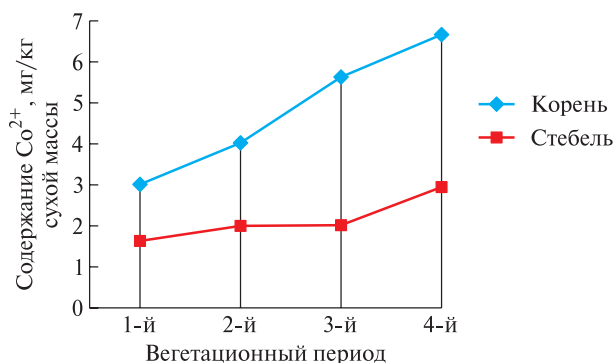


Рис 1. Накопление ионов Co^{2+} вегетативными органами *Gleditsia triacanthos* L.

Fig. 1. Accumulation of Co^{2+} ions by *Gleditsia triacanthos* L. vegetative organs

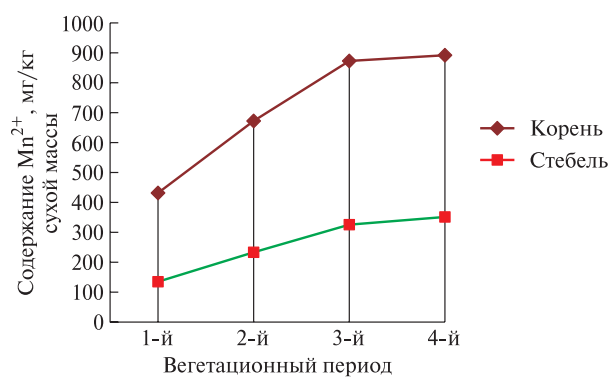


Рис 2. Накопление ионов Mn^{2+} вегетативными органами *Caragana arboréscens* L.

Fig. 2. Accumulation of Mn^{2+} ions by *Caragana arboréscens* L. vegetative organs

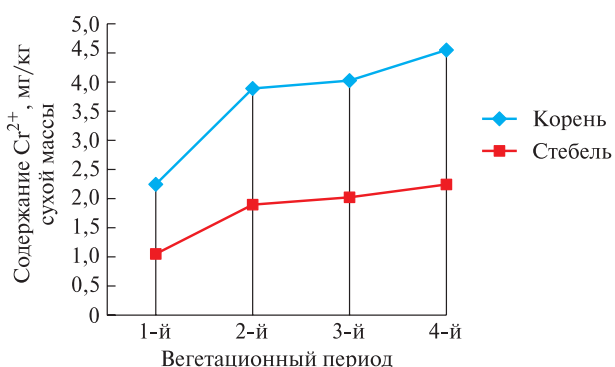


Рис 3. Накопление ионов Cr^{2+} вегетативными органами *Quercus robur* L.

Fig. 3. Accumulation of Cr^{2+} ions by *Quercus robur* L. vegetative organs

Накопление ионов тяжелых металлов и их исключение являются двумя основными стратегиями, благодаря которым растения реагируют на повышенные концентрации ионов в вегетативных органах [2]. Фактор транслокации ($C_{\text{побег}}/C_{\text{корень}}$) > 1 распространен у видов растений металл-аккумуляторов, тогда как фактор транслокации < 1 у видов растений-исключателей металлов [2, 11, 19]. Сафонов А.И. [20] показал, что у большинства

видов растений, произрастающих на отвалах металлургических предприятий, наблюдается сниженная транслокация металлов в надземные органы. Hancock и др. [17] также отметили *Alnus incana* как исключителя ионов тяжелых металлов. У этого вида развит механизм предотвращения поглощения ионов металлов в надземные органы путем их стабилизации в ризосфере или удержания в корнях.

Фиторемедиация с помощью механизмов фитоэкстракции и фитостабилизации является перспективной технологией извлечения ионов тяжелых металлов из почв городской среды [8]. Гипераккумуляторы ионов тяжелых металлов, которые способны их поглощать и транспортировать из почвы в побеги, считаются наиболее перспективными для технологии фиторемедиации. К сожалению, большинство растений в природе чувствительны к чрезмерному содержанию тяжелых металлов в почве. Более того, медленный рост и небольшая биомасса многих гипераккумуляторов тяжелых металлов ограничивают их применение для восстановления почв, загрязненных тяжелыми металлами [11]. При фитостабилизации ионы тяжелых металлов абсорбируются и удерживаются корнями и ризосферой, тем самым подавляя подвижность этих ионов, ограничивая их вымывание в грунтовые воды и снижая биодоступность для транслокации в пищевую цепь [11, 22–25].

Древесные растения, особенно быстрорастущие виды с большим объемом биомассы, вызывают широкий интерес для применения в фитостабилизации [12, 14, 25]. Нами установлена относительно высокая способность вида *A. Nepalensis* накапливать цинк, свинец и кадмий в корнях при выращивании на пяти участках с интенсивно загрязненными почвами и значительное накопление кадмия в побегах при выращивании на умеренно загрязненных почвах. Это указывает на возможность его применения в фиторемедиации горных районов [18, 19, 26].

Выводы

Устойчивые к загрязнению почвы проростки видов *Gleditsia triacanthos* L., *Caragana arboréscens* L. вследствие своей превосходной приспособляемости даже на деградированной и загрязненной ионами тяжелых металлов, почве участка № 1 показали высокий уровень накопления биомассы без достоверных фактов угнетения ростовых процессов. Контролируемый процесс фиторемедиации, проводимый в полевых условиях, обнаружил высокую сорбционную способность этих видов, что дает возможность рекомендовать их к использованию в технологии восстановления почв, загрязненных ионами тяжелых металлов.

Список литературы

- [1] Glick B.R. Phytoremediation: synergistic use of plants and bacteria to clean up the environment // *Biotechnology Advances*, 2010, v. 21, no. 5, pp. 383–393.
- [2] Kang D.-H., Tsao D., Wang-Cahill F., Rock S., Schwab A.P., Banks M.K. Assessment of Landfill Leachate Volume and Concentration of Cyanide and Fluoride during Phytoremediation // *Bioremediation J.*, 2012., v. 12, no. 1, pp. 32–45.
- [3] Kabata-Pendias A., Pendias H. Trace elements in soil and plants. CRC Press LLC, 2001, 413 p.
- [4] Meena M.K. Impact of arsenic-polluted groundwater on soil and produce quality: a food chain study // *Environmental Monitoring and Assessment*, 2020, v. 192, no. 12, p. 785.
- [5] Yu H., Huang J., Ji C., Li Z. Construction of a landscape ecological network for a large-scale energy and chemical industrial base: a case study of Ningdong, China // *Land*, 2021, v. 10, no. 4, p. 344.
- [6] Junior A.M.D., Oliva M.A., Ferreira F.A. Dispersal pattern of airborne emissions from an aluminium smelter in Ouro Preto, Brasil, as expressed by foliar fluoride accumulation in eight plant species // *Ecological Indicators*, 2012, v. 8, no. 5, pp. 454–461.
- [7] Pilon-Smits E., Pilon M. Phytoremediation of Metals Using Transgenic Plants // *Critical Reviews in Plant Sciences*, 2014, v. 21, no. 5, pp. 439–456.
- [8] Bian Z., Yu H., Hou J., Mu S. Influencing factors and evaluation of land degradation of 12 coal mine areas in Western China // *J. of China Coal Society*, 2020, v. 45, pp. 338–350.
- [9] Pashentsev D.A., Abramova A.I., Eriashvili N.D., Grimal'skaya S.A., Gafurova A.Ya., Kharisova G.M., Karpenko G.V., Avilova V.V. Digital software of industrial enterprise environmental monitoring // *Ekoloji*, 2019, v. 28 (107), pp. 243–251.
- [10] Wang S., Huang J., Yu H., Ji C. Recognition of landscape key areas in a coal mine area of a semi-arid steppe in China: a case study of Yimin open-pit coal mine // *Sustainability*, 2020, v. 12, p. 2239.
- [11] Zhao A., Yu Q., Feng L., Zhang A., Pei T. Evaluating the cumulative and time-lag effects of drought on grassland vegetation: a case study in the Chinese Loess Plateau // *J. of Environmental Management*, 2020, v. 261, p. 110214.
- [12] Safonov A., Glukhov A. Ecological phytomonitoring in Donbass using geoinformational analysis // *BIO Web Conf.*, 2021, v. 31, no. 00020, 4 p.
- [13] Kramer U. Phytoremediation: novel approaches to cleaning up polluted soils // *Current Opinion in Biotechnology*, 2008, v. 16, no. 2, pp. 133–141.
- [14] Хавезов И., Цалев Д. Атомно-абсорбционный анализ. Л.: Химия, 1983. 144 с.
- [15] Bayouli I.T., Bayouli H.T., Dell'Oca A., Meers E., Sun J. Ecological indicators and bioindicator plant species for biomonitoring industrial pollution: Eco-based environmental assessment // *Ecological Indicators*, 2021, v. 125, p. 107508.
- [16] Zaghoul A., Saber M., Gadow S., Awad F. Biological indicators for pollution detection in terrestrial and aquatic ecosystems // *Bulletin of the National Research Centre*, 2020, v. 44, no. 127, p. 385.
- [17] Hancock G.R., Martin Duque J.F., Willgoose G.R. Mining rehabilitation – Using geomorphology to engineer ecologically sustainable landscapes for highly disturbed lands // *Ecological Engineering*, 2020, v. 155, p. 105836.
- [18] Neamtu R., Sluser B., Plavan O., Teodosiu C. Environmental monitoring and impact assessment of Prut River cross-border pollution // *Environmental Monitoring and Assessment*, 2021, v. 193, no. 340, p. 09110.

- [19] Zhang M., Wang J., Li S., Feng D., Cao E. Dynamic changes in landscape pattern in a large-scale opencast coal mine area from 1986 to 2015: a complex network approach // *Catena*, 2020, v. 194, p. 104738.
- [20] Safonov A. Ecological scales of indicator plants in an industrial region // *BIO Web Conf.*, 2022, v. 43, no. 03002, 8 p.
- [21] An Y., Liu S., Sun Y., Shi F., Beazley R. Construction and optimization of an ecological network based on morphological spatial pattern analysis and circuit theory // *Landscape Ecology*, 2021, v. 36, pp. 2059–2076.
- [22] Yeprintsev S.A., Shekoyan S.V., Lepeshkina L.A., Voronin A.A., Klevtsova M.A. Technologies for creating geographic information resources for monitoring the socio-ecological conditions of cities // *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*, 2019, no. 582(1), p. 012012.
- [23] Safonov A.I. Phyto-qualimetry of toxic pressure and the degree of ecotopes transformation in Donetsk region // *Problems of ecology and nature protection of technogenic region*, 2013, no. 1, pp. 52–59.
- [24] Safonov A.I. Phytoindicational monitoring in Donetsk // *World Ecology J.*, 2016, v. 6, no. 4, pp. 59–71.
- [25] Zhang P., Ye Q., Yu Y. Research on farmers' satisfaction with ecological restoration performance in coal mining areas based on fuzzy comprehensive evaluation // *Global Ecology and Conservation*, 2021, v. 32, p. 1934.
- [26] Xu W., Wang J., Zhang M., Li S. Construction of landscape ecological network based on landscape ecological risk assessment in a large-scale opencast coal mine area // *J. of Cleaner Production*, 2021, v. 286, p. 125523.

Сведения об авторе

Фрунзе Оксана Валентиновна — канд. техн. наук, доцент, Донецкий национальный университет, o.frunze@donnu.ru

Поступила в редакцию 10.06.2022.

Одобрено после рецензирования 20.09.2022.

Принята к публикации 07.10.2022.

WOODY AND SHRUB PLANT PHYTOREMEDIATION OF SOILS CONTAMINATED WITH HEAVY METAL IONS

O.V. Frunze

Donetsk National University, 24, Universitetskaya st., 83000, Donetsk

o.frunze@donnu.ru

The use of woody and shrubby plants with a developed root system and a large biomass in the technology of phytoremediation of soils contaminated with heavy metals is analyzed. Woody plants can be used in the process of phyto-recovery of urban systems as long-term absorbers of heavy metal ions from the soil. The main mechanisms of phytoremediation of contaminated urban areas with the help of trees and shrubs are considered. The sorption capacity of cobalt, manganese and chromium ions by some species of woody and shrubby plants has been studied. The accumulation of heavy metals by seedlings under conditions of soil contamination with cobalt, manganese and chromium ions was studied. The transfer factor of cobalt, manganese and chromium ions was determined for the studied plant species. Species-hyperaccumulators of heavy metals, *Gleditsia triacanthos* L., *Caragana arboréscens* L., have been identified, which can be used for phyto restoration of soils of the technogenic region contaminated with cobalt, manganese and chromium ions. Low concentrations of cobalt, manganese and chromium were noted in the seedlings of *Quercus robur* L. and *Robinia pseudoacacia* L. in the aerial part, which indicates their ability to exclude heavy metal ions from their aerial parts. It has been established that seedlings of *Gleditsia triacanthos* L., *Caragana arboréscens* L., resistant to soil pollution, due to their excellent adaptability, even on degraded and contaminated with heavy metals soil of the experimental plot, have a high level of biomass accumulation without reliable facts of inhibition of growth processes. During the controlled process of phytoremediation carried out in the field, their high sorption capacity was noted, which makes it possible to recommend these species for use in technologies for the restoration of soils contaminated with heavy metal ions.

Keywords: cobalt, manganese, chromium, technogenic pollution, phytoremediation, hyperaccumulator plants, sorption capacity

Suggested citation: Frunze O.V. *Fitoremediatsiya pochv, zagryaznennykh ionami tyazhelykh metallov, s pomoshch'yu drevesnykh i kustarnikovykh rasteniy* [Woody and shrub plant phytoremediation of soils contaminated with heavy metal ions]. *Lesnoy vestnik / Forestry Bulletin*, 2022, vol. 26, no. 6, pp. 92–98.

DOI: 10.18698/2542-1468-2022-6-92-98

References

- [1] Glick B.R. Phytoremediation: synergistic use of plants and bacteria to clean up the environment. *Biotechnology Advances*, 2010, v. 21, no. 5, pp. 383–393.
- [2] Kang D.-H., Tsao D., Wang-Cahill F., Rock S., Schwab A.P., Banks M.K. Assessment of Landfill Leachate Volume and Concentration of Cyanide and Fluoride during Phytoremediation. *Bioremediation J.*, 2012., v. 12, no. 1, pp. 32–45.
- [3] Kabata-Pendias A., Pendias H. Trace elements in soil and plants. CRC Press LLC, 2001, 413 p.
- [4] Meena M.K. Impact of arsenic-polluted groundwater on soil and produce quality: a food chain study. *Environmental Monitoring and Assessment*, 2020, v. 192, no. 12, p. 785.

- [5] Yu H., Huang J., Ji C., Li Z. Construction of a landscape ecological network for a large-scale energy and chemical industrial base: a case study of Ningdong, China. *Land*, 2021, v. 10, no. 4, p. 344.
- [6] Junior A.M.D., Oliva M.A., Ferreira F.A. Dispersal pattern of airborne emissions from an aluminium smelter in Ouro Preto, Brasil, as expressed by foliar fluoride accumulation in eight plant species. *Ecological Indicators*, 2012, v. 8, no. 5, pp. 454–461.
- [7] Pilon-Smits E., Pilon M. Phytoremediation of Metals Using Transgenic Plants. *Critical Reviews in Plant Sciences*, 2014, v. 21, no. 5, pp. 439–456.
- [8] Bian Z., Yu H., Hou J., Mu S. Influencing factors and evaluation of land degradation of 12 coal mine areas in Western China. *J. of China Coal Society*, 2020, v. 45, pp. 338–350.
- [9] Pashentsev D.A., Abramova A.I., Eriashvili N.D., Grimalskaya S.A., Gafurova A.Ya., Kharisova G.M., Karpenko G.V., Avilova V.V. Digital software of industrial enterprise environmental monitoring. *Ekoloji*, 2019, v. 28 (107), pp. 243–251.
- [10] Wang S., Huang J., Yu H., Ji C. Recognition of landscape key areas in a coal mine area of a semi-arid steppe in China: a case study of Yimin open-pit coal mine. *Sustainability*, 2020, v. 12, p. 2239.
- [11] Zhao A., Yu Q., Feng L., Zhang A., Pei T. Evaluating the cumulative and time-lag effects of drought on grassland vegetation: a case study in the Chinese Loess Plateau. *J. of Environmental Management*, 2020, v. 261, p. 110214.
- [12] Safonov A., Glukhov A. Ecological phytomonitoring in Donbass using geoinformational analysis. *BIO Web Conf.*, 2021, v. 31, no. 00020, 4 p.
- [13] Kramer U. Phytoremediation: novel approaches to cleaning up polluted soils. *Current Opinion in Biotechnology*, 2008, v. 16, no. 2, pp. 133–141.
- [14] Khavezov I., Tsalev D. *Atomno-absorbtsionnyi analiz* [Atomic absorption analysis]. Leningrad: Khimiya [Chemistry], 1983, 144 p.
- [15] Bayouli I.T., Bayouli H.T., Dell’Oca A., Meers E., Sun J. Ecological indicators and bioindicator plant species for biomonitoring industrial pollution: Eco-based environmental assessment. *Ecological Indicators*, 2021, v. 125, p. 107508.
- [16] Zaghoul A., Saber M., Gadow S., Awad F. Biological indicators for pollution detection in terrestrial and aquatic ecosystems. *Bulletin of the National Research Centre*, 2020, v. 44, no. 127, p. 385.
- [17] Hancock G.R., Martin Duque J.F., Willgoose G.R. Mining rehabilitation – Using geomorphology to engineer ecologically sustainable landscapes for highly disturbed lands. *Ecological Engineering*, 2020, v. 155, p. 105836.
- [18] Neamtu R., Sluser B., Plavan O., Teodosiu C. Environmental monitoring and impact assessment of Prut River cross-border pollution. *Environmental Monitoring and Assessment*, 2021, v. 193, no. 340, p. 09110.
- [19] Zhang M., Wang J., Li S., Feng D., Cao E. Dynamic changes in landscape pattern in a large-scale opencast coal mine area from 1986 to 2015: a complex network approach. *Catena*, 2020, v. 194, p. 104738.
- [20] Safonov A. Ecological scales of indicator plants in an industrial region. *BIO Web Conf.*, 2022, v. 43, no. 03002, 8 p.
- [21] An Y., Liu S., Sun Y., Shi F., Beazley R. Construction and optimization of an ecological network based on morphological spatial pattern analysis and circuit theory. *Landscape Ecology*, 2021, v. 36, pp. 2059–2076.
- [22] Yeprintsev S.A., Shekoyan S.V., Lepeshkina L.A., Voronin A.A., Klevtsova M.A. Technologies for creating geographic information resources for monitoring the socio-ecological conditions of cities. *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*, 2019, no. 582(1), p. 012012.
- [23] Safonov A.I. Phyto-qualimetry of toxic pressure and the degree of ecotopes transformation in Donetsk region. *Problems of ecology and nature protection of technogenic region*, 2013, no. 1, pp. 52–59.
- [24] Safonov A.I. Phytoidicational monitoring in Donetsk. *World Ecology J.*, 2016, v. 6, no. 4, pp. 59–71.
- [25] Zhang P., Ye Q., Yu Y. Research on farmers’ satisfaction with ecological restoration performance in coal mining areas based on fuzzy comprehensive evaluation. *Global Ecology and Conservation*, 2021, v. 32, p. 1934.
- [26] Xu W., Wang J., Zhang M., Li S. Construction of landscape ecological network based on landscape ecological risk assessment in a large-scale opencast coal mine area. *J. of Cleaner Production*, 2021, v. 286, p. 125523.

Author’s information

Frunze Oksana Valentinovna — Cand. Sci. (Technology), Associate Professor, Head of Plant Physiology the Department, Donetsk National University, o.frunze@donnu.ru

Received 10.06.2022.

Approved after review 20.09.2022.

Accepted for publication 07.10.2022.

ЭКОЛОГИЧЕСКИЕ ОСОБЕННОСТИ ФОРМИРОВАНИЯ ФЛОРИСТИЧЕСКОГО СОСТАВА В ЗОНЕ ВЛИЯНИЯ КАРЬЕРОВ ЮЖНОГО УРАЛА

Л.Р. Шугаипова^{1✉}, А.А.Кулагин², А.В. Шулепов³

¹ФГБОУ ВО «Башкирский государственный педагогический университет им. М. Акмуллы», 450008, Россия, Республика Башкортостан, г. Уфа, ул. Октябрьской революции, д. 3а

²ФГБОУ ВО «Нижевартовский государственный университет», 628605, Россия, Ханты-Мансийский автономный округ — Югра, г. Нижневартовск, ул. Ленина, д. 56

³ФГБОУ ВО «Санкт-Петербургский государственный аграрный университет», 196601, Россия, г. Санкт-Петербург, ул. Петербургское шоссе, д. 2

Lika4.husainova@yandex.ru

Изложено описание результатов исследований, проведенных на территории горно-обогатительных комбинатов Южного Урала, в частности в Челябинской обл., Республике Башкортостан и Оренбургской обл. Рассмотрены вопросы влияния функционирования карьеров горно-обогатительных комбинатов на процесс зарастания прилегающей к ним территории. Определено общее количество видов растений, охарактеризован процесс естественной ренатурализации техногенного ландшафта вблизи карьеров горно-обогатительных комбинатов. Проведена экологическая инвентаризация растительности в зоне влияния карьеров.

Ключевые слова: горно-обогатительный комбинат, флористический анализ, видовое разнообразие

Ссылка для цитирования: Шугаипова Л.Р., Кулагин А.А., Шулепов А.В. Экологические особенности формирования флористического состава в зоне влияния карьеров Южного Урала // Лесной вестник / Forestry Bulletin, 2022. Т. 26. № 6. С. 99–105. DOI: 10.18698/2542-1468-2022-6-99-105

Множество научных работ было посвящено экологическому состоянию Южного Урала, в особенности наличию отходов горнопромышленного производства, которое изменило состав и структуру флоры. Тем не менее, не было уделено внимание деятельности непосредственно на карьерах, несущей негативную экологическую нагрузку на прилегающие к карьерам территории, а именно на растительный покров, как основного источника пылевых выбросов в процессе добычи сырья. В современных условиях исследования, направленные на изучение особенностей самозарастания территорий и рекультивации нарушенных земель, являются актуальными в связи с необходимостью обеспечения экологической безопасности.

Исследование процессов ренатурализации прилегающих к карьерам территорий было проведено в период с 2012 по 2021 гг. на территории карьеров следующих семи горно-обогатительных комбинатов Южного Урала [1–4]:

- 1) на Кыштымском горно-обогатительном комбинате в г. Кыштым;
- 2) Томинском — в пос. Томинский;
- 3) Учалинском — в г. Учалы;
- 4) Белорецком горно-обогатительном комбинате «Башкирская горнорудная компания» («БГРК») в г. Белорецк;
- 5) Сибайском филиале Учалинского горно-обогатительного комбината (далее Учалинский ГОК) в г. Сибай;

6) Гайском горно-обогатительном комбинате в г. Гай;

7) Киембаевском асбестовом горно-обогатительном комбинате в г. Ясный.

Научные исследования проводились с помощью метода закладки пробных площадей (ПП) на трансектах, принятого как основной способ организации наблюдений за растительным покровом [5–9].

Пробные площади закладывались по методикам Н.Т. Смирнова [11] и А.Г. Мошкалева [10]. Размер пробных площадей составлял 10×10 м. На каждом объекте было заложено по 16 пробных площадей на расстоянии 125 м — 5000 м от источника загрязнения [12–14]. Выбор мест закладки пробных площадей проводился на основании рекогносцировочных исследований территорий карьеров, которые включают в себя ознакомление с произрастающими там растениями.

Кроме того, пробные площади закладывались по направлению наибольшей повторяемости господствующих ветров, установленных по показателю розы ветров. К тому же, важным фактором закладки пробных площадей служила характеристика микрорельефа в пределах карьера и его ландшафтные особенности. В частности пробные площади иногда закладывались не на равнинных участках, а трансекты пересекались с водными объектами или каменистыми участками.

Подсчет количества и видов растений на пробных площадях проводили в течение вегетативного периода (с середины мая до середины сентября).

Т а б л и ц а 1

**Коэффициент флористического сходства для видов, произрастающих
в зоне влияния горно-обогатительных комбинатов (ГОК)**
Floristic similarity coefficient for species growing in the zone influenced by mining complexes (GOK)

Природная зона	Наименование объекта	Количество видов		Коэффициент флористического сходства, %						
		Для зоны	На исследуемом объекте, шт. (%)	Кыштымский ГОК	Томинский ГОК	Учалинский ГОК	Белорецкий ГОК «БГРК»	Сибайский филиал «Учалинский ГОК»	Гайский ГОК	Киембаевский асбестовый ГОК
Лесостепная	Кыштымский ГОК	1500	31(2,1)	–	20,5	21,1	30,8	36,0	27,4	29,1
	Томинский ГОК		69(4,6)	20,5	–	24,0	25,5	27,7	33,0	23,9
Горно-лесная	Учалинский ГОК	1680	55(3,3)	21,1	24,0	–	26,7	24,3	21,2	26,7
	Белорецкий ГОК «БГРК»		54(3,2)	30,8	25,5	26,7	–	37,9	41,7	38,2
	Сибайский филиал «Учалинский ГОК»		37(2,2)	36,0	27,7	24,3	37,9	–	41,7	42,6
Степная	Гайский ГОК	1610	48(3)	27,4	33,0	21,2	41,7	41,7	–	61,0
	Киембаевский ГОК		40(2,5)	29,1	23,9	26,7	38,2	42,6	61,0	–

Исходя из особенностей распространения видов растений, было установлено, что значительное нарушение земель вблизи исследуемых горно-обогатительных комбинатов отмечается на различном удалении. В пределах Кыштымского горно-обогатительного комбината процесс ренатурализации наблюдается на расстоянии 350 м от источника загрязнения, Томинского — на расстоянии 125 м. На остальных объектах активное зарастание земель происходило на расстоянии 850 м от источника загрязнения. Увеличение площади проективного покрытия наблюдается на расстоянии 1000 м от карьера, что характерно для всех исследуемых объектов [15, 19].

На основании работ выдающихся ботаников и лесоводов — П.Л. Горчаковского и Б.П. Колесникова, Ю.З. Кулагина, Л.Г. Наумовой, Б.М. Миркина [20, 21], которые посвятили себя изучению растительности Урала и описали флору еще до начала работы карьеров, можно отметить, что многолетняя деятельность горно-обогатительных комбинатов не способствует восстановлению структуры растительного покрова в первозданном виде, а техногенез наносит невосполнимый экологический ущерб, формируя на больших площадях отвалы и отходы.

Было подсчитано общее количество видов растений на изучаемых объектах. Для более глубокого анализа видового богатства между исследуемыми объектами по формуле П. Жаккара вычислили коэффициент сходства (табл. 1).

Для подробного описания флористического состава были выделены доминантные и специ-

фические виды, виды-аборигены, охраняемые и лекарственные виды, адвентивные и инвазивные виды растений (табл. 2).

В зоне влияния *Кыштымского* ГОК обнаружен 31 вид растений, из них 22,6 % составляли древесные виды, 77,4 % травянистые. Площадь проективного покрытия на ПП № 1, 2 составляет по 10 %, на ПП № 3 — 20 %, на ПП №4–6 — 30 %, на ПП № 7, 9, 10, 12, 13 — 40 % и на ПП № 8, 11, 14–16 — 50 %.

В зоне влияния *Томинского* ГОК обнаружено 69 видов растений, из них 8 % приходится на древесные виды и 92 % на травянистые виды. Площадь проективного покрытия на ПП № 1, 2 составляет по 70 %, на ПП № 3 — 80 %, на ПП № 4 — 90 %, на ПП № 5–16 по 100 %.

В зоне влияния *Учалинского* ГОК обнаружено 55 видов растений, из них 10,9 % составляли древесные виды и 89,1 % травянистые. Площадь проективного покрытия на ПП № 1, 2 составляет по 10 %, на ПП № 3–5 по 20 %, на ПП № 6 — 30 %, на ПП № 7 — 40 %, на ПП № 8 — 50 %, на ПП № 9 — 60 %, на ПП № 10 — 80 %, на ПП № 11–14 по 90 %, на ПП № 15, 16 по 100 %.

В зоне влияния *Белорецкого* ГОК обнаружено 54 вида растений, из них 5,6 % составляли древесные виды и 94,4 % травянистые. Площадь проективного покрытия на ПП № 1, 2 составляет по 10 %, на ПП № 3 — 20 %, на ПП № 4 и 5 по 30 %, на ПП № 6 — 40 %, на ПП № 7 — 50 %, на ПП № 8–10 по 60 %, на ПП № 11, 12 по 70 %, на ПП № 13 — 80 %, на ПП № 14, 15 по 90 %, на ПП № 16 — 100 %.

Т а б л и ц а 2

Виды растений по групповой принадлежности, встречающиеся на исследуемых объектах, %

Plant species by group belonging to the studied objects, %

Природная зона	Наименование объекта	Доминантные	Специфические*	Виды-аборигены	Охраняемые	Лекарственные	Адвентивные	Инвазивные
Лесостепная	Кыштымский ГОК	32,3	3,2	25,8	–	32,3	–	12,9
	Томинский ГОК	29,0	24,6	31,9	4,4	14,5	7,3	14,5
Горно-лесная	Учалинский ГОК	16,4	10,9	29,1	–	9,1	1,8	12,7
	Белорецкий ГОК «БГРК»	35,2	9,3	29,6	–	24,1	3,7	13,0
	Сибайский филиал «Учалинский ГОК»	37,8	2,7	27,0	2,7	18,2	2,7	18,9
Степная	Гайский ГОК	45,8	6,3	22,9	–	25,0	10,4	13,0
	Киембаевский ГОК	35,0	2,5	20,0	–	27,5	5,0	17,5

Примечание. * Специфическими названы виды, которые встречаются только на исследуемом объекте.

В зоне влияния *Сибайского* филиала «Учалинский ГОК» обнаружено 37 видов растений, из них 10,8 % составляли древесные виды, и 89,2 % травянистые. Площадь проективного покрытия на ПП № 1–4 составляет по 10 %, на ПП № 5 и 6 по 20 %, на ПП № 7 — 30 %, на ПП № 8 и 9 по 40 %, на ПП № 10 — 50 %, на ПП № 11 — 60 %, на ПП № 12, 13 по 70 %, на ПП № 14 — 80 %, на ПП № 15 — 90 %, на ПП № 16 — 100 %.

В зоне влияния *Гайского* ГОК обнаружено 48 видов растений, из них 14,6 % составляли древесные виды и 85,4 % травянистые. Площадь проективного покрытия на ПП № 1 и 2 составляет по 10 %, на ПП № 3–5 по 20 %, на ПП № 6 — 30 %, на ПП № 7 — 40 %, на ПП № 8, 9 по 50 %, на ПП № 10, 11 по 60 %, на ПП № 12 — 70 %, на ПП № 13 — 80 %, на ПП № 14 — 90 %, на ПП № 15 и 16 по 100 %.

В зоне влияния *Киембаевского* ГОК обнаружено 40 видов растений, из них 10 % составляли древесные виды и 90 % травянистые. Площадь проективного покрытия на ПП № 1 и 2 составляет по 10 %, на ПП № 3–5 по 20 %, на ПП № 6 и 7 по 30 %, на ПП № 8 и 9 по 60 %, на ПП № 10 и 11 по 70 %, на ПП № 12 — 80 %, на ПП № 13 — 90 %, на ПП № 14–16 по 100 %.

Встречались следующие специфические виды (в скобках указано расстояние от источника загрязнения):

– *Plantago lanceolata* (700–3000 м) на Кыштымском ГОК;

– *Tilia cordata* (850–3000 м), *Cotoneaster lucidus* (850–3000 м), *Althaea officinalis* (1000–9000 м), *Aulacospermum multifidum* (850–3000 м), *Heraclium sibiricum* (850–3000 м), *Stachys officinalis* (1400–2500 м), *Thalictrum simplex* (850–3000 м), *Cypripedium guttatum* (850–5000 м), *Veronica chamaedrys* (850–3000 м), *Epipactis palustris*

(850–3000 м), *Stipa pennata* (250–5000 м), *Rubus saxatilis* (1000–1400 м), *Allium nutans* (2500–3000 м), *Lupinus albus* (3000–3400 м), *Medicago falcata* (3800–4200 м), *Erigeron podolicus* (250–5000 м) на Томинском ГОК;

– *Astragalus helmii* (1000–2000 м), *Archangelica officinalis* (2000–2500 м), *Solidago virgaurea* (850–2500 м), *Hedysarum alpinum* (3400–5000 м), *Anacetum kittaryanum* (3000–5000 м), *Lathyrus vernus* (3400–5000 м) на Учалинском ГОК;

– *Astragalus danicus* (4200–5000 м), *Cirsium arvense* (850–5000 м), *Anemonastrum biarmiense* (1000–5000 м), *Conioselinum tataricum* (1000–5000 м) на Белорецком ГОК;

– *Inula germanica* (1000–4600 м) на Сибайском филиале «Учалинский ГОК»;

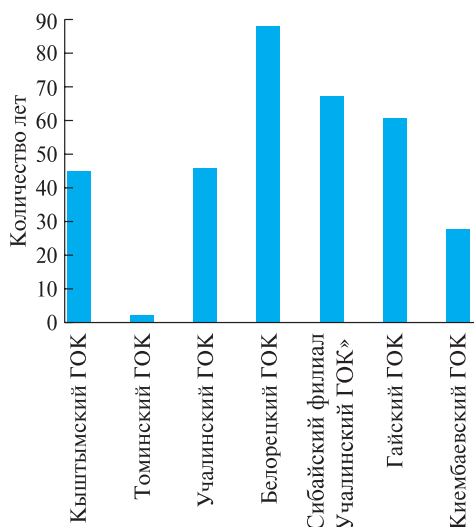
– *Crataegus laevigata* (1000–5000 м), *Phalaris arundinacea* (125–700 м), *Hieracium vulgatum* (4600–5000 м) на Гайском ГОК;

– *Melilotus albus* (4200–5000 м) на Киембаевском ГОК.

Выделены виды, которые относятся к лекарственным, охраняемым и адвентивным растениям: *Tilia cordata*, *Sorbus aucuparia*, *Crataegus laevigata*, *Prunus fruticosa*, *Rosa majalis*, *Althaea officinalis*, *Ledum palustre*, *Cypripedium guttatum*, *Inula hirta*, *Epipactis palustris*, *Archangelica officinalis*, *Hypericum maculatum*, *Allium nutans*, *Artemisia absinthium*, *Agrimonia pilosa*, *Crepis tectorum*, *Carum carvi*, *Achillea millefolium*, *Oberna behen*, *Cichorium intybus*.

Лекарственные виды также встречаются на различном расстоянии в зависимости от исследуемого ГОК. В зоне влияния Кыштымского ГОК, Томинского ГОК и Сибайского ГОК лекарственные растения произрастают на расстоянии 500–700 м от источника загрязнения. Вблизи Гайского ГОК и Киембаевского ГОК их наличие отмечается на

расстоянии 1000 м от источника загрязнения. На территории Учалинского ГОК и Белорецкого ГОК лекарственные растения распространены на расстоянии 2500 м от источника загрязнения.



Период активной добычи на карьерах

Хронологическая характеристика карьеров исследуемых объектов

Chronological characteristics of the studied opencasts

Проанализировав данные, приведенные в табл. 1 и на диаграмме, можно сделать вывод о том, что на территории Кыштымского ГОК низкий показатель количества специфических видов связан с длительным периодом добычи сырья. Такие же низкие показатели на территории Учалинского ГОК, Гайского ГОК и Киембаевского ГОК. Для территории карьеров Белорецкого ГОК и Сибайского филиала «Учалинский ГОК» низкий показатель видов связан с высокотоксичными продуктами, выделяемыми при добыче медно-колчеданной, цинковой и железной руд, которые оказывают наибольшее негативное влияние на флористический состав растительности на прилегающих территориях.

Большой процент составляют доминантные виды, адаптировавшиеся к условиям обитания. Охраняемые виды отмечены лишь на территории Томинского ГОК и Сибайского филиала «Учалинский ГОК».

На изучаемых объектах подсчитано общее количество видов растений. На всех исследуемых объектах отмечены доминирующие виды: *Betula pendula*, *Ulmus laevis*, *Picea obovata*, *Ligustrum vulgare*, *Rosa majalis*, *Ledum palustre*, *Convolvulus arvensis*, *Vicia cracca*, *Trifolium montanum*, *Scorzonera austriaca*, *Knautia arvensis*, *Potentilla anserina*, *Arctium lappa*, *Linaria vulgaris*, *Euphorbia virgata*, *Nonea rossica*, *Artemisia vulgaris*, *Elytrigia repens*, *Achillea millefolium*, *Setaria pumila*.

Анализ растительного покрова на изученных территориях показал, что нарушение земель ведет прежде всего к истощению видового разнообразия, а также к таким глубоким экологическим изменениям, как исчезновение биогеоценозов, деградация почвенного покрова, нарушение гидрологического состояния территорий, загрязнение прилегающих естественных биогеоценозов и агроценозов. Эти изменения, в свою очередь, ведут к снижению их продуктивной деятельности. Основными загрязнителями территории, подверженной деятельности предприятий ГОК, являются тяжелые металлы. Состояние тяжелых металлов в почвах в значительной степени определяет генезис и плодородие почв. Загрязнение почв тяжелыми металлами приводит к последовательному изменению течения всех реакций в почве, биоте, растениях. Изменение биохимических процессов в растениях и биоте влияет на их воздействие на почву [22–26].

Список литературы

- [1] Бондарь Г.А. Растительный покров надугольной толщи Александровского бурогоугольного месторождения и вопросы фиторекультивации: автореф. дис. ... канд. биол. наук 03.00.05. Днепропетровск, 1974. 41 с.
- [2] Боровиков, В.А. STATISTICA: искусство анализа данных на компьютере. Для профессионалов. СПб.: Корона, 2001. 656 с.
- [3] Миркин Б.М., Наумова Л.Г., Соломеш А.И. Современная наука о растительности. М.: Логос, 2001. 280 с.
- [4] Амосов Л.А., Мормиль С.И. Попутные полезные компоненты медных и железорудных месторождений Урала // Изв. вузов. Горный журнал, 1996. № 3. С. 10–26.
- [5] Кулагин А.А., Шагиева Ю.А. Древесные растения и биологическая консервация промышленных загрязнителей. М.: Наука, 2005. 191 с.
- [6] Годовой отчет за 2014 ОАО «Кыштымского горно-обогатительного комбината». Кыштым, 2015. 9 с.
- [7] Назаренко В.В. Изменение природных условий при эксплуатации карьеров и их роль в развитии прилегающих территорий // Проблемы экологической геоморфологии. Белгород: [б.и.], 2000. С. 12–13.
- [8] Рязанова Л.В. Материалы к флоре степного юга Челябинской области // Флора и растительность Урала и пути их охраны. Челябинск: Изд-во Челябинского пед. ин-та, 1989. С. 36–46.
- [9] Калабин Г.В. Количественная оценка динамики растительного покрова нарушенных территорий в зоне влияния горнопромышленных комплексов с помощью сопряженного дистанционного и наземного мониторинга // Физико-технические проблемы разработки полезных ископаемых, 2011. № 4. С. 144–153.
- [10] Мошкалева А.Г. Закладка лесотаксационных и дешифровочных пробных площадей. Л.: Изд-во ЛТА, 1988. 80 с.
- [11] Смирнов Н.Т. Закладка пробных площадей. Методические указания по закладке пробных площадей. Уссурийск: Изд-во ПСХИ, 1979. 75 с.
- [12] Рудский В.В. Природопользование в горных странах. Природопользование в горных странах. Новосибирск: Наука, 2000. 207 с.
- [13] Семячков А.И. Металлы в окружающей среде горно-металлургических комплексов Урала. Екатеринбург: Изд-во УГГТА, 2001. 320 с.

- [14] Моторина Л.В., Ижевская Т.И. К динамике естественной растительности на отвалах угольных карьеров в Подмосковном бассейне // Научные основы охраны природы, 1973. Вып. 2. С. 87–91.
- [15] Nagamatis D., Hicabuki Y., Mochida Y. Influence of microlandforms on forest structure, tree death and recruitment in a Japanese temperate mixed forest // *Ecol. Res.*, 2003, v. 18, no. 5, pp. 533–547.
- [16] Быков Б.А. К использованию метода промеров для определения размещения и обилия растений // Ботанический журнал, 1966. № 7. С. 100–108.
- [17] Вакар Б.А. Определитель растений Урала. М.: Книга по Требованию, 2012. 416 с.
- [18] Кулагин Ю.З. Древесные растения и промышленная среда. М.: Наука, 1974. 126 с.
- [19] Newton P.F., Jolliffe P.A. Aboveground dry matter partitioning responses of black spruce to directional-specific indices of local competition // *Canadian J. of Forest Research*, 2003, t. 33, no. 1010, pp. 1832–1845. <https://doi.org/10.1139/x03-103>
- [20] Tseytlin E.M. Features of environmental hazard assessment of mining enterprises // Theses of the report of VII Krakow conference of young scientists, AGH University of Science and Technology in Krakow, 2012, pp. 809–819.
- [21] Филимонова Е.И., Уманова Е.Н., Рябухин Э.А. Начальные этапы формирования растительности на гидроотвалах Шуралино-Ягодного месторождения россыпного золота // Биологическая рекультивация нарушенных земель. Екатеринбург: Уральское отделение РАН, 1997. С. 238–247.
- [22] Хохряков А.В., Фадеичев А.Ф., Цейтлин Е.М. Динамика изменения воздействия ведущих горных предприятий Урала на окружающую среду // Изв. вузов. Горный журнал, 2011. № 8. С. 44–53.
- [23] Шадрунова И.В., Радченко Д.Н., Сыромятникова Н.В. Физико-химическая технология освоения хвостохранилищ обогатительных фабрик, перерабатывающих колчеданные руды // Экологические проблемы промышленных регионов, 2003. № 9. С. 302–304.
- [24] Шилова И.И., Логинова Н.Б. Экологическая специфика отвалов предприятий цветной металлургии и оценка возможности создания на них культурфитоценозов // Растение и промышленная среда, 1974. № 11. С. 45–56.
- [25] Kalabin G.V. Use of remote sensing to assess the environmental setting of the territories – zones of mining complex enterprises // *Mining World Express (MWE)*, 2012, v. 1, iss. 1, pp. 1–7.
- [26] Гильмутдинова Р.А., Мичурин С.В., Ковтуненко С.В., Елезарьева Е.Н. К вопросу об использовании и переработке отходов горно-обогатительных комбинатов Южного Урала // Успехи современного естествознания, 2017, № 2, С. 68–73.

Сведения об авторах

Шугаипова Линара Равильевна✉ — ассистент кафедры экологии, географии и природопользования, ФГБОУ ВО «Башкирский государственный педагогический университет им. М. Акмуллы», Lika4.husainova@yandex.ru

Кулагин Андрей Алексеевич — д-р биол. наук, профессор кафедры экологии, ФГБОУ ВО «Нижегородский государственный университет», kulagin-aa@mail.ru

Шулупов Антон Владимирович — магистрант, ФГБОУ ВО «Санкт-Петербургский государственный аграрный университет», 9832396@mail.ru

Поступила в редакцию 10.06.2022.

Одобрено после рецензирования 20.09.2022.

Принята к публикации 10.10.2022.

ECOLOGICAL FEATURES OF FLORISTIC COMPOSITION FORMATION IN ZONE INFLUENCED BY SOUTHERN URALS OPENCASTS

L.R. Shugaipova^{1✉}, A.A. Kulagin², A.V. Shulepov³

¹Bashkir State Pedagogical University named after M. Akmulla, 3a, Oktyabrskaya revolyutsii st., 450008, Ufa, Republic of Bashkortostan, Russia

²Nizhnevartovsk State University, 56, Lenin st., Nizhnevartovsk, Khanty-Mansi Autonomous Okrug-Yugra, Russia

³St. Petersburg State Agrarian University, 2, Petersburg highway, Saint Petersburg, Russia

Lika4.husainova@yandex.ru

The data research carried out on the territory of the mining complexes in the Southern Urals, in particular in the Chelyabinsk region, the Republic of Bashkortostan and the Orenburg region, is presented. The influence of the mining complex opencasts on the process of vegetation colonization of the territory adjacent to them are considered. The total number of plant species has been determined, and the process of renaturalization of the technogenic landscape near the opencasts of mining complexes has been characterized. An ecological inventory of vegetation in the zone influenced by opencasts was carried out.

Keywords: mining complex, floristic analysis, species diversity

Suggested citation: Shugaipova L.R., Kulagin A.A., Shulepov A.V. *Ekologicheskie osobennosti formirovaniya floristicheskogo sostava v zone vliyaniya kar'erov Yuzhnogo Urala* [Ecological features of floristic composition formation in zone influenced by Southern Urals opencasts]. *Lesnoy vestnik / Forestry Bulletin*, 2022, vol. 26, no. 6, pp. 99–105. DOI: 10.18698/2542-1468-2022-6-99-105

References

- [1] Bondar' G.A. *Rastitel'nyy pokrov nadugol'noy tolshchi Aleksandriyskogo burougol'nogo mestorozhdeniya i voprosy fitorekul'tivatsii* [Vegetation cover of the overcoal strata of the Alexandria brown coal deposit and issues of phytoremediation]. Abstract Dis. Cand. Sci. (Biol.). 03.00.05. Dnepropetrovsk, 1974, 41 p.
- [2] Borovikov, V.A. *STATISTICA: iskusstvo analiza dannykh na komp'yutere. Dlya professionalov* [STATISTICA: the art of computer data analysis. For professionals]. St. Petersburg: Korona, 2001, 656 p.
- [3] Mirkin B.M., Naumova L.G., Solomeshch A.I. *Sovremennaya nauka o rastitel'nosti* [Modern science of vegetation]. Moscow: Logos, 2001, 280 p.
- [4] Amosov L.A., Mormil' S.I. *Poputnye poleznye komponenty mednykh i zhelezorudnykh mestorozhdeniy Urala* [Associated useful components of copper and iron ore deposits in the Urals]. *Izvestiya vuzov. Gornyy zhurnal* [Izvestiya vuzov. Mining Journal], 1996, no. 3, pp. 10–26.
- [5] Kulagin A.A., Shagieva Yu.A. *Drevesnye rasteniya i biologicheskaya konservatsiya promyshlennykh zagryazniteley* [Woody plants and biological conservation of industrial pollutants]. Moscow: Nauka, 2005, 191 p.
- [6] *Godovoy otchet za 2014 OAO «Kyshtym'skogo gorno-obogatitel'nogo kombinata»* [Annual report for 2014 of JSC «Kyshtym Mining and Processing Plant»]. Kyshtym, 2015, 9 p.
- [7] Nazarenko V.V. *Zmenenie prirodnykh usloviy pri ekspluatatsii kar'erov i ikh rol' v razvitiy prilegayushchikh territoriy* [Changes in natural conditions during the operation of quarries and their role in the development of adjacent territories]. *Problemy ekologicheskoy geomorfologii* [Problems of ecological geomorphology]. Belgorod, 2000, pp. 12–13.
- [8] Ryazanova L.V. *Materialy k flore stepnogo yuga Chelyabinskoy oblasti* [Materials for the flora of the steppe south of the Chelyabinsk region]. *Flora i rastitel'nost' Urala i puti ikh okhrany* [Flora and vegetation of the Urals and ways of their protection]. Chelyabinsk: Chelyabinsk ped. in-t, 1989, pp. 36–46.
- [9] Kalabin G.V. *Kolichestvennaya otsenka dinamiki rastitel'nogo pokrova narushennykh territoriy v zone vliyaniya gornopromyshlennykh kompleksov s pomoshch'yu sopryazhennogo distantsionnogo i nazemnogo monitoringa* [Quantitative assessment of the dynamics of the vegetation cover of disturbed territories in the zone of influence of mining complexes using coupled remote and ground monitoring]. *Fiziko-tekhnicheskie problemy razrabotki poleznykh iskopaemykh* [Physico-technical problems of mineral development], 2011, no. 4, pp. 144–153.
- [10] Moshkalev A.G. *Zakladka lesotaksatsionnykh i deshifrovochnykh probnykh ploshchadey* [Establishment of forest inventory and interpretation trial plots]. Leningrad: LTA, 1988, 80 p.
- [11] Smirnov N.T. *Zakladka probnykh ploshchadey. Metodicheskie ukazaniya po zakladke probnykh ploshchadey* [Establishment of trial plots. Guidelines for laying trial plots]. Ussuriysk: PSHI, 1979, 75 p.
- [12] Rudskiy V.V. *Prirodopol'zovanie v gornyykh stranakh. Prirodopol'zovanie v gornyykh stranakh* [Nature management in mountainous countries. Nature management in mountainous countries]. Novosibirsk: Nauka, 2000, 207 p.
- [13] Semyachkov A.I. *Metally v okruzhayushchey srede gornometallurgicheskikh kompleksov Urala* [Metals in the environment of mining and metallurgical complexes in the Urals]. Ekaterinburg: UGTTA, 2001, 320 p.
- [14] Motorina J.I.V., Izhevskaya T.I. *K dinamike estestvennoy rastitel'nosti na otvalakh ugol'nykh kar'erov v Podmoskovnom bassejne* [On the dynamics of natural vegetation on the dumps of coal quarries in the Moscow region]. *Nauchnye osnovy okhrany prirody* [Scientific foundations of nature conservation], 1973, iss. 2, pp. 87–91.
- [15] Nagamatis D., Hicabuki Y., Mochida Y. Influence of microlandforms on forest structure, tree death and recruitment in a Japanese temperate mixed forest. *Ecol. Res.*, 2003, v. 18, no. 5, pp. 533–547.
- [16] Bykov B.A. *K ispol'zovaniyu metoda promerov dlya opredeleniya razmeshcheniya i obilya rasteniy* [On the use of the measurement method to determine the distribution and abundance of plants]. *Botanicheskiy zhurnal* [Botanical Journal], 1966, no. 7, pp. 100–108.

- [17] Vakar B.A. *Opredelitel' rasteniy Urala* [Key to plants of the Urals]. Moscow: Kniga po Trebovaniyu [Book on Demand], 2012, 416 p.
- [18] Kulagin Yu.Z. *Drevesnye rasteniya i promyshlennaya sreda* [Woody plants and the industrial environment]. Moscow: Nauka, 1974, 126 p.
- [19] Newton P.F., Jolliffe P.A. Aboveground dry matter partitioning responses of black spruce to directional-specific indices of local competition. *Canadian J. of Forest Research*, 2003, t. 33, no. 1010, pp. 1832–1845 <https://doi.org/10.1139/x03-103>
- [20] Tseytlin E.M. Features of environmental hazard assessment of mining enterprises. Theses of the report of VII Krakow conference of young scientists, AGH University of Science and Technology in Krakow, 2012, pp. 809–819.
- [21] Filimonova E.I., Umanova E.N., Ryabukhin E.A. *Nachal'nye etapy formirovaniya rastitel'nosti na gidrootvalakh Shuralino-Yagodnogo mestorozhdeniya rossypnogo zolota* [The initial stages of vegetation formation on the hydraulic dumps of the Shuralino-Yagodnoye alluvial gold deposit]. *Biologicheskaya rekul'tivatsiya narushennykh zemel'* [Biological reclamation of disturbed lands]. Yekaterinburg: Ural Branch of the Russian Academy of Sciences, 1997, pp. 238–247.
- [22] Khokhryakov A.V., Fadeichev A.F., Tseytlin E.M. *Dinamika izmeneniya vozdeystviya vedushchikh gornykh predpriyatiy Urala na okruzhayushchuyu sredu* [Dynamics of changes in the impact of the leading mining enterprises of the Urals on the environment]. *Izvestiya vuzov. Mining Journal*, 2011, no. 8, pp. 44–53.
- [23] Shadrinova I.V., Radchenko D.N., Syromyatnikova N.V. *Fiziko-khimicheskaya tekhnologiya osvoeniya khvostokhranilishch obogatitel'nykh fabrik, pererabatyvayushchikh kolchedannye rudy* [Physico-chemical technology for the development of tailings of enrichment plants that process pyrite ores]. *Ekologicheskie problemy promyshlennykh regionov* [Ecological problems of industrial regions], 2003, no. 9, pp. 302–304.
- [24] Shilova I.I., Loginova N.B. *Ekologicheskaya spetsifika otvalov predpriyatiy tsvetnoy metallurgii i otsenka vozmozhnosti sozdaniya na nikh kul'turfitosenozov* [Ecological specificity of dumps of non-ferrous metallurgy enterprises and assessment of the possibility of creating cultural phytocenoses on them]. *Rastenie i promyshlennaya sreda* [Plant and industrial environment], 1974, no. 11, pp. 45–56.
- [25] Kalabin G.V. Use of remote sensing to assess the environmental setting of the territories – zones of mining complex enterprises. *Mining World Express (MWE)*, 2012, v. 1, iss. 1, pp. 1–7.
- [26] Gil'mutdinova R.A., Michurin S.V., Kovtunenkov S.V., Elezar'eva E.N. *K voprosu ob ispol'zovanii i pererabotke otkhodov gorno-obogatitel'nykh kombinatov Yuzhnogo Urala* [On the issue of the use and processing of waste from mining and processing plants of the Southern Urals]. *Uspekhi sovremennoogo estestvoznaniya* [Successes of modern natural sciences], 2017, no. 2, pp. 68–73.

Authors' information

Shugaipova Linara Ravil'evna [✉] — Assistant of the Department of Ecology, Geography and Nature Management of the Bashkir State Pedagogical University named after M. Akmulla, Lika4.husainova@yandex.ru

Kulagin Andrey Alekseevich — Dr. Sci. (Biology), Professor of the Department of Ecology of the Nizhnevartovsk State University, kulagin-aa@mail.ru

Shulepov Anton Vladimirovich — Master graduand of the St. Petersburg State Agrarian University, 9832396@mail.ru

Received 10.06.2022.

Approved after review 20.09.2022.

Accepted for publication 10.10.2022.

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

ПРИНЦИПЫ ФОРМИРОВАНИЯ ПОДХОДА К БЛАГОУСТРОЙСТВУ ОЗЕЛЕНЕННЫХ ПРОСТРАНСТВ ЕКАТЕРИНБУРГА

Л.А. Банникова¹, А.В. Хриченков¹, А.Г. Бурцев¹, И.А. Тиганова¹,
А.С. Третьякова^{1, 2}✉, Н.Ю. Груданов², В.Д. Владыкина¹

¹ФГАОУ ВО «Уральский федеральный университет имени первого Президента России Б.Н. Ельцина», Россия, 620002, г. Екатеринбург, ул. Мира, д. 19

²ФГБУН «Ботанический сад Уральского отделения Российской академии наук», Россия, 620144, г. Екатеринбург, ул. 8 Марта, д. 202а

Alyona.Tretyakova@urfu.ru

Изложена концепция «Стандарт комплексного благоустройства набережных, парков, скверов, бульваров Екатеринбурга». Она предусматривает внедрение экологического подхода в разработке проектов реконструкции имеющихся и будущих озелененных пространств Екатеринбурга. В пределах Екатеринбурга предлагается выделить 11 ландшафтно-экологических кластеров. Описаны структурные элементы кластеров — ядро, зона стабилизации и центральная высоко урбанизированная зона. Ядро кластера образуют природные экосистемы, которые рассматриваются в качестве моделей для создания городского озеленения. Приведены сведения о методике расчета размера зоны стабилизации. Предлагается создание в парках, скверах, бульварах и набережных, расположенных в ее границах, специальной функциональной зоны естественного озелененными территориями города. Указано, что представленная концепция отражает важность значения биологического разнообразия в городской среде, направлена на его сохранение и восстановление, а также способствует формированию идентичного облика городской среды Екатеринбурга.

Ключевые слова: стандарт благоустройства, городские зеленые насаждения, биоразнообразие, ландшафтно-экологические кластеры, зеленые коридоры

Ссылка для цитирования: Банникова Л.А., Хриченков А.В., Бурцев А.Г., Тиганова И.А., Третьякова А.С., Груданов Н.Ю., Владыкина В.Д. Принципы формирования подхода к благоустройству озелененных пространств Екатеринбурга // Лесной вестник / Forestry Bulletin, 2022. Т. 26. № 6. С. 106–113.

DOI: 10.18698/2542-1468-2022-6-106-113

Городские зеленые насаждения являются важной составляющей частью любого города. Недавние исследования подтвердили связь между городским озеленением и благополучием горожан. Городские озелененные территории улучшают качество воздуха, очищают его от пыли и загрязняющих веществ, поглощают выбросы CO₂, способствуют снижению уровня шума, регулируют температурный режим [1, 2]. Городские парки оказывают благоприятное воздействие на психологическое и физическое здоровье человека. Общение с природой снижает уровень стресса, тревожности. У людей поднимается настроение и формируется позитивное отношение к жизни. Зеленые насаждения способствуют повышению социальной активности, общению, улучшению когнитивных функций. Появляется все больше данных, что зеленые насаждения стимулируют контакты организма человека с микроорганизмами, что улучшает его иммунорегуляцию и снижает предрасположенность к аллергии. Озелененные пространства выполняют образовательную и просветительскую функцию, побуждают к познанию. Это идеальные площадки для проведения

экскурсий в целях знакомства с местной флорой и фауной, обучения на открытом воздухе [3–6].

Современные концепции городского озеленения направлены не только на формирование парков, но и на сохранение и повышение биологического разнообразия в городах. Повышается интерес к использованию аборигенных растений и воссозданию природных сообществ на городских территориях. Разрабатываются проекты конструирования на городской территории водно-зеленого каркаса, объединяющего все зеленые насаждения в единую непрерывную сеть [7–9].

В настоящее время муниципальное образование (МО) «город Екатеринбург» (далее — Екатеринбург) представляет собой активно растущий промышленный, научный, образовательный и культурный центр Российской Федерации с высокими темпами жилищного строительства. Для повышения инвестиционной привлекательности территории рекомендуется создание комфортной городской среды для жизни людей путем развития транспортной и инженерной инфраструктур, экономической деятельности и системы озелененных общественных пространств. В связи с этим по заказу Департамента архитектуры, градостроительства и регулирования земельных отношений

Администрации г. Екатеринбурга подготовлен «Стандарт комплексного благоустройства набережных, парков, скверов, бульваров Екатеринбурга».

Цель работы

Цель работы — рассмотрение концепции «Стандарт комплексного благоустройства набережных, парков, скверов, бульваров города Екатеринбурга» (далее — концепция «Стандарт»), основанной на эколого-географическом подходе к преобразованию городского пространства.

Материалы и методы

Екатеринбург является центром Свердловской области. Город расположен на восточном склоне Уральских гор вдоль р. Исеть ($56^{\circ}50'$ с. ш. и $60^{\circ}38'$ в. д.), на высоте 250...300 м н. у. м. Общая площадь Екатеринбурга составляет около 1147 км², население 1 млн 530 тыс. чел. (на 2021 г.).

Территория Екатеринбурга размещена на границе восточных предгорий Среднего Урала и Зауральской складчатой возвышенности. Восточные предгорья отличаются сложным рельефом: равнинные участки сочетаются с увалами и сопками, на вершинах которых возвышаются скалы-останцы. Река Исеть — главная водная артерия города, разделяющая его на две почти равные части: северо-восточную (левобережную) и юго-западную (правобережную). Правый коренной берег долины р. Исеть (западная часть города) — сравнительно плоский, менее возвышен, средние высоты 260...280 м. Здесь находится самая высокая часть лесопарковой зоны города — Уктусско-Елизаветинский горный массив. Левобережная часть имеет более возвышенную поверхность (ее средняя высота 280...300 м). Наиболее высокие горки — Обсерваторская, Вознесенская и возвышенности в Центральном парке культуры и отдыха им. В.В. Маяковского.

Долина р. Исеть запружена четырьмя плотинами, образующими пруды: Верх-Исетский, Городской, Парковый и Нижне-Исетский. В городской черте находятся оз. Шарташ, небольшие зарастающие озера (Здохня, Карасье и др.). В начале XX в. в пределах города в р. Исеть впадало несколько речек: Ольховка, Мельковка, Основинка, Монастырка, Черемшанка и др. Теперь большая часть этих рек пересохла или заключена в подземные трубы. В южной части города протекает р. Патрушиха — самый крупный приток р. Исеть в черте города.

В пригородной зоне Екатеринбурга наиболее широко распространены магматические горные породы: граниты (Шарташские каменные палатки близ оз. Шарташ, Верх-Исетский гранитный массив); дуниты, перидотиты, габбро, пироксениты (Обсерваторская, Вознесенская, Уктусские горы). По долинам рек и берегам озер встречаются самые молодые породы — осадочные.

В Екатеринбурге естественные дерново-подзолистые почвы сохранились лишь в лесопарках, некоторых садах и на окраинах города. Однако и они несут следы антропогенного воздействия: верхние горизонты почв уплотнены, имеют кислую реакцию, обогащены азотом, фосфором, калием и некоторыми другими микроэлементами, бедны гумусом. В долинах рек встречаются аллювиально-луговые или дерново-луговые почвы. На большей части городской территории в зоне застройки представлены насыпные и перемешанные почвы [10–11].

Екатеринбург расположен в зоне тайги, подзоне южной тайги. Город окружен сосновыми и сосново-березовыми лесами, наиболее широко распространены сосняки ягодниковые, орляковые, разнотравные. С повышениями рельефа (увалами, сопками, скалами-останцами) связаны участки петрофитной растительности. В понижениях рек имеются участки болот. В поймах небольшими участками встречаются луга. По берегам рек и озер развивается водная и околоводная растительность [12]. С природными сообществами связаны местообитания 33 редких и охраняемых видов растений, занесенных в Красную книгу [13–14].

При разработке концепции «Стандарт» была поставлена цель обеспечения равновесия природных и антропогенных элементов города и устойчивости городского ландшафта к негативному воздействию. Наряду с общими принципами организации урбанизированного ландшафта [15–17] учитывались принципы устойчивого развития и резистентности, социальной интеграции, долгосрочности и целостности, комфортности и безопасности, идентичности и многообразия.

Принцип устойчивого развития и резистентности предполагает учет экологического состояния окружающей среды и поддержание озелененных городских пространств в устойчивом состоянии, при котором отклонение от нормального состояния системы не превышает естественных изменений, не вызывает нежелательных последствий у живых организмов, не ведет к ухудшению качества среды.

Принцип социальной интеграции предусматривает развитие культуры диалога, общественное обсуждение благоустройства города всеми заинтересованными лицами, организациями и муниципалитетом. Совместное управление общественными пространствами способствует развитию социального взаимодействия, повышает экологический рейтинг и инвестиционную привлекательность города. Внедрение альтернативных моделей эксплуатации объектов комплексного благоустройства позволяет формировать внебюджетные источники финансирования эксплуатации объектов комплексного благоустройства.

Принцип долгосрочности и целостности подразумевает многолетнее развитие общественных пространств с помощью совместной работы заинтересованных сторон, реализуемое посредством исследований городской среды, разработки стандартов комплексного благоустройства, внедрения проектов разных уровней и социально-культурных программ. Объектом проектирования при этом выступает совокупность природно-климатических, геоморфологических и ландшафтных особенностей, которая характеризуется особым состоянием микроклимата, флоры, фауны и степенью техногенного воздействия и требует изучения в рамках комплексного предпроектного анализа. Комплексные предпроектные исследования обеспечивают глубокое понимание процессов, протекающих на территории муниципального образования.

Согласно *принципу комфортности и безопасности* открытые общественные пространства должны располагаться в пешеходной доступности от жилых кварталов, связываться единой многоуровневой системой озеленения и обеспечивать рекреационные, культурные и коммуникативные потребности горожан. Объекты благоустройства наделяются конкретными функциями, исходя из спроса горожан, и рационально распределяются по территории города. Площадные рекреационные пространства связываются линейными элементами — объектами улично-дорожной сети. Одним из ключевых положений принципа повышения комфортности общественных пространств является предпочтение пешеходного, велосипедного движения и общественного транспорта.

Вновь создаваемые и реконструируемые объекты благоустройства проектируются с учетом функциональных особенностей, локальной идентичности, исторических традиций и местных технологий. Это положение отражено в *принципе идентичности и многообразия*. Архитектурная концепция и образ объектов благоустройства формируются в результате анализа уникальных особенностей Екатеринбурга — исторических, культурных и социальных с одной стороны, с другой — природно-экологических. Выявленные особенности служат основой для технических заданий и проектных решений объектов комплексного благоустройства.

Результаты и обсуждение

В качестве научной основы предлагаемой концепции «Стандарт» является выделение на территории муниципального образования ландшафтно-экологических кластеров и их структурных элементов. В качестве основы для выделения кластеров была взята схема эколого-геологических условий, в соответствии с которой на территории

муниципального образования существует пять морфогенетических типов ландшафта [18]:

1) горно-холмистая зона с преобладанием горно-таежных и смешанных лесов;

2) холмисто-увалистая зона с меридионально вытянутыми грядами холмов и увалов с сильно сглаженными вершинами, пологими склонами и преобладанием южно-таежных светлохвойных лесов;

3) денудационная равнина плоских и всхолмленных сильно заболоченных междуречий с преобладанием южно-таежных светлохвойных лесов;

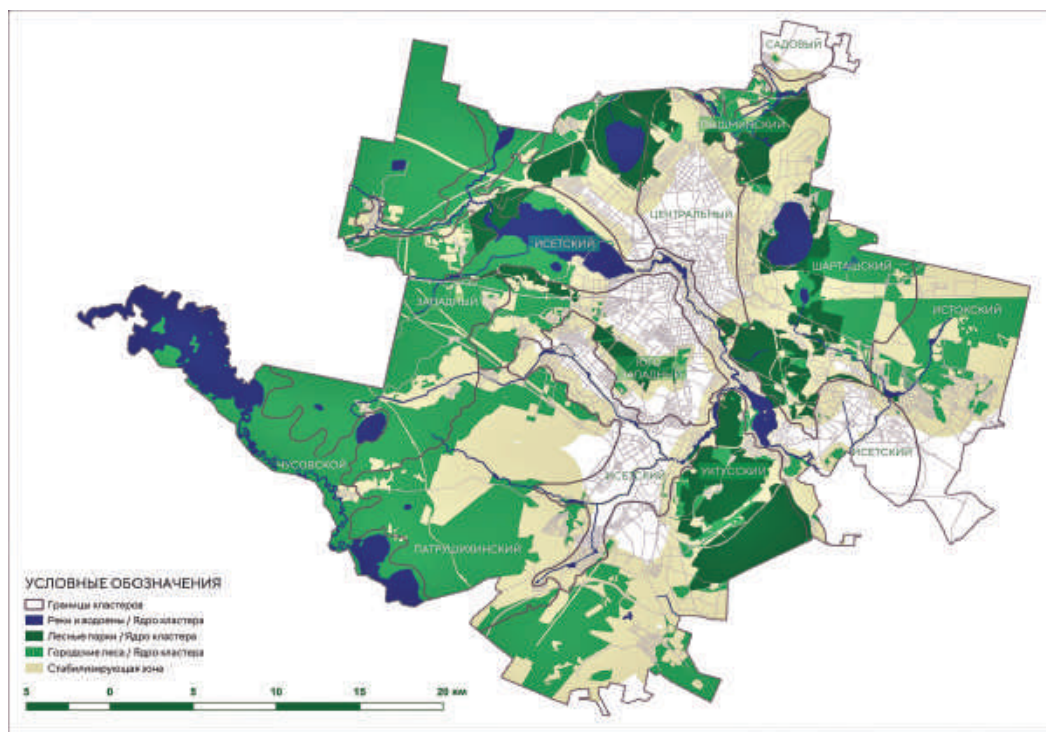
4) долины крупных и малых рек с комплексами пойменных и фрагментами надпойменных террас, высокой степенью заболоченности и гидроморфными участками;

5) техногенные.

Каждый тип ландшафта обладает комплексом характеристик макрорельефа, литологии коренных пород, четвертичных образований и почвы, растительности, что позволяет разделить территорию города на гомогенные фрагменты. При определении границ ландшафтно-экологических кластеров учитывались специфика дочетвертичных отложений, расчлененность рельефа и распространение экотопов. В результате оценки территории города было сформировано 11 ландшафтно-экологических кластеров, представляющих территориально близкие участки ландшафтов, сходные по геоморфологическим, литологическим и биологическим характеристикам: Исетский, Центральный, Пышминский, Садовый, Шарташский, Истокский, Уктусский, Юго-западный, Патрушихинский, Чусовской и Западный (рисунок).

Большинство кластеров состоит из ядра, зоны стабилизации и центральной зоны.

Первый элемент кластера — ядро, которое образуют лесные парки, городские леса, акватории рек и водоемов. Это природная экосистема, обладающая высоким биологическим разнообразием, устойчивостью и способностью к самовосстановлению, саморегуляции и самоочищению. Например, Уктусский кластер отличается горным рельефом с нередкими крутыми каменистыми склонами и выходами на поверхность коренных горных пород — дунитов и перидотитов. В его южной части возвышается самая высокая вершина Уктусских гор и Екатеринбурга — гора Татищева (385 м н. у. м.). У подножья Уктусских гор сохранились заброшенные карьеры. Ядро кластера составляют лесопарки Уктусский, Южный и Нижне-Исетский. Основная растительность представлена сосновыми лесами с примесью березы: 82 и 18 % соответственно. На южных и юго-западных склонах гор и скалистых обнажениях встречаются участки горных разнотравно-



Ландшафтно-экологическое зонирование территории муниципального образования
«город Екатеринбург»
Landscape and ecological zoning of the municipal formation «the city of Yekaterinburg»

злаковых и злаковых степей. Экосистемы ядра кластера представляют собой эталон для создания зон естественного разнообразия в парках, скверах, бульварах и набережных, входящих в границы кластера.

Второй элемент кластера — зона стабилизации. Это так называемая буферная зона, расположенная между ядром и центральной, высокоурбанизированной зоной кластера. Она сдерживает негативное воздействие антропогенных факторов центральной зоны на природные экосистемы. Близость природных ландшафтов создает условия для миграции видов флоры и фауны внутрь города.

Для определения размеров зоны стабилизации городских лесов и лесных парков были использованы методические приемы, разработанные В.В. Сухановым, В.Б. Михно и А.В. Кучиным [19–20], с учетом конфигурации и размеров площадей лесопарков и городских лесов, ширины водоохранной зоны, протяженности рек и береговых линий водоемов.

Расчет размера зоны стабилизации проводился с помощью геоинформационной системы QGIS. Границы городских лесов и лесных парков были приняты в соответствии с Картой развития рекреационных и общественных пространств городского округа МО «город Екатеринбург», разработанной в составе материалов по обоснованию стратегического плана развития г. Екатеринбурга [21].

Форма всех участков, образующих ядра кластеров, принимается условно круглой и рассчитывается радиус такой окружности. Расчет размера зоны стабилизации для каждого участка осуществляется по формуле

$$B = (kR_{\text{уч}}) - R_{\text{уч}},$$

где B — размер зоны стабилизации вокруг участка ядра кластера;

$R_{\text{уч}}$ — радиус приведенного к круглой форме участка ядра;

k — пространственный коэффициент, обеспечивающий формирование зоны стабилизации, $k = 1,78$.

В зависимости от размеров ядра размер зоны стабилизации варьирует в пределах от 15 до 3370 м.

Для определения границ ядра и зоны стабилизации рек и водоемов были приняты два ограничения. В качестве основы для определения ядра кластера принимаются русла всех рек, за исключением малых длиной менее 2,5 км, а также все водоемы природного и антропогенного происхождения, включенные в водотоки и имеющие площадь более 1 га. В этом случае размеры ядра кластера устанавливаются по границе прибрежной защитной полосы, принятой равной 40 м для всех рек и водоемов. Следовательно, размеры зоны стабилизации кластера устанавливаются по границе водоохранной зоны в соответствии со ст. 65 Водного кодекса Российской Федерации [22]:

1) ширина зоны стабилизации рек или ручьев протяженностью до 10 км устанавливается в размере 50 м;

2) ширина зоны стабилизации рек протяженностью от 10 до 50 км устанавливается в размере 100 м;

3) ширина зоны стабилизации рек протяженностью более 50 км устанавливается в размере 200 м;

4) ширина зоны стабилизации озер, не расположенных на водотоке, принимается в размере 50 м, ширина зоны стабилизации водоемов, расположенных на водотоке, устанавливается равной ширине зоны стабилизации этого водотока.

В зоне стабилизации концепция «Стандарт» предусматривает включение на озелененных территориях функциональной зоны естественного разнообразия. Эта зона создается как аналог характерных и уникальных природных растительных сообществ Среднего Урала. Зона естественного разнообразия поддерживает биоразнообразие городской территории и способствует формированию идентичного облика городской среды Екатеринбурга.

Территория зоны естественного разнообразия обустраивается двумя способами. Первый способ — сохранение существующих природных комплексов. Территория Екатеринбурга характеризуется большим разнообразием лесных, луговых, околородных и других местообитаний, создающих возможности для обитания в черте города многих представителей природной флоры и фауны. Примером могут служить лесные массивы в Центральном парке культуры и отдыха. Второй способ — воссоздание характерных или уникальных природных сообществ на подходящих территориях парков.

Обустройство зоны естественного разнообразия определяется видовым разнообразием животных и растений, которое планируется сохранить или поддерживать на территории парков. Оно должно учитывать разнообразие природных сообществ, расположенных в границах кластера, и особенности рельефа озеленяемой территории. Например, в Уктусском кластере в зонах естественного разнообразия рекомендуется моделировать степные и скальные сообщества. При этом необходимо использовать аборигенные петрофитные растения: *Spiraea crenata* L., *Festuca pulchra* Schur, *Phlomis tuberosa* (L.) Moench, *Onosma simplicissima* L., *Sedum acre* L. Здесь есть возможность проводить специальную реинтродукцию редких и охраняемых видов растений (*Aster alpinus* L., *Dianthus acicularis* Fisch. ex Ledeb., *Thymus talijevii* Klovov & Des.-Shost., *Sabulina helmii* (Fisch. ex Ser.) Dillenb. & Kadereit, *Stipa pennata* L.). Представление характерных или уникальных элементов природного ландшафта

в парках Екатеринбурга повысит интерес горожан к природе Среднего Урала и будет способствовать повышению уровня экологической грамотности.

Третий элемент кластера — центральная зона. Это часть городской территории, насыщенная плотной многофункциональной застройкой и объектами инфраструктуры. В направлении центра города сокращаются площади озелененных пространств, происходит снижение биологического разнообразия за счет уплотнения почв и высокой доли непроницаемых покрытий. В ее пределах располагаются обособленные озелененные пространства: парки, скверы, бульвары и набережные, способствующие проницаемости городской среды для представителей природной флоры и фауны. В зависимости от размера территории, характера застройки и расположения объектов инфраструктуры они могут выполнять различные функции: рекреационные, развлекательные, научно-просветительские и др.

Ландшафтно-экологические кластеры могут не содержать все описанные элементы. В связи с высоким уровнем урбанизации и расширением антропогенного влияния на природные экосистемы в некоторых кластерах отсутствуют собственные ядра. В этом случае, источником знаний о естественном природном разнообразии при создании стабилизирующих парков в буферной зоне можно использовать характеристики природных экосистем смежных кластеров.

На следующем шаге проектирования водно-зеленого каркаса города важно предусмотреть наличие экологических коридоров между разрозненными озелененными территориями города для перемещения живых организмов во фрагментированном городском ландшафте и объединения всех местообитаний в единую систему. Объединение всех озелененных пространств в единую сеть позволит повысить устойчивость сообществ, особенно к высоким антропогенным нагрузкам, при сохранении основных экологических функций. Экологические коридоры могут представлять собой длинные непрерывные растительные пояса, в частности живые изгороди, лесополосы или берега рек, либо небольшие, отделенные одно от другого местообитания, пригодные для обустройства живыми организмами убежищ, поиска пищи и мест отдыха. Экологические коридоры не обязательно должны быть непрерывными физически связанными участками, они могут составлять сложную мозаику местообитаний в виде стабилизирующих и обособленных парков, улиц, дворов, санитарно-защитных лесополос и т. п. Зелеными коридорами естественного происхождения являются русла, поймы и долины рек, антропогенного — бульвары и парки с линейной планировкой [4].

Как показывает мировой опыт, невозможно добиться полностью непрерывного озеленения, однако увеличение его доли в урбанизированном ландшафте, формирование хотя бы небольших «зеленых» островков существенно повышает проницаемость городской среды для заселения различными представителями флоры и фауны. Возможно создание мобильного или уличного озеленения, зеленых крыш. Последние пользуются широким распространением в европейских городах, в том числе и в столице России Москве.

Выводы

Подготовленный «Стандарт комплексного благоустройства набережных, парков, скверов, бульваров Екатеринбурга» предлагает создание единой многоуровневой системы городского озеленения, устойчивой к антропогенному воздействию, выполняющей важнейшие экологические функции и обеспечивающей рекреационные, культурные и коммуникативные потребности горожан. В соответствии с ним, объекты благоустройства проектируются с учетом функциональных особенностей, локальной идентичности, исторических традиций и природно-экологических особенностей Екатеринбурга.

Концепция «Стандарт» отражает понимание важности значения биологического разнообразия в городской среде, направлена на его сохранение и восстановление, а также внедрение экологического подхода в разработке проектов реконструкции имеющихся и будущих озелененных пространств Екатеринбурга. В качестве научной основы для этого предлагается выделение в пределах Екатеринбурга ландшафтно-экологических кластеров, представляющих собой территориально близкие участки ландшафтов, сходные по геоморфологическим, литологическим и биологическим характеристикам. Большинство кластеров состоит из ядра, где расположены природные экосистемы, зоны стабилизации и центральной высоко урбанизированной зоны. В зоне стабилизации на озелененных территориях концепцией «Стандарт» предусматривается организация специальной функциональной зоны естественного разнообразия — аналога характерных и уникальных природных растительных сообществ Среднего Урала. Сохранение и воссоздание этих сообществ — одна из целей достижения идентичности в озеленении Екатеринбурга.

Список литературы

- [1] Brack C.L. Pollution mitigation and carbon sequestration by an urban forest // *Environmental Pollution*, 2002, v. 116, pp. 195–200. DOI: 10.1016/S0269-7491(01)00251-2
- [2] Strohbach M.W., Arnold E., Haase D. The carbon footprint of urban green space – a life cycle approach // *Landscape and Urban Planning*, 2012, v. 104, no. 2, pp. 220–229. DOI: 10.1016/j.landurbplan.2011.10.013
- [3] Çakar H., Gülgün B., Yazıcı K. The importance of green areas for human health // *Proceeding book of International symposium for environmental science and engineering research (ISESER 2021)*, Tirana, Albania, 11–13 June, 2021, pp. 66–72.
- [4] City meadows: Vitality from a living heritage. Turku: Centre for Economic Development, Transport and the Environment for Southwest Finland, 2012, 79 p.
- [5] Dadvand P., Nieuwenhuijsen M.J., Esnaola M., Guzman J.F. Green spaces and cognitive development in primary schoolchildren // *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 2015, v. 112, no. 26, pp. 7937–7942. DOI: 10.1073/pnas.1503402112
- [6] Монтгомери Ч. Счастливый город: как городское планирование меняет нашу жизнь. М.: Манн, Иванов и Фербер, 2019. 365 с.
- [7] Ложкин А.Ю., Смирнова М.С., Голодяев К.А., Гижицкая С.А., Карпов А.Е., Скурихина Т.Г., Архипова А.М., Юрченко Л.В., Лебедев Д.А., Дубынин А.В. Зеленый Новосибирск. Концепция развития озелененных общественных пространств общегородского значения. Кн. 1, 2. Новосибирск: Издательский Дом «Вояж», 2017. 132 с.
- [8] Приложение 1 к постановлению Правительства Москвы № 743-ПП «Правила создания, содержания и охраны зеленых насаждений и природных сообществ города Москвы» от 10 сентября 2002 г. URL: [https://www.mos.ru/upload/documents/oiv/10092002-743_pp\(1\).pdf](https://www.mos.ru/upload/documents/oiv/10092002-743_pp(1).pdf) (дата обращения 16.04.2022).
- [9] Lepczyk C.A., Aronson M., Goddard M.A., MacIvor J.S., Evans K.L., Lerman S.B. Biodiversity in the City: Fundamental Questions for Understanding the Ecology of Urban Green Spaces for Biodiversity Conservation // *BioScience*, 2017, v. 67, iss. 9, pp. 799–807. DOI: 10.1093/biosci/bix079
- [10] Архипова Н.П. Природные достопримечательности Екатеринбурга и его окрестностей. Екатеринбург: Баско, 2007. 248 с.
- [11] Третьякова А.С. Флора Екатеринбурга. Екатеринбург: Изд-во Уральского университета, 2011. 200 с.
- [12] Третьякова А.С. Распределение видового состава растений в естественных и антропогенных местообитаниях г. Екатеринбурга // *Ботанический журнал*, 2014. Т. 99. № 11. С. 1277–1282.
- [13] Красная книга Российской Федерации (растения и грибы). М.: Товарищество научных изданий КМК, 2008. 855 с.
- [14] Красная книга Свердловской области: животные, растения, грибы. Екатеринбург: Мир, 2018. 450 с.
- [15] Вергунов А.П. Формирование системы открытых пространств // *Строительство и архитектура Москвы*, 1974. № 9. С. 12.
- [16] Вергунов А.П. Архитектурно-ландшафтная организация крупного города. Л.: Стройиздат, 1982. 135 с.
- [17] Белкин А.Н., Аль Дарф Аднан Б., Хирбик М.М., Исмайл М. Концепция формирования систем открытых озелененных пространств городов Сирии на основе беллигеративных ландшафтов // *Лесной вестник / Forestry Bulletin*, 2018. Т. 22. № 3. С. 90–96. DOI: 10.18698/2542-1468-2018-3-90-96
- [18] Грязнов О.Н., Гуляев А.Н., Рубан Н.В., Савинцев И.А., Черкасов С.А. Факторы инженерно-геологических условий города Екатеринбурга // *Известия Уральского государственного горного университета*, 2015. № 3 (39). С. 5–20.
- [19] Михно В.Б., Горбунов А.С., Быковская О.П., Бевз В.Н. Геосистемный подход к формированию стабилизирующей ландшафтно-экологической сети Центрального Черноземья // *Вестник Удмуртского университета. Сер. Биология. Науки о Земле*, 2018. Т. 28, № 1. С. 64–76.
- [20] Суханов В.В. К расчету оптимальной буферной зоны заповедника // *Экология*, 1993. № 1. С. 100–102.
- [21] Стратегический план развития Екатеринбурга до 2030 года. Екатеринбург, 2018. 214 с.
- [22] Водный кодекс Российской Федерации. URL: http://www.consultant.ru/document/cons_doc_LAW_60683. (дата обращения 16.04.2022).

Сведения об авторах

Банникова Лариса Александровна — зав. кафедрой городского строительства, Уральский федеральный университет имени первого Президента России Б. Н. Ельцина, l.a.bannikova@urfu.ru

Хриченков Алексей Владимирович — канд. арх. наук, доцент кафедры городского строительства, Уральский федеральный университет имени первого Президента России Б. Н. Ельцина, av.khrichenkov@urfu.ru

Бурцев Александр Геннадьевич — канд. арх. наук, доцент кафедры городского строительства, Уральский федеральный университет имени первого Президента России Б. Н. Ельцина, a.g.burtsev@urfu.ru

Тиганова Ирина Александровна — канд. техн. наук, доцент кафедры городского строительства, Уральский федеральный университет имени первого Президента России Б. Н. Ельцина, i.a.tiganova@urfu.ru

Третьякова Алена Сергеевна [✉] — д-р биол. наук, ст. науч. сотр., Ботанический сад УрО РАН, профессор кафедры биоразнообразия и биоэкологии, Уральский федеральный университет имени первого Президента России Б. Н. Ельцина, alyona.tretyakova@urfu.ru

Груданов Николай Юрьевич — мл. науч. сотр. Лаборатории экспериментальной экологии и акклиматизации растений, Ботанический сад УрО РАН, nickolai.grudanoff@yandex.ru

Владыкина Виктория Дамировна — аспирант кафедры биоразнообразия и биоэкологии, Уральский федеральный университет имени первого Президента России Б. Н. Ельцина, victoria.yambusheva@urfu.ru

Поступила в редакцию 10.06.2022.

Одобрено после рецензирования 20.09.2022.

Принята к публикации 13.10.2022.

MODERN FOUNDATIONS FOR GREEN AREAS FORMATION IN EKATERINBURG

L.A. Bannikova¹, A.V. Khrichenkov¹, A.G. Burtsev¹, I.A. Tiganova¹, A.S. Tretyakova^{1,2✉}, N.Yu. Grudanov², V.D. Vladykina¹

¹Ural Federal University named after the first President of Russia B.N. Yeltsin, 19, Mira st., 620002, Yekaterinburg, Russia

²Institute Botanic Garden UB RAS, 620144, 202a, 8 March st., Ekaterinburg, Russia

Alyona.Tretyakova@urfu.ru

We present the concept of «Standard for the comprehensive improvement of embankments, parks, squares, boulevards in Ekaterinburg». It provides for the introduction of an ecological approach in the development of projects for the reconstruction of existing and future green spaces in Ekaterinburg. We have identified 11 landscape-ecological clusters on the territory of Ekaterinburg. The structural elements of clusters are described — the core, the stabilization zone and the central highly urbanized zone. The core of the cluster is formed by natural ecosystems, which are considered as models for the creation of urban green spaces. Information about the method for calculating the size of the stabilization zone is given. It is proposed to create a special functional zone of natural diversity in parks, squares, boulevards and embankments located within its boundaries. We noted the need to design ecological corridors between scattered green spaces of the city. In our opinion, the presented concept reflects the importance of biological diversity in the urban environment, is aimed at its conservation and restoration, and also contributes to the formation of an identical image of the urban environment of Ekaterinburg.

Keywords: Standards, urban green spaces, biodiversity, landscape-ecological clusters, green corridors

Suggested citation: Bannikova L.A., Khrichenkov A.V., Burtsev A.G., Tiganova I.A., Tretyakova A.S., Grudanov N.Yu., Vladykina V.D. *Printsipy formirovaniya podkhoda k blagoustroystvu ozelenennykh prostranstv Ekaterinburga* [Modern foundations for green areas formation in Ekaterinburg]. *Lesnoy vestnik / Forestry Bulletin*, 2022, vol. 26, no. 6, pp. 106–113. DOI: 10.18698/2542-1468-2022-6-106-113

References

- [1] Brack C.L. Pollution mitigation and carbon sequestration by an urban forest. *Environmental Pollution*, 2002, v. 116, pp. 195–200. DOI: 10.1016/S0269-7491(01)00251-2
- [2] Strohbach M.W., Arnold E., Haase D. The carbon footprint of urban green space – a life cycle approach. *Landscape and Urban Planning*, 2012, v. 104, no. 2, pp. 220–229. DOI: 10.1016/j.landurbplan.2011.10.013
- [3] Çakar H., Gülgün B., Yazici K. The importance of green areas for human health. *Proceeding book of International symposium for environmental science and engineering research (ISESER 2021)*, Tirana, Albania, 11–13 June, 2021, pp. 66–72.
- [4] *City meadows: Vitality from a living heritage*. Turku: Centre for Economic Development, Transport and the Environment for Southwest Finland, 2012, 79 p.
- [5] Dadvand P., Nieuwenhuijsen M.J., Esnaola M., Guzman J.F. Green spaces and cognitive development in primary schoolchildren. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 2015, v. 112, no. 26, pp. 7937–7942. DOI: 10.1073/pnas.1503402112
- [6] Montgomeri Ch. *Schastlivyi gorod: kak gorodskoe planirovanie meniaet nashu zhizn'* [Happy city: how urban planning changes our lives]. Moscow: Mann, Ivanov i Ferber, 2019, 365 p.

- [7] Lozhkin A. Yu., Smirnova M.S., Golodyaev K.A., Gizhitskaya S.A., Karpov A.E., Skurikhina T.G., Arkhipova A.M., Yurchenko L.V., Lebedev D.A., Dubynin A.V. *Zelenyy Novosibirsk. Kontseptsiya razvitiya ozelenennykh obshchestvennykh prostranstv obshchegorodskogo znacheniya. Kn. 1, 2.* [Green Novosibirsk. Concept for the development of green public spaces of citywide importance. Books 1, 2]. Novosibirsk: Izdatel'skiy Dom «Voyazh» [Voyage Publishing House], 2017, 132 p.
- [8] *Prilozhenie 1 k postanovleniyu Pravitel'stva Moskvy № 743-PP «Pravila sozdaniya, sodержaniya i ohrany zelenykh nasazhdeniy i prirodnykh soobshchestv goroda Moskvy» ot 10 sentyabrya 2002 g* [Appendix 1 to Decree of the Government of Moscow No. 743-PP «Rules for the creation, maintenance and protection of green spaces and natural communities in the city of Moscow» dated September 10, 2002]. Available at: [https://www.mos.ru/upload/documents/oiv/10092002-743_pp\(1\).pdf](https://www.mos.ru/upload/documents/oiv/10092002-743_pp(1).pdf). (accessed 16.04.2022).
- [9] Lepczyk C.A., Aronson M., Goddard M.A., MacIvor J.S., Evans K.L., Lerman S.B. Biodiversity in the City: Fundamental Questions for Understanding the Ecology of Urban Green Spaces for Biodiversity Conservation // *BioScience*, 2017, v. 67, iss. 9, pp. 799–807. DOI: 10.1093/biosci/bix079
- [10] Arkhipova N.P. *Prirodnye dostoprimechatel'nosti Ekaterinburga i ego okrestnostey* [Natural attractions of Yekaterinburg and its environs]. Ekaterinburg: Basko, 2007, 248 p.
- [11] Tret'yakova A.S. *Flora Ekaterinburga* [Flora of Ekaterinburg]. Ekaterinburg: Izdatel'stvo Ural'skogo universiteta, 2011, 200 p.
- [12] Tret'yakova A.S. *Raspreделение vidovogo sostava rasteniy v estestvennykh i antropogennykh mestoobitaniyakh g. Ekaterinburga* [Distribution of plant species composition in natural and anthropogenic habitats of Ekaterinburg city]. *Botanicheskiy zhurnal* [Botanical Journal], 2014, v. 99, no 11, pp. 1277–1282.
- [13] *Krasnaya kniga Rossiyskoy Federatsii (rasteniya i griby)* [Red Data Book of the Russian Federation (plants and fungi)]. Moscow: Tovarishestvo nauchnykh izdaniy KMK [Association of scientific publications KMK], 2008, 855 p.
- [14] *Krasnaya kniga Sverdlovskoy oblasti: zhivotnye, rasteniya, griby* [Red Data Book of the Sverdlovsk Region: animals, plants, fungi]. Ekaterinburg: Mir, 2018, 450 p.
- [15] Vergunov A.P. *Formirovaniye sistemy otkrytykh prostranstv* [Formation of the system of open spaces]. Stroitel'stvo i arkhitektura Moskvy [Building and architecture of Moscow], 1974, no. 9, p. 12.
- [16] Vergunov A.P. *Arkhitekturno-landshaftnaya organizatsiya krupnogo goroda* [Architectural and landscape organization of a large city]. Leningrad: Stroiizdat, 1982, 135 p.
- [17] Belkin A.N., Al Darf Adnan B., Hirbic M.M., Ismail M. Kontseptsiya formirovaniya sistem otkrytykh ozelenennykh prostranstv gorodov Sirii na osnove belligerativnykh landshtafov [The concept of formation systems of open green areas in the cities of Syria based on belligerative landscapes]. *Lesnoy vestnik / Forestry Bulletin*, 2018, vol. 22, no. 3, pp. 90–96. DOI: 10.18698/2542-1468-2018-3-90-96
- [18] Gryaznov O. N. *Faktory inzhenerno-geologicheskikh usloviy goroda Ekaterinburga* [Factors of engineering-geological conditions of the Ekaterinburg city]. *Izvestiya Ural'skogo gosudarstvennogo gornogo universiteta* [Proceedings of the Ural State Mining University], 2015, no. 3 (39), pp. 5–20.
- [19] Mikhno V.B., Gorbunov A.S., Bykovskaya O.P., Bezv V.N. *Geosistemnyy podkhod k formirovaniyu stabiliziruyushchey landshtafno-ekologicheskoy seti Tsentral'nogo Chernozem'ya* [Geosystem approach to the formation of a stabilizing landscape-ecological network of the Central Chernozem Region]. *Vestnik Udmurtskogo universiteta. Seriya Biologiya. Nauki o Zemle* [Bulletin of the Udmurt University. Series Biology. Earth Sciences], 2018, v. 28, no. 1, pp. 64–76.
- [20] Sukhanov V.V. *K raschetu optimal'noy bufernoy zony zapovednika* [To the calculation of the optimal buffer zone of the reserve]. *Ekologiya* [Ecology]. 1993, no. 1, pp. 100–102.
- [21] *Strategicheskyy plan razvitiya Ekaterinburga do 2030 goda* [Strategic Plan for the Development of Ekaterinburg city until 2030]. Ekaterinburg, 2018, 214 p.
- [22] *Vodnyy kodeks Rossiyskoy Federatsii* [Water Code of the Russian Federation. Available at: http://www.consultant.ru/document/cons_doc_LAW_60683. (accessed 16.04.2022).

Authors' information

Bannikova Larisa Aleksandrovna — Head of Civil engineering department, Ural Federal University named after the first President of Russia B.N. Yeltsin, l.a.bannikova@urfu.ru

Khrichenkov Aleksey Vladimirovich — Cand. Sci. (Architecture), Associated Professor of Civil Engineering department, Ural Federal University named after the first President of Russia B.N. Yeltsin, av.khrichenkov@urfu.ru

Burtsev Aleksandr Gennad'evich — Cand. Sci. (Architecture), Associated Professor of Civil engineering department, Ural Federal University named after the first President of Russia B.N. Yeltsin, a.g.burtsev@urfu.ru

Tiganova Irina Aleksandrovna — Cand. Sci. (Tech.), Associated Professor of Civil engineering department, Ural Federal University named after the first President of Russia B.N. Yeltsin, i.a.tiganova@urfu.ru

Tret'yakova Alena Sergeevna — Dr. Sci. (Biology), Senior researcher, Institute Botanic Garden of the Ural Branch of the Russian Academy of Sciences, Professor of the Department of Biodiversity and Bioecology, Ural Federal University named after the first President of Russia B.N. Yeltsin, alyona.tretyakova@urfu.ru

Grudanov Nikolay Yur'evich — Junior researcher of Laboratory of experimental ecology and acclimatization of plants, Institute Botanic Garden of the Ural Branch of the Russian Academy of Sciences, nickolai.grudanoff@yandex.ru

Vladykina Viktoriya Damirovna — pg. of the Department of Biodiversity and Bioecology, Ural Federal University named after the first President of Russia B.N. Yeltsin, victoria.yambusheva@urfu.ru

Received 10.06.2022.

Approved after review 20.09.2022.

Accepted for publication 13.10.2022.

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 УСАДЕБНЫХ КОМПЛЕКСОВ ЦЕНТРАЛЬНОГО ЧЕРНОЗЕМЬЯ

В.В. Кругляк

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

kruglyak_vl@mail.ru

Рассмотрены усадебные комплексы Белгородской, Воронежской, Курской, Липецкой и Тамбовской областей Центрального Черноземья. Изложена хронология визитов императора Петра I в г. Воронеж в период с 1696 по 1722 гг. Указано время возникновения дворцово-парковых комплексов Воронежской обл. Приведены данные об исторических городах Воронежской обл., указаны даты их основания. Проанализированы даты правления некоторых воронежских наместников, генерал-губернаторов, губернаторов, вице-губернаторов, губернских комиссаров, губернских товарищей. Приведена структура почвенного покрова парковой территории санатория им. А.Д. Цюрупы Лискинского района Воронежской обл. Рекомендуются 10 цветковых характеристик цветов для усадебных комплексов Центрального Черноземья. Определен баланс территории музея-усадьбы С.В. Рахманинова «Ивановка» в Уваровском районе Тамбовской обл. Установлен баланс территории ФГУП «Дендрологический парк «Лесостепная опытно-селекционная станция» Становлянского района Липецкой обл.

Ключевые слова: ландшафтная архитектура, усадебные комплексы, Центральное Черноземье

Ссылка для цитирования: Кругляк В.В. Ландшафтная архитектура усадебных комплексов Центрального Черноземья // Лесной вестник / Forestry Bulletin, 2022. Т. 26. № 6. С. 114–131.
DOI: 10.18698/2542-1468-2022-6-114-131

Россия славится своим великим культурным достоянием. Во всем мире известны ее древние города — Москва, Новгород, Владимир, Суздаль, Воронеж. Не менее знамениты русские дворянские усадьбы — Абрамцево, Архангельское, Кусково, Мураново, Ясная поляна [1]. Судьбы русских усадеб похожи на людские судьбы. В гибели русских усадеб в XX в. более всего повинно людское небрежение, варварство и постыдная жажда легкой наживы [2]. Особый феномен усадебной культуры сформировался в России постепенно. Богатство и знатность крупнейших фамилий привлекали в самые отдаленные уголки страны талантливых зодчих и художников. Интенсивность строительства способствовала развитию культуры и ремесел провинции. К 1917 г. во многих губерниях существовали тысячи усадеб, а по всей стране — около 100 тыс. [3]. Все усадьбы характеризовались русским традиционным укладом жизни, национальной формой хозяйствования [4], в их пределах росли сады — наиболее древние рукотворные растительные сообщества. Представления человека о рае и райской жизни во все времена были связаны с садами [5]. Садоводство в обеих русских столицах верно отражало происходящее в высших слоях общества, следуя всем манованиям моды и вкуса, сочетаясь со всеми стилями [6].

Цель работы

Цель работы — разработка научно обоснованного подхода для ландшафтной организации территорий усадебных комплексов Центрального Черноземья.

Материалы и методы исследований

Сведения об усадебных комплексах приведены с учетом кадастра особо охраняемых территорий Воронежской области [7] и структуры биоразнообразия города Воронежа [8]. Применяемая методология научных исследований базируется на системном подходе и комплексных принципах оценки усадебных комплексов Центрального Черноземья [9]. Инновационный ассортимент используемых растений для усадебных комплексов дополнен растениями Красной книги России из коллекций ботанических садов и дендрариев [10]. Инновационные композиции растений составлены с учетом требований ГОСТ 25769–83, ГОСТ 28329–89. Использована дендрологическая методика Центрального Черноземья [13]. Экспериментальные исследования по дрevesоводству проведены по методике В.В. Кругляк [14]. Оценка состояния растений в городской среде проведена по методике В.С. Теодоронского [15]. Характеристика усадеб г. Воронежа дана по описанию Ю.И. Успенского [16]. Н.Н. Врангель показал значение иностранных мастеров в проектировании объектов ландшафтной архитектуры России [17].

Деятельность архитекторов И.Е. Старова, Д. Кваренги и Н.Н. Иевского в проектировании объектов на территории г. Воронежа описана по В.А. Митину [18, 19]. Координаты цвета и координаты цветности определены по ГОСТ 8.205–90; ГОСТ 8.205–2014. Используются методики применяемые в цветовых характеристиках растений и пропорциях [22].

Результаты и обсуждение

Изучение ландшафтной архитектуры усадебных комплексов Центрального Черноземья является важной государственной, исторической и экологической задачей настоящего времени. Нами проведено научное исследование усадебных комплексов всех областей Центрального Черноземья. Город Воронеж основан в 1585 г. В 1696 г. Император Петр I, готовясь к Азовскому походу, определил Воронеж местом для строительства военного флота. По приглашению Петра I сюда приехали специалисты в области кораблестроения из Англии, Голландии, Германии, Италии, Франции и других государств. В 1715 г. Воронеж стал административным центром Азовской губернии [23]. Список исторических городов Воронежской обл., в которых расположены усадебные комплексы, представлен в табл. 1.

Заселение черноземных степей Воронежского края началось в конце XVI — начале XVII в. после строительства в 1586 г. города-крепости Воронежа и продолжалось 200 лет. Формирование первых усадеб на территории Воронежской губернии относится к XVII — началу XVIII вв. Одной из самых ранних усадеб, появившихся в Воронежской губернии (XVI в.), стало село Животинное (по наименованию ручья), основанное в 1622 г. (в конце XVII в. название села изменилось на Староживотинное) [24].

Т а б л и ц а 1

Список исторических городов Воронежской обл., в которых расположены усадебные комплексы

List of historical cities in the Voronezh region where estate complexes are located

Город	Классификация	Количество населения, тыс. чел	Год основания
Бобров	Малые города	20 000	1697
Богучар	То же	11 000	1704
Борисоглебск	Средние города	59 000	1698
Воронеж	Крупнейшие города	1 000 000	1585
Новохоперск	Малые города	6000	1711
Острогжск	То же	31 000	1652
Павловск	То же	24 000	1709

Т а б л и ц а 2

Усадебные комплексы Воронежской обл.

Manor complexes in the Voronezh region

Наименование объекта	Административный район Воронежской обл.	Местоположение	Время возникновения
Усадьба Ростопчиных — Барятинских «Анна»	Аннинский	пгт Анна	Конец XVIII в.
Усадьба Станкевичей «Курлак»	То же	с. Новый Курлак	Начало XVIII в.
Усадьба Орловых — Чесменских «Хреновое»	Бобровский	с. Хреновое	Середина XVIII в.
Усадьба Северцовых «Петровское»	То же	пос. Ясенки	Конец XVIII в.
Усадьба Грековых «Покровка»	Богучарский	с. Плесновка	Конец XIX в.
Усадьба Каргановых — Эртелей «Эртелево»	Вернехавский	хут. Эртель	Начало XIX в.
Усадьба Олениных «Посевкино»	Грибановский	с. Посевкино	Середина XVIII в.
Усадьба Станкевичей — Вульффертов «Щучье»	Лискинский	с. Щучье	Начало XIX в.
Усадьба Раевских «Калиново»	Новохоперский	пос. Калиновка	Начало XVIII в.
Усадьба Апраксиных — Долгоруковых	То же	с. Алферовка	Середина XVIII в.
Усадьба Чертковых — Шеппинговых — Щербатовых «Марьевка»	Ольховатский	с. Марьевка	Начало XIX в.
Усадьба Воронцовых «Воронцовка»	Павловский	с. Воронцовка	Начало XVIII в.
Усадьба Трубецких — Сухановых — Подколзиных «Казинка»	То же	с. Большая Казинка	Начало XVIII в.
Усадьба Бедряг — Рауш фон Траубенбергов «Острые Могилы»	Подгоренский	хут. Григорьевка	Начало XVIII в.
Усадьба Тулиновых — Ольденбургских «Рамонь»	Рамонский	пгт Рамонь	Начало XVIII в.
Усадьба Веневитиновых «Староживотинное»	То же	с. Староживотинное	Середина XVIII в.
Усадьба Алмазовых «Медвежье»	Семилукский	с. Медвежье	Середина XIX в.



Рис. 1. Дворцово-парковый комплекс Ольденбургских (<https://mpv-video.ru/photo/?id=6597>)
Fig. 1. Palace and park complex owned by the Oldenburgskys (<https://mpv-video.ru/photo/?id=6597>)



Рис. 2. Въездная группа дворцово-паркового комплекса Ольденбургских (<https://mpv-video.ru/photo/?id=6614>)
Fig. 2. Entrance group of the Palace and Park Complex owned by the Oldenburgskys (<https://mpv-video.ru/photo/?id=6614>)

Ландшафтная архитектура усадебных комплексов Воронежа XVIII — XX вв. сочетала в себе традиции русского и европейского архитектурного творчества [25].

В 1897 г. император Александр II подарил имение Рамонь (ныне пгт Рамонь Рамонского района Воронежской обл.) своей племяннице — герцогине Лейхтенбергской принцессе Ольден-

бургской Евгении Максимилиановне Ольденбургской. В 1883 г. началось строительство дворцово-паркового комплекса на месте бывшей усадьбы фабрикантов Тулиновых. На высоком берегу р. Воронеж был построен кирпичный трехэтажный дворец в стиле западноевропейской архитектуры по проекту архитекторов Н.Л. Бенца и И.С. Киттнера. Дворцово-парковый

Т а б л и ц а 3

Хронология визитов императора Петра I в город Воронеж
Chronology of visits by Peter I to the city of Voronezh

Год	Отъезд в Воронеж	Приезд в Воронеж	Отъезд из Воронежа	Приезд в конечный пункт
1696	Москва, 23 февраля	29 февраля	3 мая	Новосергиевск, 18 мая
1696	Черкасск, 21 августа	Конец августа	Начало сентября	Москва, 30 сентября
1698	Москва, 23 октября	31 октября	16 декабря	Москва, 20 декабря
1699	Москва, 19 февраля	22 февраля	Около 4 марта	Москва, 7–8 марта
1699	Москва, 13 марта	18 марта	27 апреля	Азов, 24 мая
1699	Азов, 5 сентября	14 сентября	24 сентября	Москва, 27 сентября
1700	Москва, 18 февраля	21 февраля	11 мая	Москва, 14 мая
1701	Москва, 19 марта	23 марта	8 июня	Москва, 17 июня
1703	Москва, 1 февраля	5 февраля	8 марта	Москва, 11 марта
1703	Москва, 23–24 ноября	Конец ноября	Около 14 декабря	Москва, 17 декабря
1705	Москва, 18 февраля	21 февраля	19 апреля	Москва, 27 апреля
1709	Белгород, 11 февраля	13 февраля	8 апреля	Азов, 20 апреля
1722	Царицын, 5 декабря	8 декабря	8 декабря	Преображенское, 10 декабря

Т а б л и ц а 4

**Воронежские генерал-губернаторы
и губернаторы владельцы усадебных
комплексов**

**Voronezh governor-generals and governors, owners
of estate complexes**

Ф.И.О.	Должность	Годы правления
Щербинин Е.А.	Наместник	1779–1782
Чертков В.А.	Наместник	1782–1793
Балашов А.Д.	Генерал-губернатор	1819–1828
Лорис-Меликов М.Т.	Генерал-губернатор	1879–1880
Апраксин Ф.М.	Губернатор	1710–1720
Хорват И.И.	Губернатор	1792–1794
Колычев С.А.	Вице-губернатор	1713–1721
Алферов М.С.	Вице-губернатор	1838–1839
Томановский В.Н.	Губернский комиссар	1917
Келлер Б.А.	Губернский комиссар	1917
Бибиков Б.А.	Губернаторские товарищи	1748–1755
Шеншин М.А.	Губернаторские товарищи	1764–1768

комплекс Ольденбургских занял большую часть территории имения Рамонь. Благоустройство его садово-парковой части и выбранный ассортимент растений отвечали европейским стандартам того времени. Дворцово-парковый комплекс (рис. 1).

В связи с празднованием 350-летия со дня рождения императора Петра I и в соответствии

Т а б л и ц а 5

**Структура почвенного покрова территории
усадебного комплекса санатория
им. А.Д. Цюрупы Лискинского района
Воронежской обл.**

**The structure of the soil cover in the territory of the manor
complex of the sanatorium A.D. Tsyurupa, Liskinsky
district, Voronezh region**

Почвы	Занимаемая площадь, га	Основной тип условий место-произрастания
Луговочерноземные легкосуглинистые	7,0	D2
Черноземовидные легкосуглинистые	3,0	D2
Черноземовидные супесчаные сильногумусированные	28,7	D2
Черноземовидные супесчаные гумусированные	0,9	D2
Черноземовидные песчаные слабогумусированные	0,8	B2
Лугово-болотные (торфянисто-глеевые)	9,2	D4

с программой Русского музея «Всероссийская дубрава Петра Великого» дворцово-парковому комплексу Ольденбургских были переданы два саженца потомственных дубов от дерева — памятника живой природы из Летнего сада Санкт-Петербурга. Въездная группа дворцово-паркового комплекса Ольденбургских в Рамонском районе Воронежской обл. представлена на рис. 2.

В пределах Воронежской обл. наряду с дворцово-парковым комплексом имеются и другие действующие ныне и подлежащие реконструкции усадебные комплексы (табл. 2).

Император Петр I внес неоценимый вклад в развитие Воронежской губернии [23]. Хронология его визитов в г. Воронеж за 1696 — 1722 годы приведена в табл. 3.

На протяжении 1710–1917 гг. губернскую администрацию представляли три наместника, четыре генерал-губернатора, 47 губернаторов и 47 вице-губернаторов [23, 26]. Некоторые воронежские генерал-губернаторы и губернаторы, владельцы усадебных комплексов, представлены в табл. 4.

Лечебно-оздоровительные парки, а также сады санаториев и курортов рассматриваются как лечебницы под открытым небом. Размещение санаториев на территории исторических парков — это известная практика для Центрального Черноземья [27].

На рис. 3 показана въездная группа усадебного комплекса санатория им. А.Д. Цюрупы Лискинского района Воронежской обл.

Санаторий им. А.Д. Цюрупы относится к высшей категории. Расположен в 110 км от г. Воронежа. Площадь парковой зоны 28 га. Ассортимент древесных пород и кустарников насчитывает более 80 видов. В 1983 г. санаторию присвоен статус курорта и выдан международный сертификат качества ISO 9001–2001 [27]. Ландшафтная архитектура и элементы инновационного благоустройства усадебного комплекса санатория им. А.Д. Цюрупы показаны на рис. 4.

На территории паркового комплекса санатория им. А.Д. Цюрупы почвообразующие породы представлены делювиальными алевритовыми лессовидными суглинками, подстилаемыми песками серыми и светло-желтыми мелкими и плотными. Наиболее распространены почвы черноземовидные супесчаные сильногумусированные, характеризующиеся темной окраской гумусового горизонта и большой его мощностью — до 80 см и более (табл. 5).

Историко-культурный музейный комплекс «Усадьба Асеевых» г. Тамбова показан на рис. 5. Дворец был построен в 1905 г. самым богатым тамбовским фабрикантом Михаилом Васильевичем Асеевым. Уникальным сооружением на территории усадьбы является дворец Асеевых. Внешнее оформление дворца изобилует элементами декора. Все четыре стороны дворца разнообразны по архитектурному оформлению и имеют несимметричный вид. Автор дворцового проекта архитектор Л.Н. Кекушев. Площадь парковой территории усадебного комплекса составляет 5 га.

В восточной части парка проложены центральная аллея и сеть пешеходных дорожек. Все здания усадебного комплекса имеют цветочное оформление. Ассортимент древесных пород и кустарников представлен 19 видами растений. В центральной части парка растет старинный дуб. Возраст дуба около 400 лет. Дуб-патриарх старше самого города Тамбова и является дендрологическим символом края. Ландшафтная архитектура историко-культурного музейного комплекса «Усадьба Асеевых» показана на рис. 6.

Музей-усадьба «Ивановка» С.В. Рахманинова (1873–1943), расположена в Уваровском районе Тамбовской обл. На территории усадьбы были созданы каскад прудов и парк в английском стиле: группы однопорядных деревьев — елей, сосен, берез, кленов и группы кустарников — сирень, жасмин, жимолость, бересклет. Молодой парк раскинулся от березовой аллеи до водоема. Старый парк с вековыми деревьями имел несколько аллей: вязовую, кленовую, тополевою. Вид сверху территории усадебного комплекса музея-усадьбы «Ивановка» С.В. Рахманинова показан на рис. 7.

Усадебный комплекс «Ивановка» располагал двумя садами — верхним (молодым) и нижним (старым), здесь росли плодовые деревья. Около пруда располагалась чайная беседка и лодочная станция. В 1982 г. состоялось открытие Дома-музея С.В. Рахманинова в Ивановке [28]. Вход на территорию усадебного комплекса музея-усадьбы «Ивановка» С.В. Рахманинова показан на рис. 8.

Баланс территории усадебного комплекса музея-усадьбы «Ивановка» С.В. Рахманинова показан в табл. 6.

С 1897 г. в усадьбе Д.Н. Арцыбашева в с. Мещерка Становлянского района Липецкой обл. стали проводить работы по дендрологии и интродукции экзотов древесных пород и кустарников. В 1917 г. на базе усадебного комплекса была организована Тульская акклиматизационная станция для новых древесных культур, в 1924 г. — Лесостепная опытно-селекционная станция (ЛОСС). Коллекция парка насчитывает 2738 таксономических единиц (22 049 шт.), общее количество видов 1251, разновидностей 138, форм 49, гибридов 36, сортов 149. В 1996 г. постановлением Правительства РФ ей присвоен статус дендрологического парка (ФГУП — «Дендрологический парк «Лесостепная опытно-селекционная станция» с особой охраняемой территорией) [29]. Вид сверху на территорию усадебного комплекса ФГУП «Дендрологический парк «Лесостепная опытно-селекционная станция» показан на рис. 9.

Баланс территории усадебного комплекса ФГУП «Дендрологический парк «Лесостепная опытно-селекционная станция» показан в табл. 7.



Рис. 3. Въездная группа усадебного комплекса санатория им. А.Д. Цюрупы Лискинского района Воронежской обл. (<https://www.youtube.com/watch?app=desktop&v=KtwNjFIU1ME>)

Fig. 3. Entrance group of the sanatorium manor complex A.D. Tsyurupa, Liskinsky district, Voronezh region (<https://www.youtube.com/watch?app=desktop&v=KtwNjFIU1ME>)



Рис. 4. Ландшафтная архитектура и элементы инновационного благоустройства усадебного комплекса санатория им. А.Д. Цюрупы (https://zoon.ru/voronezh/holiday_house/sanatorij_imeni_tsyurupy/price/)

Fig. 4. Landscape architecture of the sanatorium manor complex, named after A.D. Tsyurupa (https://zoon.ru/voronezh/holiday_house/sanatorij_imeni_tsyurupy/price/)



Рис. 5. Историко-культурный музейный комплекс «Усадьба Асеевых» г. Тамбов
(https://yandex.ru/images/search?text=Историко-культурный музейный комплекс «Усадьба Асеевых» г. Тамбов&family=yes&from=tabbar&p=3&pos=134&rpt=simage&img_url=http%3A%2F%2Fotechestvo-vera.ru%2Fwp-content%2Fuploads%2F2020%2F10%2Fusadba-aseeva-v-tambove.jpg&lr=10740)

Fig. 5. Historical and cultural museum complex «Aseev's Estate», Tambov city (https://yandex.ru/images/search?text=Историко-культурный музейный комплекс «Усадьба Асеевых» г. Тамбов&family=yes&from=tabbar&p=3&pos=134&rpt=simage&img_url=http%3A%2F%2Fotechestvo-vera.ru%2Fwp-content%2Fuploads%2F2020%2F10%2Fusadba-aseeva-v-tambove.jpg&lr=10740)



Рис. 6. Ландшафтная архитектура историко-культурного музейного комплекса «Усадьба Асеевых»
(<https://tambovinfo.ru/novosti/usadba-aseevyh-provedyot-onlajn-festival-moderna-dlya-tambovchan/>)

Fig. 6. Landscape architecture of the historical and cultural museum complex «Aseev's Manor» (<https://tambovinfo.ru/novosti/usadba-aseevyh-provedyot-onlajn-festival-moderna-dlya-tambovchan/>)



Рис. 7. Территория усадебного комплекса музея-усадьбы «Ивановка» С.В. Рахманинова. Вид сверху
(<https://www.tourister.ru/world/europe/russia/city/tambov/museum/29096>)

Fig. 7. Territory of the museum manor complex «Ivanovka» owned by S.V. Rachmaninov. Aerial view
(<https://www.tourister.ru/world/europe/russia/city/tambov/museum/29096>)



Рис. 8. Вход на территорию усадебного комплекса музея-усадьбы «Ивановка» С.В. Рахманинова
(<https://top68.ru/galleries/2021-05-23/sirenevaya-noch-v-ivanovke-44855>)

Fig. 8. Entrance to the territory of the museum estate complex «Ivanovka» owned by S.V. Rachmaninov
(<https://top68.ru/galleries/2021-05-23/sirenevaya-noch-v-ivanovke-44855>)

Т а б л и ц а 6

**Баланс территории усадебного
комплекса музея-усадьбы «Ивановка»
С.В. Рахманинова**

**The balance of the manor complex «Ivanovka»
owned by S.V. Rachmaninov**

Вид используемой территории	Существующая площадь, га (%)	Проектируемая площадь, га (%)
Водные поверхности	0,05 (0,4)	0,15 (1,0)
Здания и сооружения	0,32 (2,13)	0,81 (5,4)
Дороги и аллеи:		
набивные	1,15 (7,67)	1,27 (8,47)
кирпичные	0,04 (0,27)	0,14 (0,93)
асфальтовые	0,14 (0,93)	0,15 (1,0)
плиточные	0,46 (3,07)	0,04 (0,27)
Спортивные площадки	0,088 (0,53)	0,06 (0,4)
Площадки под зелеными насаждениями:		
деревья	1,27 (8,47)	0,53 (3,53)
кустарники	0,27 (1,8)	0,8 (5,33)
цветники	0,08 (0,53)	0,14 (0,93)
газоны	9,78 (65,2)	12,3 (82,0)
Итого	15,0 (100,0)	15,0 (100,0)

Т а б л и ц а 7

**Баланс территории усадебного комплекса
ФГУП «Дендрологический парк
«Лесостепная опытно-селекционная
станция»**

**The balance of the manor complex of the Federal State
Unitary Enterprise Arboretum «LOSS»**

Наименование участков	Площадь, га (%)
Отдел массового размножения	37,90 (69,92)
Интродукционный питомник	6,0 (1,10)
Дендрарий	10,5 (1,93)
Новый дендрарий	5,0 (0,92)
Парк	4,0 (0,73)
Фрутицетум, туйетум	0,65 (0,11)
Сквер	0,35 (0,06)
Лесные опытные культуры	35,0 (6,45)
Живые изгороди	3,0 (0,55)
Маточно-семенной участок	14,0 (2,58)
Маточники красивоцветущих кустарников	3,0 (0,55)
Участок отводкового размножения	0,5 (0,09)
Естественные лесные насаждения	52,0 (9,59)
Дороги, строения, усадьбы	29,5 (5,44)
Итого	542,0 (100,0)

В 1703 г. участок земли в Курской губернии был пожалован Императором Петром I гетману Украины И.С. Мазепе, который основал с. Ивановское, впоследствии перешедшее князю И.С. Барятинскому. Дворцово-парковый ансамбль

«Марьино» близ с. Ивановского Рыльского района Курской обл. был построен в XIX в. (1810–1820). Композиционная ось паркового ансамбля проходит через въездную аллею мимо дворца, парка и пруда. Центром композиции ансамбля является дворец. Дворец построен по проекту архитектора К.И. Гофмана. На территории дворцового комплекса созданы пейзажный парк с регулярной частью у дворца и водоем. На круглом острове построена ротонда, на овальном острове — кирха (рис. 10).

Парковый комплекс включал в себя оранжерею, зверинец, парковые скульптуры, разнообразные мосты. В 1903 г. в нем появился монумент «Орел» — символ русской воинской славы, созданный в честь окончания Кавказской войны (1817–1864). Древесные породы и кустарники представлены 42 видами. В настоящее время дворцово-парковый ансамбль «Марьино» находится в ведении Управления делами Президента Российской Федерации (рис. 11).

Дворцово-парковый комплекс «Моква» расположен в д. Моква в 5 км от г. Курска. Строительство комплекса началось при губернаторе А.И. Нелидове (1773–1834) на рубеже XVIII–XIX вв. При строительстве дворца использовали красный кирпич. Во дворце было предусмотрено 40 помещений. В усадьбу входили ландшафтный парк и водная система из трех каскадных прудов. Кроме того, на территории усадьбы располагались церковь, оранжерейное хозяйство, теплицы, жилье садовника, павильоны, фонтаны, беседки, гроты, мостики, парковая скульптура. Рядом с парком был разбит плодовый сад и роща из разных пород деревьев. Революционные события 1917 г. нанесли непоправимый урон сооружениям, дворцу, ландшафтному парку и водным объектам.

В период с лета 1941 г. по февраль 1943 г. дворцово-парковый ансамбль «Моква» был занят фашистскими оккупантами, которые его уничтожили. В настоящее время комплекс восстановлен (рис. 12).

Типологические характеристики курских усадебных комплексов носили региональный оттенок и зависели от географических, социально-экономических и национальных особенностей местности [30].

На территории Белгородской обл. расположены усадебные комплексы, созданные в разные периоды.

Дворцово-парковый комплекс «Дворец Юсуповых» (рис. 13) является памятником архитектуры XIX в., созданный по проекту архитектора Джакомо Флоренти в стиле русского классицизма с элементами барокко (1840). Он расположен в п. Ракитное Белгородской обл. Площадь комплекса с каскадными прудами составляет 35 га. Ландшафтная архитектура Дворцово-паркового комплекса «Дворец Юсуповых» показана на рис. 14.



Рис. 9. Территория усадебного комплекса ФГУП «Дендрологический парк «Лесостепная опытно-селекционная станция». Вид сверху

(<https://bravo-voronezh.ru/sovremennost/voronezhskaya-oblast/sosednie-regiony-voronezhskoy-oblasti/nashi-sosedi-lipeckaya-oblast/>)

Fig. 9. The manor complex territory of the Federal State Unitary Enterprise Arboretum «LOSS». Aerial view

(<https://bravo-voronezh.ru/sovremennost/voronezhskaya-oblast/sosednie-regiony-voronezhskoy-oblasti/nashi-sosedi-lipeckaya-oblast/>)



Рис. 10. Территория Дворцово-паркового ансамбля «Марьино». Вид сверху

(<http://aktiv-tur-orel.ru/g.-kursk-i-kurskaya-obl.>)

Fig. 10. The Palace and Park Ensemble «Maryino» territory. Aerial view

(<http://aktiv-tur-orel.ru/g.-kursk-i-kurskaya-obl.>)



Рис. 11. Элемент ландшафтной архитектуры дворцово-паркового ансамбля «Марьино»
(<https://russiaedu.ru/vuz/46/kagms/news/bodrogo-ponedelnika>)

Fig. 11. Landscape architecture element of the Palace and Park Ensemble «Maryino»
(<https://russiaedu.ru/vuz/46/kagms/news/bodrogo-ponedelnika>)



Рис. 12. Территория Дворцово-паркового комплекса усадьбы Нелидова д. Моква. Вид сверху
(<https://kpravda.ru/2022/03/16/v-kurskoj-oblasti-mogut-prodat-sanatorij-mokva/>)

Fig. 12. The Palace and park complex of the Nelidov's manor, the village of Mokva. Aerial view
(<https://kpravda.ru/2022/03/16/v-kurskoj-oblasti-mogut-prodat-sanatorij-mokva/>)



Рис. 13. Дворцово-парковый комплекс «Дворец Юсуповых» (<https://migrantocenter.ru/белгородская-область-культура/>)

Fig. 13. Palace and park complex «The Yusupovs' Palace» (<https://migrantocenter.ru/белгородская-область-культура/>)



Рис. 14. Ландшафтная архитектура дворцово-паркового комплекса «Дворец Юсуповых» (<http://maliby-tour.ru/ekskursionnye-tury/po-belgorodskoj-oblasti>)

Fig. 14. Landscape architecture of the manor «The Yusupovs' Palace» (<http://maliby-tour.ru/ekskursionnye-tury/po-belgorodskoj-oblasti>)

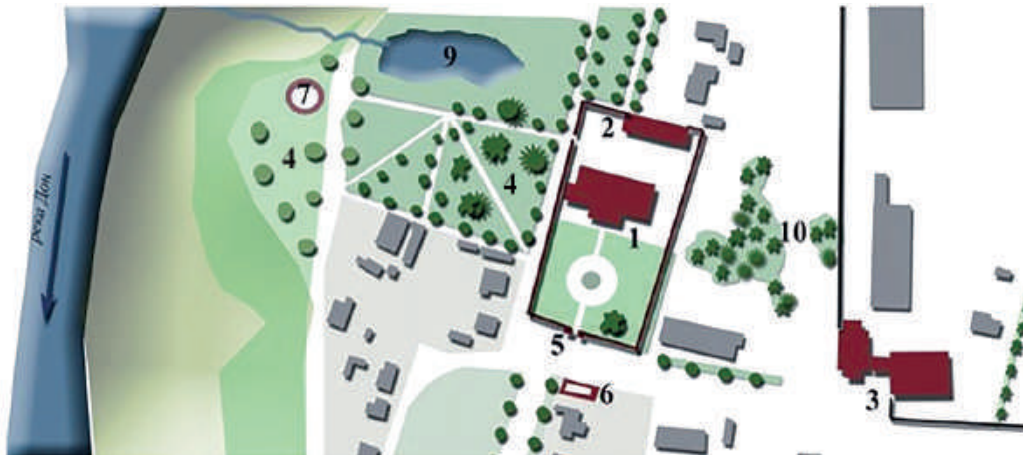


Рис. 15. План территории усадебного комплекса Вeneвитиновых: 1 — главный дом, конец XVIII — начало XIX в.; 2 — флигель, 1877 г.; 3 — церковь Михаила Архангела, 1780 г.; 4 — парк; 5 — ограда и ворота, середина XIX в.; 6 — место флигеля, XIX в.; 7 — место парковой беседки, XIX в.; 8 — пруд; 9 — остатки парка в новой застройке
(https://урок.рф/library/turisticheskij_putevoditel_po_kulturnim_mestam_vo_094743.html)

Fig. 15. Plan of the Venevitinovs' manor complex: 1 — main house, late 18th — early 19th centuries; 2 — outbuilding, 1877; 3 — Church of Michael the Archangel, 1780; 4 — park; 5 — fence and gate, mid-19th century; 6 — place of the outbuilding, 19th century; 7 — place of a park arbor, 19th century; 8 — pond; 9 — the remains of the park in the new housing development
(https://урок.рф/library/turisticheskij_putevoditel_po_kulturnim_mestam_vo_094743.html)



Рис. 16. Территория усадебного комплекса Вeneвитиновых. Вид сверху (<https://www.youtube.com/watch?app=desktop&v=SnfoX8PJ2PM>)

Fig. 16. Territory of the Venevitinovs' manor complex. Aerial view (<https://www.youtube.com/watch?app=desktop&v=SnfoX8PJ2PM>)

Цветовые характеристики растений для усадебных комплексов Центрального Черноземья
Color characteristics of plants for estate complexes in the Central Chernozem region

Вид растения	Номер цвета	Яркость	Насыщенность	Название цветового тона
Анютины глазки	К.15,0; 2/4	6,9	12,0	Кобальт фиолетовый светлый
Гвоздика перистая	К.0,6; 2/8	15,4	57,0	Марганцевая голубая
Ирис Sorful, синий	К.13,4; 8/2	14,8	5,0	Фиолетовый диоксазиновый
Колокольчик персиколистный	К.14,0; 6/4	11,5	6,0	Кобальт фиолетовый
Купальница европейская	К.4,9; 2/2	65,1	91,0	Желтый светопрочный
Левкой малиновый	К.1,0; 8/6	10,3	37,0	Розовый хинокридоновый
Лилия шафранная	К.3,5; 6/4	20,5	77,0	Оранжевый
Львиный зев Scarlet, красный	К.2,0; 2/2	11,1	66,0	Кадмий пурпурный
Роза Alain	К.1,3; 4/2	7,8	37,0	Крапплак красный
Тагетис прямостоячий оранжевый	К.4,3; 2/2	36,5	91,0	Золотисто-желтый прочный

Примечание. Цветовые характеристики растений приведены по атласу № 050, разработанному ВНИИМ им. Д.И. Менделеева.

Достижения цветоведения необходимо учитывать при формировании среды объектов озеленения и в цветочном оформлении, так как декоративные травянистые растения, применяемые в цветниках, являются носителями наиболее чистых и разнообразных цветов в природе всех зон мира [31]. Цветовые характеристики растений, наиболее часто применяемых в усадебных комплексах Центрального Черноземья, приведены в табл. 8.

Впервые усадьба Вeneвeтитиновых (с. Новожиwотинное, Рамонский район Воронежской обл.) упоминается в документах 1678 г. За период существования ее многократно перестраивали. План территории усадебного комплекса Вeneвeтитиновых показан на рис. 15.

С 1930 г. в здании усадьбы располагались школа, детский дом, воинская часть. Вид сверху территории усадебного комплекса Вeneвeтитиновых показан на рис. 16. В 1988 г. на территории усадьбы начались реставрационные работы. В 2005 г. были проведены юбилейные празднования 200-летия со дня рождения поэта Д.В. Вeneвeтитинова. Эскизный проект территории усадебного комплекса Вeneвeтитиновых показан на рис. 17.

Усадебный комплекс украшает парк, заложенный в первой половине XVIII в. Проект парка был выполнен в регулярном стиле, с разбивкой всей площади на прямоугольные участки системой аллей, с плодовым садом, водоемом, террасами по берегу р. Дон. Доминантой усадебного комплекса был дом с круглым амфитеатром из сирени перед фасадом, большими газонами и оригинальными цветниками.

На момент строительства парковый ансамбль представлял собой образец садово-паркового искусства. Древесные породы и кустарники представлены 30 видами. Фрагмент ландшафтного парка усадебного комплекса Вeneвeтитиновых представлен на рис. 18.



Рис. 17. Эскизный проект территории усадебного комплекса Вeneвeтитиновых (<https://bazaotdiha.ru/usadba-venivitinova/>)

Fig. 17. Draft design of the Venevitinovs' manor complex territory (<https://bazaotdiha.ru/usadba-venivitinova/>)

Инновационный ассортимент декоративных древесных растений, кустарников и уникальные цветочные композиции следует рационально располагать по территории усадебных комплексов с учетом сезонности цветения и методических рекомендаций Tim Newbury [32], а ландшафтные композиции создавать на видовых местах с учетом показателей устойчивости среды и рекомендаций Geoffrey Young [33].

Воронеж — город давних и богатых литературных традиций. Для воронежцев город, расположенный на притоке Дона, это малая родина, без которой нет Родины большой [34]. Знание памятных литературных мест помогает лучше узнать уникальные объекты ландшафтной архитектуры усадебных комплексов Центрального Черноземья. Храм — это особое место, не похожее на другие строения, здание, посвященное общению с Богом и предназначенное для общественного служения Ему [35].



Рис. 18. Ландшафтный парк усадебного комплекса Веневитиновых ([https://yandex.ru/images/search?text=Эскизный проект территории усадебного комплекса Веневитиновых Рамонского района Воронежской области&family=yes&lr=10740&from=tabbar&p=1&pos=47&rpt=simage&img_url=http%3A%2F%2Fcdn.culture.ru%2Fimages%2Fbf012fab-5cc0-521d-bec2-5dc15b151a2e](https://yandex.ru/images/search?text=Эскизный+проект+территории+усадебного+комплекса+Веневитиновых+Рамонского+района+Воронежской+области&family=yes&lr=10740&from=tabbar&p=1&pos=47&rpt=simage&img_url=http%3A%2F%2Fcdn.culture.ru%2Fimages%2Fbf012fab-5cc0-521d-bec2-5dc15b151a2e))

Fig. 18. Landscape park of the Venevitinovs' manor complex ([https://yandex.ru/images/search?text=Эскизный проект территории усадебного комплекса Веневитиновых Рамонского района Воронежской области&family=yes&lr=10740&from=tabbar&p=1&pos=47&rpt=simage&img_url=http%3A%2F%2Fcdn.culture.ru%2Fimages%2Fbf012fab-5cc0-521d-bec2-5dc15b151a2e](https://yandex.ru/images/search?text=Эскизный+проект+территории+усадебного+комплекса+Веневитиновых+Рамонского+района+Воронежской+области&family=yes&lr=10740&from=tabbar&p=1&pos=47&rpt=simage&img_url=http%3A%2F%2Fcdn.culture.ru%2Fimages%2Fbf012fab-5cc0-521d-bec2-5dc15b151a2e))

Многие из таких культовых объектов, как соборы, церкви, монастыри, домовые церкви и часовни, располагались на территориях древних русских усадебных комплексов.

Выводы

1. Длительное пребывание Императора Петра I на Воронежской земле в период с 1896 по 1722 гг. и строительство здесь российского флота развивали регион, способствовали росту строительства и ландшафтному благоустройству создававшихся усадебных комплексов.

2. Крупнейшие землевладельцы, известные промышленники, фабриканты, в частности такие знаменитые люди России, как Веневитиновы, Тулиновы, Тевяшовы, Станкевичи, Бутурлины, Воронцовы, Волконские, Потаповы, Паренаго, Чертковы, Звегинцевы, Безбородко, Нащокины, Ростопчины, Протасовы, Васильчиковы, Левашовы, Барятинские, Колюбакины, Юсуповы имели дворцы и усадьбы не только в Москве и Санкт-Петербурге, но и в других крупных городах. Основой их финансового благополучия была успешная экономическая, производственная и хозяйственная деятельность, способствовавшая стремительному развитию дворцового и усадебного паркостроения.

3. Дендрологические ресурсы — важнейшее условие благоустройства усадебных комплексов. В пределах Центрального Черноземья в этих целях используется 282 вида растений из 33 семейств.

Наиболее часто встречаются растения из семейств: Rosaceae, Pinaceae, Solicaseae. Сохранение уникальных коллекций интродуцированных растений, сосредоточенных в усадебных комплексах региона является важнейшей задачей государственных органов власти.

4. Расположение усадебных комплексов в системе эколого-ландшафтных комплексов крупнейших речных бассейнов (Волги, Днепра, Дона) создало уникальные возможности для усадебного паркостроения. В густонаселенных местах около города Воронежа расположены усадьбы с церквями, построенные по берегам рек, которые образуют интересные пространственно-ландшафтные комплексы, в частности усадьбы в селах Терновое и Губарево на излучине реки Ведуга, усадьбы Веневитиновых в с. Новоживотинное и Чертковых в с. Хвощеватка, на разных берегах Дона.

5. Черноземы, лесные и луговые почвы уникально плодородны, что в совокупности с благоприятными природно-климатическими условиями придало Центральному Черноземью статус одного из лидеров аграрного производства, что способствовало активному строительству усадебного паркостроения.

6. Ландшафтная архитектура усадебных комплексов Центрального Черноземья на протяжении XVIII–XX вв. эволюционировала от допетровских традиций в строительстве и благоустройстве до барокко и классицизма, эклектики и модерна,

от применения типовых элементов планировки массовой застройки до элитного благоустройства строений богатых горожан с лучшими образцами столичного благоустройства Москвы и Санкт-Петербурга, а также Черноморского побережья.

Список литературы

- [1] Низовский А.Ю. Усадьбы России. М.: Вече, 2005. 320 с.
- [2] Нашокина М.В. Дворянские гнезда России. История, культура, архитектура. М.: Жираф, 2000. 384 с.
- [3] Андреева Р.В. Русские провинциальные усадьбы. Воронеж: Центр духовного возрождения Черноземного края, 2001. 496 с.
- [4] Андреева Р.В. Русские провинциальные усадьбы XVIII — начала XX века. Воронеж: Центр духовного возрождения Черноземного края, 2011. 600 с.
- [5] Попов Г.Г. Воронежские сады. Воронеж: Центр духовного возрождения Черноземного края, 2005. 256 с.
- [6] Дворянские усадьбы России. М.: Эксмо, 2009. 248 с.
- [7] Кадастр особо охраняемых территорий Воронежской области / под ред. О.П. Негрובה. Воронеж: Изд-во Воронежского государственного университета, 2001. 146 с.
- [8] Биоразнообразие города Воронежа / под ред. О.П. Негрובה. Воронеж: Изд-во Воронежского государственного университета, 2004. 98 с.
- [9] Методика системных исследований лесоаграрных ландшафтов. М.: Изд-во ВАСХНИЛ, 1985. 112 с.
- [10] Растения Красной книги России в коллекциях ботанических садов и дендрариев. М.: Изд-во ГБС РАН, Тула: Гриф и К, 2005. 144 с.
- [11] ГОСТ 25769–83. Саженцы деревьев хвойных пород для озеленения городов. Технические условия от 23 июня 2009 г. М.: Росстандарт, 2009. 10 с.
- [12] ГОСТ 28329–89. Озеленение городов. Термины и определения. М.: Издательство стандартов, 1990. 13 с.
- [13] Машкин С.И. Дендрология Центрального Черноземья. Систематика, картология, география, генезис, экология и использование местных и интродуцированных деревьев и кустарников. Воронеж: Изд-во Воронежского государственного университета, 1971. 344 с.
- [14] Кругляк В.В., Гурьева Е.И. Древоводство. Воронеж: Изд-во ВГЛТА, 2011. 144 с.
- [15] Теодоронский В.С., Жеребцова Г.П. Озеленение населенных мест. Градостроительные основы. М.: Академия, 2010. 256 с.
- [16] Успенский Ю.И. Старый Воронеж. Художественно исторический очерк. Воронеж: Профтехшкола, 1921. 80 с.
- [17] Врангель Н.Н. История русских усадеб и поместий. М.: Эксмо, 2009. 608 с.
- [18] Митин В.А. Иван Егорович Старов, Николай Никитович Иевский, Джакомо Кваренги. Начало Большого Воронежа: в 2 т. Т. 1: От крепостных стен до генплана. Воронеж: ООО «Творческое объединение «Альбом», 2009. 96 с.
- [19] Митин В.А. Иван Егорович Старов, Николай Никитович Иевский, Джакомо Кваренги. Начало Большого Воронежа: в 2 т. Т. 2: Екатеринский классицизм. Воронеж: ООО «Творческое объединение «Альбом», 2010. 96 с.
- [20] ГОСТ 8. 205–90. Государственная поверочная схема для средств измерений координат цвета и координат цветности. М.: Госстандарт СССР, 1990. 7 с.
- [21] ГОСТ 8. 205–2014. Государственная поверочная схема для средств измерений координат цвета и координат цветности, показателей белизны и блеска. М.: Стандартинформ, 2019. 7 с.
- [22] Соколова Т.А. Цветочное оформление. Цветовые характеристики растений и пропорции. М.: МГУЛ, 1999. 64 с.
- [23] Комолов Н.А. Воронежские страницы в биографии Петра Великого. Воронеж: Издательский дом ВГУ, 2019. 104 с.
- [24] Кригер Л.В. Усадьбы Воронежской области. Воронеж: Центр духовного возрождения Черноземного края, 2011. 368 с.
- [25] Митин В.А. Усадьбы города Воронежа XVIII, XIX, XX веков. Воронеж: Никитинское, 2004. 224 с.
- [26] Воронежские губернаторы и вице-губернаторы. 1710–1917: Историко-биографические очерки /Ред. и сост. А.Н. Акиншин. Воронеж: Центр. Чернозем. кн. изд-во, 2000. 400 с.
- [27] Кругляк В.В., Гурьева Е.И. Ландшафтная архитектура и садово-парковое строительство парков санаториев и курортов Воронежской области. Воронеж: Изд-во Воронежского государственного университета, 2010. 156 с.
- [28] Кругляк В.В., Сокольская О.Б., Терешкин А.В. Рекреационные ресурсы провинций России. Воронеж: Научная книга, 2011. 174 с.
- [29] Кругляк В.В., Минаева А.И., Ткачева Ю.А. Зональные особенности паркостроения. Ч.5. ФГУП-дендропарк «ЛЮСС» Липецкой области. Воронеж: Изд-во ВГЛТА, 2010. 64 с.
- [30] Холодова Е.В. Пореформенные усадьбы Курской губернии 1861–1917 годов. Курск: Крона, 2007. 392 с.
- [31] Соколова Т.А., Бочкова И.Ю. Декоративное растениеводство: Цветоводство. М.: Академия, 2004. 432 с.
- [32] Newbury T. The Ultimate Garden designer, London: Ward Lock, 1995, p. 256.
- [33] Geoffrey Young. Walking Londons parks and gardens. Londons: New Holland Publishers (UK), 1998. p. 222.
- [34] Ласунский О.Г. Литературная прогулка по Воронежу. Воронеж: Центрально-Черноземное книжное издательство, 1985. 255 с.
- [35] Акиншин А.Н. Храмы Воронежа. Воронеж: Кварта, 2003. 240 с.

Сведения об авторе

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

Поступила в редакцию 07.09.2022.

Одобрено после рецензирования 20.09.2022.

Принята к публикации 26.09.2022.

LANDSCAPE ARCHITECTURE OF MANOR COMPLEXES IN CENTRAL CHERNOZEM REGION

V.V. Kruglyak

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

kruglyak_vl@mail.ru

Manor complexes in the Belgorod, Voronezh, Kursk, Lipetsk and Tambov regions of the Central Chernozem region are presented. The chronology of the visits made by Emperor Peter I to the city of Voronezh in the period from 1696 to 1722 is outlined. Manor complexes of the Voronezh region are characterized by the date of their occurrence. The data on the historical cities of the Voronezh region with the date of their foundation are given. The reigning periods of some Voronezh governors, governors-general, governors, vice-governors, provincial commissars, provincial comrades are analyzed. The structure of the soil cover in the park territory of the sanatorium named after A.D. Tsyurupa, Liskinsky district, Voronezh region is outlined. 10 color characteristics of flowers are recommended for estate complexes of the Central Chernozem region. The balance of the territory of the museum-estate «Ivanovka» by S.V. Rachmaninov, Uvarovsky district, Tambov region is identified. The balance of the territory of the Federal State Unitary Enterprise — the dendrological park «LOSS» in the Stanovlyansky district of the Lipetsk region has been established.

Keywords: landscape architecture, estate complexes, Central Chernozem region

Suggested citation: Kruglyak V.V. *Landshaftnaya arkhitektura usadebnykh kompleksov Tsentral'nogo Chernozem'ya* [Landscape architecture of manor complexes in Central Chernozem region]. *Lesnoy vestnik / Forestry Bulletin*, 2022, vol. 26, no. 6, pp. 114–131. DOI: 10.18698/2542-1468-2022-6-114-131

References

- [1] Nizovskiy A.Yu. *Usad'by Rossii* [Estates of Russia]. Moscow: Veche, 2005, 320 p.
- [2] Nashchokina M.V. *Dvoryanskie gnezda Rossii. Istoriya, kul'tura, arkhitektura* [Noble nests of Russia. History, culture, architecture]. Moscow: Zhiraf [Giraffe], 2000, 384 p.
- [3] Andreeva R.V. *Russkie provintsial'nye usad'by* [Russian provincial estates]. Voronezh: Tsentr dukhovnogo vrozozhdeniya Chernozemnogo kraia [Center for Spiritual Revival of the Chernozem Territory], 2001, 496 p.
- [4] Andreeva R.V. *Russkie provintsial'nye usad'by XVIII — nachala XX veka* [Russian provincial estates of the 18th — early 20th centuries]. Voronezh: Tsentr dukhovnogo vrozozhdeniya Chernozemnogo kraia [Center for Spiritual Revival of the Chernozem Territory], 2011, 600 p.
- [5] Popov G.G. *Voronezhskie sady* [Voronezh gardens]. Voronezh: Center for the Spiritual Revival of the Chernozem Territory, 2005, 256 p.
- [6] *Dvoryanskie usad'by Rossii* [Noble estates of Russia]. Moscow: Eksmo, 2009, 248 p.
- [7] *Kadastr osobo okhranyaemykh territoriy Voronezhskoy oblasti* [Cadastre of specially protected territories of the Voronezh region]. Ed. O.P. Negrobova. Voronezh: Voronezh State University, 2001, 146 p.
- [8] *Bioraznoobrazie goroda Voronezha* [Biodiversity of the city of Voronezh]. Ed. O.P. Negrobova. Voronezh: Voronezh State University, 2004, 98 p.
- [9] *Metodika sistemnykh issledovaniy lesoagrarykh landshaftov* [Methods of systematic research of forest-agrarian landscapes]. Moscow: Publishing House of VASKHNIL, 1985, 112 p.
- [10] *Rasteniya Krasnoy knigi Rossii v kollektiyakh botanicheskikh sadov i dendrariyev* [Plants of the Red Book of Russia in the collections of botanical gardens and arboretums]. Moscow: Publishing House of GBS RAS; Tula: Grif and K, 2005, 144 p.
- [11] GOST 25769–83 *Sazhentsy derev'ev khvoynykh porod dlya ozeleneniya gorodov* [Saplings of coniferous trees for landscaping cities]. Specifications dated June 23, 2009. Moscow: Rosstandart, 2009, 10 p.
- [12] GOST 28329–89 *Ozelenenie gorodov. Terminy i opredeleniya* [City greening. Terms and Definitions]. Moscow: Ed. Standards, 1990, 13 p.
- [13] Mashkin S.I. *Dendrologiya Tsentral'nogo Chernozem'ya. Sistematika, kariologiya, geografiya, genesis, ekologiya i ispol'zovanie mestnykh i introdutsirovanykh derev'ev i kustarnikov* [Dendrology of the Central Chernozem Region. Systematics, karyology, geography, genesis, ecology and use of native and introduced trees and shrubs]. Voronezh: Voronezh State University, 1971, 344 p.
- [14] Kruglyak V.V., Gur'eva E.I. *Drevovodstvo* [Tree growing]. Voronezh: VGLTA, 2011, 144 p.
- [15] Teodoronskiy V.S., Zherebtsova G.P. *Ozelenenie naselennykh mest. Gradostroitel'nye osnovy* [Landscaping of populated areas. Urban foundations]. Moscow: Academy, 2010, 256 p.
- [16] Uspenskiy Yu.I. *Staryy Voronezh. Khudozhestvenno istoricheskiy ocherk* [Old Voronezh. Artistic historical essay]. Voronezh: Proftekhshkola Publishing House, 1921, 80 p.
- [17] Vrangeli N.N. *Istoriya russkikh usad'eb i pomestiy* [History of Russian estates and estates]. Moscow: Eksmo, 2009, 608 p.
- [18] Mitin V.A. *Ivan Egorovich Starov, Nikolay Nikitovich Ievskiy, Dzhakomo Kvarengi. Nachalo Bol'shogo Voronezha: v 2 t. T. 1: Ot krepostnykh sten do genplana* [Ivan Egorovich Starov, Nikolai Nikitovich Ievsky, Giacomo Quarenghi. Beginning of Great Voronezh, in 2 vols., vol. 1. From the fortress walls to the general plan]. Voronezh: LLC «Creative Association «Album», 2009, 96 p.
- [19] Mitin V.A. *Ivan Egorovich Starov, Nikolay Nikitovich Ievskiy, Dzhakomo Kvarengi. Nachalo Bol'shogo Voronezha: v 2 t. T. 2: Ekaterinskiy klassitsizm* [Ivan Egorovich Starov, Nikolai Nikitovich Ievsky, Giacomo Quarenghi. The Beginning of Great Voronezh: in 2 vols. Vol. 2: Catherine's classicism]. Voronezh: LLC «Creative Association «Album», 2010, 96 p.
- [20] GOST 8. 205–90 *Gosudarstvennaya poverchnaya skhema dlya sredstv izmereniy koordinat tsveta i koordinat tsvetnosti* [State verification scheme for measuring instruments of color coordinates and color coordinates]. Moscow: Gosstandart of the USSR, 1990. 7 p.

- [21] GOST 8. 205–2014 *Gosudarstvennaya poverochnaya skhema dlya sredstv izmereniy koordinat tsveta i koordinat tsvetnosti, pokazateley belizny i blesk* [State verification scheme for measuring instruments of color coordinates and chromaticity coordinates, indicators of whiteness and gloss]. Moscow: Standartinform, 2019, 7 p.
- [22] Sokolova T.A. *Tsvetochnoe oformlenie. Tsvetovye kharakteristiki rasteniy i proporsii* [Floral decoration. Color characteristics of plants and proportions]. Moscow: MSFU, 1999, 64 p.
- [23] Komolov N.A. *Voronezhskie stranitsy v biografii Petra Velikogo* [Voronezh pages in the biography of Peter the Great]. Voronezh: VSU Publishing House, 2019, 104 p.
- [24] Kriger L.V. *Usad'by Voronezhskoy oblasti* [Estates of the Voronezh region]. Voronezh: Center for Spiritual Revival of the Chernozem Territory, 2011, 368 p.
- [25] Mitin V.A. *Usad'by goroda Voronezha XVIII, XIX, XX vekov* [Estates of the city of Voronezh XVIII, XIX, XX centuries]. Voronezh: Nikitinskoe, 2004, 224 p.
- [26] *Voronezhskie gubernatory i vitse-gubernatory. 1710–1917: Istoriko-biograficheskie ocherki* [Voronezh governors and vice-governors. 1710–1917: Historical and biographical essays]. Ed. and comp. A.N. Akinshin. Voronezh: Center. Chernozem. book. publishing house, 2000, 400 p.
- [27] Kruglyak V.V., Gur'eva E.I. *Landshaftnaya arkhitektura i sadovo-parkovoe stroitel'stvo parkov sanatoriev i kurortov Voronezhskoy oblasti* [Landscape architecture and landscape gardening construction of parks of sanatoriums and resorts of the Voronezh region]. Voronezh: Voronezh State University Press, 2010, 156 p.
- [28] Kruglyak V.V., Sokol'skaya O.B., Tereshkin A.V. *Rekreatsionnye resursy provintsiy Rossii* [Recreational resources of Russian provinces]. Voronezh: Nauchnaya kniga, 2011, 174 p.
- [29] Kruglyak V.V., Minaeva A.I., Tkacheva Yu.A. *Zonal'nye osobennosti parkostroeniya* [Zonal features of park building. Part 5. FSUE-arboretum «LOSS» of the Lipetsk region]. Voronezh: VGLTA, 2010, 64 p.
- [30] Kholodova E.V. *Poreformennye usad'by Kurskoy gubernii 1861–1917 godov* [Post-reform estates of the Kursk province in 1861–1917]. Kursk: Krona, 2007, 392 p.
- [31] Sokolova T.A., Bochkova I.Yu. *Dekorativnoe rastenievodstvo: Tsvetovodstvo* [Ornamental plant growing: Floriculture]. Moscow: Academy, 2004, 432 p.
- [32] Newbury T. *The Ultimate Garden designer*, London: Ward Losk, 1995, p. 256.
- [33] Geoffrey Young. *Walking London parks and gardens*. Londons: New Holland Publishers (UK), 1998, p. 222.
- [34] Lasunskiy O.G. *Literaturnaya progulka po Voronezhu* [Literary walk through Voronezh]. Voronezh: Central Chernozem Book Publishing House, 1985, 255 p.
- [35] Akin'shin A.N. *Khramy Voronezha* [Churches of Voronezh]. Voronezh: Kvarta [Quarta], 2003, 240 p.

Author's information

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

Received 07.09.2022.

Approved after review 20.09.2022.

Accepted for publication 26.09.2022.

СОСТОЯНИЕ ПАРНИКОВЫХ ГАЗОВ И ИХ АССИМИЛЯЦИЯ В ПРИРОДЕ. ОБЗОР

А.Н. Иванкин

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

Представлен краткий обзор состояния и влияния парниковых газов, прежде всего диоксида углерода CO₂ на возможные климатические изменения. Отмечено, что основными парниковыми газами являются водяной пар, количество которого в общей массе может составлять от 36 до 72 %, а также диоксид углерода, который содержится в воздушной массе в количестве 9...26 %, метан — 4...9 %, озон — 3...7 %. Описаны основные источники формирования повышенной концентрации в атмосферном воздухе диоксида углерода вследствие антропогенного воздействия на окружающую среду промышленного производства и значимых природных факторов, таких как последствия вулканической деятельности. Рассмотрены изменения содержания парниковых газов в атмосфере в историческом аспекте. Показан определенный вклад отдельных экономик в общий объем выбросов парниковых газов на планете и отмечено, что в годовом выражении количество образующегося диоксида углерода вследствие человеческой деятельности может достигать 35...40 млрд т. Приведены данные о стабильном превышении концентрации CO₂ уровня 400 ppm, что является, по-видимому, самым высоким за всю историю наблюдений. Перечислены основные источники образования парниковых газов — промышленность, транспортная сеть и вулканическая деятельность. Дана оценка вклада вулканов в рост количества CO₂ в атмосфере, которое может составлять 60...250 млн т CO₂ в год, а в некоторых случаях достигать 0,5 млрд т. Показано потенциальное влияние наиболее существенных факторов поглощения избыточного содержания CO₂ — мирового океана и лесных массивов на возможность удаления парниковых газов из атмосферы. Рассмотрено предположение о поглощении мировым океаном до 2,6 млрд т CO₂ в год, причем считается, что его поглотительная способность намного выше. Охарактеризована защитная роль лесов и растительного покрова в целом для связывания диоксида углерода. Оценен вклад отдельных государств в необходимый отрицательный баланс углерода, показавший необоснованность претензий к Российской Федерации по данному вопросу. Представлен некоторый прогноз перспектив климатических изменений с позиций географических и экономических факторов.

Ключевые слова: парниковые газы, диоксид углерода, метан, озон, вулканы, объемы выбросов, промышленность, защитная функция океана и лесов

Ссылка для цитирования: Иванкин А.Н. Состояние парниковых газов и их ассимиляция в природе. Обзор // Лесной вестник / Forestry Bulletin, 2022. Т. 26. № 6. С. 132–140. DOI: 10.18698/2542-1468-2022-6-132-140

Наблюдаемые в последнее время заметные изменения климата на Земле представляют собой фундаментальный фактор существования человеческой цивилизации. Считается, что они связаны с масштабной промышленной деятельностью, приводящей к значительному росту содержания в атмосфере парниковых газов, повышение концентрации которых в атмосферном воздухе влияет на способность атмосферы отражать УФ-излучение солнца. Это в свою очередь ведет к повышению общей средней температуры воздуха, что способствует ускорению таяния полярных и высокогорных ледников и возможному повышению уровня Мирового океана. Кроме того, на этот процесс большое влияние оказывает диоксид углерода, содержащийся в атмосфере Земли [1, 2].

Изменение климата — это наблюдаемые и прогнозируемые долгосрочные трансформации средних климатических показателей, к которым можно отнести такие аномалии, как засухи, силь-

ные штормы и масштабные наводнения. Предполагается, что годовое количество осадков в некоторых регионах в долгосрочной перспективе будет снижаться. Это совместно с колебаниями температуры воздуха и количеством дождей будет заметно отражаться на продолжительности и условиях вегетационного периода растений. Существенное варьирование интервалов осадков является основной причиной усиления засух и наводнений, возрастания интенсивности сильных штормов и ураганов. Последствия таких процессов опасны для дальнейшей жизнедеятельности человека, поэтому предупреждение их последствий становится первоочередной задачей устойчивого развития [3, 4].

Самый обсуждаемый парниковый газ — диоксид углерода CO₂

Значение диоксида углерода в биосфере, прежде всего, заключается в поддержании процесса фотосинтеза растений. Являясь парниковым газом, диоксид углерода, находящийся в воздухе,

влияет на теплообмен между земной поверхностью и окружающим пространством, блокируя излучаемое ею тепло, таким образом участвуя в формировании климата [5].

Диоксид углерода является компонентом с достаточно низкой концентрацией в современной земной атмосфере. Его концентрация в воздухе составляет 0,03...0,045 %. Наряду с азотом и водяным паром, он составлял основу древней атмосферы Земли. Его доля постоянно снижалась, начиная с момента появления океанов и зарождения жизни. С середины XX в. наблюдениями установлен устойчивый рост количества CO₂ в атмосфере. В период 2015–2020 гг., согласно международным наблюдениям, среднемесячная концентрация CO₂ в атмосфере стабильно превышает 400 ppm (здесь концентрацию в 1 ppm можно считать равной 1 мг/кг или 1 мг/л) [6–8].

Колебания климатических изменений были всегда, однако в XX в. и начале XXI в. они происходят несравненно чаще. При этом средняя приземная температура воздуха возросла примерно на 0,6...0,7 °С. Моделирование климата как нелинейной динамической системы показало, что даже такие незначительные изменения температуры могут послужить причиной некоторых каскадных последствий. В частности, в летний период появилась возможность свободного мореплавания в географическую точку Северного полюса, чего ранее никогда не наблюдалось из-за плотного покрытия полярными льдами. Согласно данным метеонаблюдений, которые получены начиная с 1850 г., 10 наиболее теплых лет были зафиксированы после 1999 г.

В связи с интенсивным использованием ископаемых ресурсов в качестве топлива для промышленности и транспорта происходит быстрое увеличение концентрации диоксида углерода в атмосфере, поскольку сжигание любого органического топлива приводит к окислению ископаемого углерода с образованием CO₂. Воздействию промышленности на окружающую среду и, как следствие, повышению концентрации диоксида углерода в атмосфере Земли исследователи ведут отсчет с середины XX в. Темп нарастания содержания CO₂ увеличивался и в 2010–2020 гг., причем со скоростью более 2...3 ppm/год, или 0,5...0,7 %. По литературным данным, современный уровень содержания CO₂ в атмосфере является максимальным за последние миллионы лет. Во многом увеличение антропогенных выбросов CO₂ предопределяется ростом обезлесения [9–13].

Лучше всего количество CO₂ в атмосфере может наглядно продемонстрировать годовой график эмиссии (рис. 1) за последнее тысячелетие [10, 14].

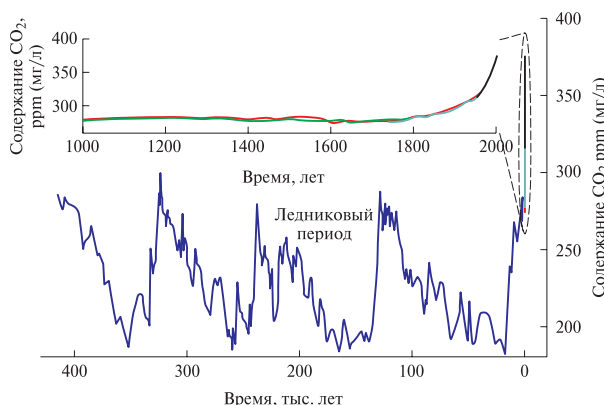


Рис. 1. Изменение содержания CO₂ в атмосфере на протяжении последних 400 тыс. лет (врезка — за последнее тысячелетие)

Fig. 1. Changes in the content of CO₂ in the atmosphere over the past 400 thousand years (fragment — over the last millennium)

Промышленность как основной эмитент диоксида углерода

Анализ литературных данных показывает, что рост эмиссии CO₂ в значительной степени обусловлен прежде всего производственной деятельностью человека. Из 7,5 млрд чел. населения Земли более 1 млрд занято в промышленности.

Существуют три основные группы промышленности:

- *старые отрасли*: угольная, металлургическая, железорудная, текстильная, судостроение, в основном в развивающихся странах;

- *новые отрасли*: производство пластмасс, химического волокна и алюминия, автомобилестроение, в основном сосредоточенные в развитых странах, которые быстро наращивают темпы производства автомобилей, химических продуктов и пластмасс;

- *новейшие отрасли*: электроника, микробиология, аэрокосмическая промышленность, вычислительная техника, робототехника и роботостроение.

Каждая из этих групп промышленности затрачивает огромное количество энергии на свои производства и прямо или косвенно способствует образованию значительного количества диоксида углерода.

По экспертным оценкам, в XXI в. человечество также активно способствует дополнительному образованию более 35...40 млрд т CO₂ в год, что составляет три четверти всех выбросов парниковых газов (по-видимому, без учета паров воды, содержание которых в земной атмосфере достигает 4 %) [15, 16].

Такое количество CO₂, вероятно, более чем в 100 раз превосходит уровень образования CO₂ вулканического происхождения.

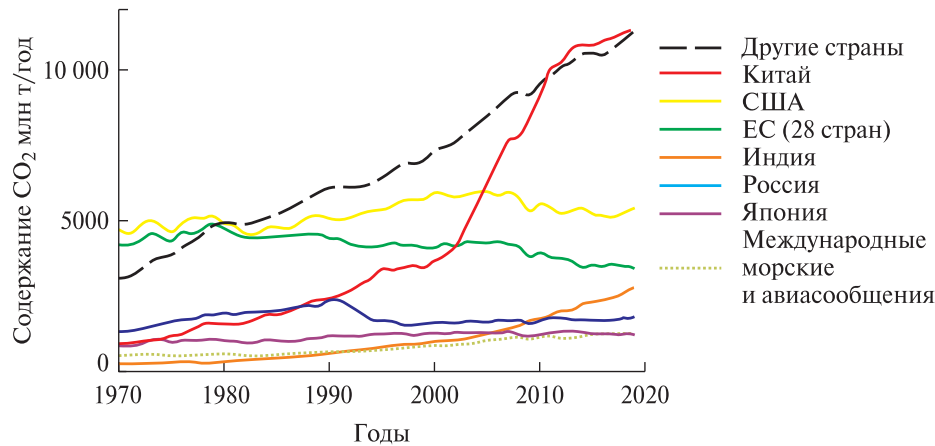


Рис. 2. Региональная эмиссия диоксида углерода за последние 50 лет
Fig. 2. Regional carbon dioxide emissions over the past 50 years

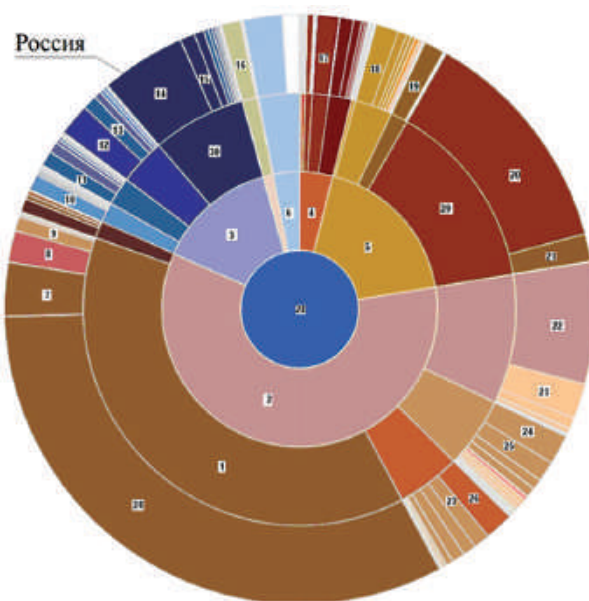


Рис. 3. Вклад отдельных регионов и стран в общий избыточный баланс CO₂: 1 — Восточная Азия; 2 — Азия; 3 — Европа; 4 — Африка; 5 — Америка; 6 — остальное; 7 — Япония; 8 — Южная Корея; 9 — Тайвань; 10 — Великобритания; 11 — Италия; 12 — Германия; 13 — Франция; 14 — Россия; 15 — Польша; 16 — Австралия; 17 — ЮАР; 18 — Бразилия; 19 — Мексика; 20 — США; 21 — Канада; 22 — Индия; 23 — Иран; 24 — Саудовская Аравия; 25 — Турция; 26 — Индонезия; 27 — Вьетнам; 28 — весь мир; 29 — Северная Америка; 30 — Восточная Европа

Fig. 3. The contribution of particular regions and countries to the overall harmful carbon balance: 1 — East Asia; 2 — Asia; 3 — Europe; 4 — Africa; 5 — America; 6 — Other; 7 — Japan; 8 — South Korea; 9 — Taiwan; 10 — Great Britain; 11 — Italy; 12 — Germany; 13 — France; 14 — Russia; 15 — Poland; 16 — Australia; 17 — South Africa; 18 — Brazil; 19 — Mexico; 20 — USA; 21 — Canada; 22 — India; 23 — Iran; 24 — Saudi Arabia; 25 — Turkey; 26 — Indonesia; 27 — Vietnam; 28 — World; 29 — North America; 30 — Eastern Europe

В соответствии с глобальной базой данных выбросов атмосферных исследований (EDGAR — Emissions Database for Global Atmospheric Research) можно оценить вклад отдельных регионов (рис. 2) в эмиссию CO₂ на планете [17, 18].

На рис. 3 представлен сопоставительный уровень эмиссии CO₂ по странам с наибольшим вкладом [19]. Из диаграммы видно, что источники выбросов CO₂ по суммарным объемам в России сопоставимы с Англией, Францией, Италией и Германией или в сумме с Японией и Южной Кореей. Они практически в 3 раза меньше выбросов в США, меньше чем в Индии и в 7 раз меньше, чем в Китае.

Общая доля выбросов CO₂ с территории Российской Федерации не превышает 5 % общемировых промышленных выбросов, поэтому введение против России какого-то специального экологического налога в пользу Европы является совершенно не обоснованным.

Вулканическая деятельность как источник образования CO₂

Определенной оценки заслуживает другой глобальный источник диоксида углерода в атмосфере — действующие вулканы.

В настоящее время количество действующих вулканов равняется 160. Наиболее значимые из них, которые наиболее часто подвергаются извержениям, следующие: подводный вулкан Таму близ Японии, Фудзияма в Японии, гавайский великан Мауна-Лоа, Килауэа на Гавайях, подводный гавайский вулкан Халеакала, Апо на о. Минданао (Филиппины), Руапеху в Новой Зеландии, Пэктусан в Корее, Кумбре-Вьеха на о. Пальма (Канарский архипелаг, Испания), Тейде в Испании, Сюртсей в Исландии, Стромболи к северу от Сицилии, Везувий в Италии, Вулкан Менделеева на о. Кунашир, Алаид и Тятя на Курилах, Чикирачки и Эбеко на северных Курилах,

на о. Парамушир, Вулкан Баранского на о. Итуруп, Ключевская сопка, Кроноцкая сопка, Шивелуч, Ичинская сопка на Камчатке, Корьякская сопка и Авачинская сопка близ Петропавловска-Камчатского, Охос-дель-Саладо в Чилийских и Аргентинских Андах, Сан-Педро и Льяйма в Чили, Котопахи и Сангай в Эквадоре, Мисти в Перу, Орисаба и Попокатепетль в Мексике, Толима в Колумбии, Рейнир, Йеллоустоунская кальдера, Катмай и Лассен Пик в США, Тахумулько в Гватемале, Килиманджаро в Танзании, Камерун в одноименной стране, Эрджияс в Турции, Керинчи на индонезийском острове Суматра, Семеру на о. Ява, Кракатау в Зондском проливе, между островами Ява и Суматра, Агунг на о. Бали, Эребус в Антарктиде, Гекла на юге Исландии, Монтань-Пеле на Малых Антильских островах, Этна на восточном побережье о. Сицилия.

Подводные вулканы выделяют от 60 до 120 млн т CO_2 в год, большая часть выделившегося CO_2 поглощается водой. Субаэральные вулканы выделяют более 250 млн т CO_2 в год [20]. По некоторым оценкам, в результате ежегодной деятельности вулканов возможно образование до 0,5 млрд т диоксида углерода. Вулканическая деятельность обеспечивает его выбросы на меньших уровнях, чем промышленность и транспорт в целом, однако в случае активизации по каким-либо причинам большого числа вулканов одновременно выбросы могут стать «апокалиптическими».

В открытой печати встречаются сведения, указывающие на то, что оценка количества ежегодных выбросов диоксида углерода в результате человеческой деятельности в 10...35 млрд т CO_2 составляет не более 5 ppm против 98 ppm/год от природных явлений, что указывает возможно на недооценку роли вулканической деятельности в существенном росте концентрации CO_2 в атмосфере.

Защитная функция Мирового океана

В связи с опасностью значительных антропогенных выбросов CO_2 , требуется оценка возможности его естественного поглощения силами природы.

Важным фактором связывания CO_2 являются моря и океаны. Мировой океан выступает в роли некоего биологического насоса, который ассимилирует диоксид углерода в воде морей и океанов вследствие его растворимости и наличия океанической микробиоты, которая использует CO_2 в процессе фотосинтеза с образованием связанной органической биомассы. Растворимость CO_2 в воде в зависимости от температуры и солености составляет до 2–3 г/л.

Океан действует как мощный абсорбер углерода, поглощая CO_2 через организмы, которые используют его для фотосинтеза. Фитопланктон, населяющий моря, участвует в этом процессе, потребляя солнечный свет и углерод для производства пищи и энергии.

Возрастание концентрации CO_2 приводит также к появлению новых видов микроорганизмов. В частности, в пробах воды по океанам мира, взятых на глубинах от 0 до 4000 м и проанализированных за достаточно длительный период — 10 лет (с 2010 по 2020 гг.) выявлено около 200 000 новых видов вирусов, что примерно в 12 раз больше, чем в исследованиях предыдущих десятилетий. Почти половина этих вирусов обнаружена исключительно в холодных водах Арктики [21–23].

Почти все вирусы оказались бактериофагами, которые атакуют бактерии, являясь относительно безопасными для человека.

Микроскопические организмы в процессе жизнедеятельности либо умирают, либо поглощаются зоопланктоном, а затем переносят связанный углерод глубже в океан. Там он может быть захоронен в осадочных породах или съеден более крупными морскими существами, жизненный цикл которых также заканчивается на дне океана.

Многие исследователи пытались с различной степенью достоверности оценить количество CO_2 , поглощаемое водами Мирового океана. За 13 лет — с 1994 по 2007 г. — океаном из атмосферы было «изъято» 35 млрд т CO_2 , что, по оценке, составляет третью часть общего объема таких выбросов, т. е. можно считать, что примерно по 2,6 млрд т CO_2 в год. По-видимому, в зависимости от температуры воды в Мировом океане — от +1 до +35 °С — 1 км² его поверхности при общей площади около 360 млн км² может поглотить за год до 7 т/км² CO_2 , который растворяется в водной среде и со временем оказывается на дне в составе осадочных пород [24–28].

В целом, принято считать, что океаны в настоящее время реально поглощают около 1/3 диоксида углерода, выделяемого в результате деятельности человека [29, 30]. Однако другие оценки, проведенные из расчета массы мирового океана $1,34 \cdot 10^{21}$ кг (или примерно $1,3 \cdot 10^{21}$ л) и потенциальной средней растворимости CO_2 на уровне 1 г/л, показывают, что такая масса воды только за счет физической растворимости CO_2 в воде может поглотить значительно больший объем обозначенных выше вредных выбросов CO_2 в 40 млрд т/год. Возможно, процесс растворения CO_2 реально ограничен, поскольку его растворение, по-видимому, значимо происходит в основном в приповерхностных слоях гидросферы, куда проникает солнечный свет.

Защитная роль лесов и растений в поглощении диоксида углерода

Лес является важнейшим возобновляемым фактором поглощения диоксида углерода. Считается, что 2,5 га лесов поглощает 1 т CO_2 , а также, что в среднем 1 га лесов ежегодно выделяет 4 т кислорода и потребляет 5 т CO_2 [31]. Кроме того, 1 га лиственного леса за год задерживает до 100 т пыли, хвойного — до 40 т. Запыление атмосферы локально оказывает существенное влияние на возможный региональный рост температуры воздуха.

За вегетационный период 1 га лиственного леса может испарять в атмосферу в среднем 2500...3000, а буковый лес — до 5000 т воды, т. е. возможность эмиссии водяного пара растительностью не может расцениваться как благоприятный фактор.

Площади лесов покрывают почти 1/3 поверхности суши т. е. около 4 млрд га. В литературе встречаются данные, указывающие на возможность ежегодного поглощения 20-летним сосняком, произрастающим на площади 1 га, до 9 т CO_2 , а 60-летним сосняком — до 14 т; спелая дубрава площадью 1 га может поглотить до 18 т CO_2 . Если принять, что за один солнечный день лес, произрастающий на площади 1 га, поглощает из воздуха до 280 кг CO_2 , то получается, что в год (200 солнечных дней) из воздуха все леса планеты могут поглотить практически весь антропогенный объем CO_2 . Однако этого не происходит, поскольку его концентрация в атмосфере в последние годы неуклонно возрастает.

Попытки точного расчета поглощения CO_2 лесами и растительным миром в целом, по-видимому, не могут быть достаточно корректными. Невозможно оценить поглощение CO_2 единственным деревом, принимая во внимание, что деревом можно считать растение выше 5 м.

Общепризнано отрицательное влияние роста CO_2 на климат Земли [32, 33]. Однако для растений в целом существующий и постоянно возрастающий уровень содержания CO_2 в воздухе не является оптимальным, поскольку эмпирические наблюдения об уровнях CO_2 в коммерческих теплицах указывают на высокую урожайность при его содержании CO_2 от 1000 до 1200 ppm [34].

При оценке влияния защитной функции лесов следует также учитывать, что сам факт существования растительного покрова сказывается на отражательной способности земной поверхности. Коэффициент отражения солнечного света широколиственным лесом заметно ниже, чем степью или тундрой. Есть оценки, по которым отражающая способность леса может быть на уровне 7 %, а тундры — более 20 %. Снижение

отражающей способности растительного покрова приводит к дополнительному поглощению солнечной энергии и нежелательному перегреву окружающей среды.

Все парниковые газы

В последнее время огромное внимание ученых и политиков всех стран обращено на влияние самого обсуждаемого парникового газа — диоксида углерода. Однако он является не единственным газообразным веществом, способным оказывать парниковый эффект, который выражается в постепенном глобальном повышении температуры окружающей среды.

Парниковые газы накапливаются в биосфере следующим образом: газовый поток поглощается из атмосферы в океан (океанический поток) $1,7 \pm 0,5$ Гт С/год (27 %), поток из атмосферы на сушу (континентальный поток) $1,4 \pm 0,7$ Гт С/год (23 %), а остаток задерживается в атмосфере (атмосферное накопление) $3,2 \pm 0,1$ Гт С/год [35], т. е. реально половина парниковых газов оказывается в свободном состоянии в атмосфере, что и сказывается на климате.

Строго говоря, многие газообразные вещества могут проявлять парниковый эффект. К ним можно отнести также аммиак, диоксид серы, оксиды азота, сероводород, метан и другие летучие органические соединения углерода. Их количество мало, и оно фактически не оказывает существенного влияния на отражающие свойства атмосферы. Наиболее значимыми парниковыми газами являются водяной пар, диоксид углерода, метан и озон.

Водяной пар обычно не рассматривают как проблему парниковых газов, поскольку человек практически никак не может повлиять на влагосодержание атмосферы в глобальном масштабе.

То же самое относится к проблеме озона, за исключением так называемых озоновых дыр, которые могут активно образовываться в верхних слоях атмосферы под воздействием некоторых антропогенных веществ. Озон O_3 представляет собой продукт доокисления кислорода во время грозных разрядов или в ионосфере. Некоторые вещества, поступаая в ионосферу, способствуют усилению ее прозрачности до опасных для живых систем жесткого ультрафиолетового излучения и космической радиации, вызывающих интенсивное образование озона. В связи с этим была проведена большая работа по запрещению использования в мировой практике, в частности в холодильной технике, высоколетучих фторсодержащих соединений — фреонов, которые, как было установлено, и способствуют образованию значительного количества озона [36, 37] (таблица).

Парниковые газы
Greenhouse gases

Компонент	Формула	Концентрация в атмосфере, ppm	Массовая доля, %
Водяной пар	H ₂ O	10...50 000	36...72
Диоксид углерода	CO ₂	~ 400	9...26
Метан	CH ₄	~ 1,8	4...9
Озон	O ₃	2...8	3...7

Из приведенных в таблице данных видно, что метан, так же, как и озон, в определенных условиях может выступать в качестве парникового газа при достижении сопоставимых концентраций. Однако любой их уровень содержания перекрывается количеством водяного пара.

Метан в атмосфере находится в достаточно низких концентрациях, на уровне 1,7 ppm, однако его содержание в атмосфере ежегодно возрастает в среднем на 1 % вследствие дисбаланса между добычей и естественным окислением [38, 39], т. е. антропогенная деятельность по газодобыче постепенно сказывается на увеличении концентрации метана в атмосфере.

Метан по теплотворной способности в 3...10 раз превосходит CO₂, что делает его более опасным газом, а поскольку в северных морях в придонных областях существует большое количество метана и родственных алканов в виде твердых ледяных образований, глобальное повышение температуры воздуха может дополнительно ухудшить ситуацию с избыточным поступлением парниковых газов в атмосферу.

Выводы

Краткое рассмотрение ситуации с проявлением парниковых газов показывает, что человечество, реализуя свои транспортно-промышленные потребности, фактически мало может влиять на последствия от этой деятельности. Единственно реальной возможностью, по-видимому, является быстрый переход на энергетически эффективные технологии с практически минимальным использованием ископаемого топлива, что представляется мало реализуемым в ближайшей перспективе. Запланированные в промышленно развитых странах мероприятия по достижению углеродной нейтральности к 2050–2060 гг., возможно, позволят впервые в истории человечества оказать положительное глобальное воздействие на природную среду.

Список литературы

- [1] Li Y.L., Sun W.D., Zhao Y.F. A supercritical carbon dioxide layer in the Hadean atmosphere for the origin of life? // *Science Bulletin*, 2021, v. 66, no. 12, pp. 1157–1159. <https://doi.org/10.1016/j.scib.2021.02.028>
- [2] Bornemann H.J., Seidel A. A get-away special experiment to measure the carbon dioxide content of the earth's atmosphere // *Acta Astronautica*, 1987, v. 15, no. 11, pp. 871–878. [https://doi.org/10.1016/0094-5765\(87\)90043-9](https://doi.org/10.1016/0094-5765(87)90043-9)
- [3] Singha D., Zhu Y., Liu S., Srivastava P.K., Dharpure J.K. Exploring the links between variations in snow cover area and climatic variables in a Himalayan catchment using earth observations and CMIP6 climate change scenarios // *J. of Hydrology*, 2022, v. 608, no. 5, p. 127648. <https://doi.org/10.1016/j.jhydrol.2022.127648>
- [4] Scotese C.R., Song H., Mills B.J.W., van der Meer D.G. Phanerozoic paleotemperatures: The earth's changing climate during the last 540 million years // *Earth-Science Reviews*, 2021, v. 215, no. 4, p. 103503. <https://doi.org/10.1016/j.earscirev.2021.103503>
- [5] Petty G.W. *A First Course in Atmospheric Radiation*. Columbia: Sundog Publishing, 2004, pp. 229–251.
- [6] Liu Z., Pagani M., Zinniker D., DeConto R., Huber M., Brinkhuis H., Shah S.R., Leckie R.M., Pearson A. Global cooling during the Eocene-Oligocene climate transition // *Science*, 2009, v. 323, pp. 1187–1190. DOI: 10.1126/science.1166368
- [7] Conte M., Sicre M.A., Ruhlemann C. Global temperature calibration of the alkenone unsaturation index (UK 37) in surface waters and comparison with surface sediments // *Geochemistry Geophysics Geosystems*, 2006, v. 7, Q02005. DOI: 10.1029/2005GC001054
- [8] Palike H., Norris R.D., Herrle J.O., Wilson P.A., Coxall H.K., Lear C.H., Shackleton N.J., Tripati A., Wade B.S. The heartbeat of the Oligocene climate system // *Science*, 2006, v. 314, pp. 1894–1898. DOI: 10.1126/science.1133822
- [9] Petit J.R., Jouzel J., Raynaud D., Barkov N.I. Climate and atmospheric history of the past 420,000 years from the Vostok ice core, Antarctica // *Nature*, 1999, v. 399, no. 6, pp. 429–436. DOI: 10.1038/20859
- [10] Luthi D., Le Floch M., Bereiter B., Blunier T., Siegenthaler U., Raynaud D., Jouzel J., Fischer H., Stocker T.F. High-resolution carbon dioxide concentration record 650,000–800,000 years before present // *Nature*, 2008, v. 453, pp. 379–382. DOI: 10.1038/nature06949
- [11] Siegenthaler U., Stocker T.F., Monnin E., Schwander J., Stauffer B., Raynaud D., Barnola J.M. Stable carbon cycle–climate relationship during the Late Pleistocene // *Science*, 2005, v. 310, pp. 1313–1317. DOI: 10.1126/science.1120130
- [12] van der Burgh J., Visscher H., Dilcher D.L., Kurschner W.M. Paleatmospheric signatures in Neogene fossil leaves // *Science*, 1993, v. 260, pp. 1788–1790. DOI: 10.1126/science.260.5115.1788
- [13] Kurschner W.M., Kvacek Z., Dilcher D.L. The impact of Miocene atmospheric carbon dioxide fluctuations on climate and evolution of terrestrial ecosystems // *Proceedings of the National Academy of Sciences USA*, 2008, v. 105, pp. 449–453. DOI: 10.1073/pnas.0708588105
- [14] Plancq J., Grossi V., Henderiks J., Simon L., Mattioli E. Alkenone producers during Late Oligocene–Early Miocene revisited // *Paleoceanography*, 2012, v. 27, PA1202. DOI: 10.1029/2011PA002164
- [15] Kim S., Choi K., Chung J. Reduction in carbon dioxide and production of methane by biological reaction in the electronics industry // *International J. of Hydrogen Energy*, 2013, v. 38, no. 8, pp. 3488–3496. <https://doi.org/10.1016/j.ijhydene.2012.12.007>
- [16] Adesina A. Recent advances in the concrete industry to reduce its carbon dioxide emissions // *Environmental Challenges*, 2020, v. 1, no. 12, 100004. <https://doi.org/10.1016/j.envc.2020.100004>

- [17] EDGAR — Emissions database for Global Atmospheric Research. Published in: Crippa, M., Oreggioni, G., Guizzardi, D., Muntean, M., Schaaf, E., Lo Vullo, E., Solazzo, E., Monforti-Ferrario, F., Olivier, J.G.J., Vignati, E., Fossil CO₂ and GHG emissions of all world countries, 2019 Report, EUR 29849 EN, Publications Office of the European Union, Luxembourg. DOI: 10.2760/687800, JRC117610
- [18] Bijl P.K., Houben A.J.P., Schouten S., Bohaty S., Sluijs A., Reichert G.J., Damste J.S.S., Brinkhuis H. Transient Middle Eocene atmospheric CO₂ and temperature variations // *Science*, 2010, v. 330, pp. 819–821. DOI: 10.1126/science.1193654
- [19] Pagani M., Huber M., Liu Z.H., Bohaty S., Henderiks J., Sijp W., Krishnan S., DeConto R. The role of carbon dioxide during the onset of Antarctic glaciation // *Science*, 2011, v. 334, pp. 1261–1264. DOI: 10.1126/science.1203909
- [20] Saroni A., Sciarra A., Grassa F., Eich A., Weberd M. Shallow submarine mud volcano in the northern Tyrrhenian sea, Italy // *Applied Geochemistry*, 2020, v. 122, no. 11. <https://doi.org/10.1016/j.apgeochem.2020.104722>
- [21] Wolf-Gladrow D., Riebesell U. Diffusion and reactions in the vicinity of plankton: a refined model for inorganic carbon transport // *Marine Chemistry*, 1997, v. 59, pp. 17–34. DOI: 10.1016/S0304-4203(97)00069-8
- [22] Lunt D.J., Foster G.L., Haywood A.M., Stone E.J. Late Pliocene Greenland glaciation controlled by a decline in atmospheric CO₂ levels // *Nature*, 2008, v. 454, pp. 1102–1105. DOI: 10.1038/nature07223
- [23] Ruddiman W.F. A paleoclimatic enigma? // *Science*, 2010, v. 328, pp. 838–839. DOI: 10.1126/science.1188292
- [24] Kaneko H., Blanc-Mathieu R., Endo H. Eukaryotic virus composition can predict the efficiency of carbon export in the global ocean // *Science*, 2021, v. 24, no. 1, p. 102002.
- [25] Burkhardt S., Riebesell U., Zondervan I. Effects of growth rate CO₂ concentration and cell size on the stable carbon isotope fractionation in marine phytoplankton // *Geochimica et Cosmochimica Acta*, 1999, v. 63, pp. 3729–3741. DOI: 10.1016/S0016-7037(99)00217-3
- [26] Raven J.A., Johnston A.M. Mechanisms of inorganic-carbon acquisition in marine phytoplankton and their implications for the use of other resources // *Limnology and Oceanography*, 1991, v. 36, pp. 1701–1714. DOI: 10.4319/lo.1991.36.8.1701
- [27] Raven J.A., Johnston A.M., Turpin D.H. Influence of changes in CO₂ concentration and temperature on marine phytoplankton 13C/12C ratios: an analysis of possible mechanisms // *Global Planet*, 1993, v. 8, no. 1–2, pp. 1–12. DOI: 10.1016/0921-8181(93)90058-v
- [28] Laws E.A., Popp B.N., Cassar N., Tanimoto J. 13C discrimination patterns in oceanic phytoplankton: likely influence of CO₂ concentrating mechanisms, and implications for palaeoreconstructions // *Functional Plant Biology*, 2002, v. 29, pp. 323–333. DOI: 10.1071/PP01183
- [29] Yusup Y., Alkarkhi A.F., Kayode J.S., Alqaraghuli W.A. Statistical modeling the effects of microclimate variables on carbon dioxide flux at the tropical coastal ocean in the southern South China Sea // *Dynamics of Atmospheres and Oceans*, 2018, v. 84, no. 12, pp. 10–21. <https://doi.org/10.1016/j.dynatmoce.2018.08.002>
- [30] Carvalho A.C.O., Kerr R., Mendes C.R.B., Azevedo J.L.L., Tavano V.M. Phytoplankton strengthen CO₂ uptake in the South Atlantic Ocean // *Progress in Oceanography*, 2021, v. 190, no. 1, p. 102476. <https://doi.org/10.1016/j.pocean.2020.102476>
- [31] Farquhar G.D., O'Leary M.H., Berry J.A. On the relationship between carbon isotope discrimination and the intercellular carbon dioxide concentration in leaves // *Australian J. of Plant Physiology*, 1982, v. 9, pp. 121–137. DOI: 10.1071/PP9820121
- [32] Espoir D.K., Mudiangombe B.M., Bannor F., Sunge R., Tshitaka J.L.M. CO₂ emissions and economic growth: Assessing the heterogeneous effects across climate regimes in Africa // *Science of the Total Environment*, 2022, v. 804, no. 1, p. 150089. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2021.150089>
- [33] Adedoyin F., Ozturk I., Abubakar I., Kumeka T., Bekun F.V. Structural breaks in CO₂ emissions: Are they caused by climate change protests or other factors? // *J. of Environmental Management*, 2020, v. 266, no. 7, p. 10628. <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2020.110628>
- [34] Li Y., Ding Y., Li D., Miao Z. Automatic carbon dioxide enrichment strategies in the greenhouse. A review // *Biosystems Engineering*, 2018, v. 171, no. 7, pp. 101–119. <https://doi.org/10.1016/j.biosystemseng.2018.04.018>
- [35] IPCC, 2001. Climate Change 2001. Working Group I. The Scientific Basis. UNEP, WMO. NY: University Press, 2001, 893 p.
- [36] Wang J., Hayes F., Chadwick D.R., Hill P.W., Mills G., Jones D.L. Short-term responses of greenhouse gas emissions and ecosystem carbon fluxes to elevated ozone and N fertilization in a temperate grassland // *Atmospheric Environment*, 2019, v. 211, no. 8, pp. 204–213. <https://doi.org/10.1016/j.atmosenv.2019.05.027>
- [37] Dyominov I.G., Alexander M. Zadorozhny A.M. Greenhouse gases and recovery of the Earth's ozone layer // *Advances in Space Research*, 2005, v. 35, no. 8, pp. 1369–1374. <https://doi.org/10.1016/j.asr.2005.04.090>
- [38] Badr O., Probert S.D., O'Callaghan P.W. Methane: A greenhouse gas in the Earth's atmosphere // *Applied Energy*, 1992, v. 41, no. 2, pp. 95–113. [https://doi.org/10.1016/0306-2619\(92\)90039-E](https://doi.org/10.1016/0306-2619(92)90039-E)
- [39] Laakso T.A., Schrag D.P. Methane in the Precambrian atmosphere // *Earth and Planetary Science Letters*, 2019, v. 522, no. 9, pp. 48–54. <https://doi.org/10.1016/j.epsl.2019.06.022>

Сведения об авторе

Иванкин Андрей Николаевич — д-р хим. наук, академик МАН ВШ, профессор кафедры химии и химических технологий лесного комплекса, МГТУ имени Н.Э. Баумана (Мытищинский филиал), aivankin@mgul.ac.ru

Поступила в редакцию 05.04.2022.

Одобрено после рецензирования 20.09.2022.

Принята к публикации 22.09.2022.

THE STATE OF GREENHOUSE GASES AND THEIR ASSIMILATION IN NATURE. A REVIEW

A.N. Ivankin

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

aivankin@mgul.ac.ru

A brief review of the state and influence of greenhouse gases, primarily carbon dioxide, on possible changes in climatic parameters is presented. It was noted that the main greenhouse gases are water vapor, the amount of which in the total mass can be from 36 to 72 %, as well as carbon dioxide (9...26 %), methane (4...9 %) and ozone (3...7 %). The main sources of formation of the concentration of carbon dioxide, which attracts the attention of researchers, as a result of anthropogenic impact as a result of industrial development, as well as significant natural factors, such as the consequences of volcanic activity, are described. Concentration changes in the content of greenhouse gases in the atmosphere in the historical period are discussed. A certain contribution of individual economies to the total volume of greenhouse gas emissions on the planet is shown and it is noted that in annual terms the amount of carbon dioxide formed as a result of human activity can reach 35–40 billion tons of CO₂. It is noted that in recent years the concentration of CO₂ has consistently exceeded 400 ppm and this level is, apparently, the highest in the history of observations. The most significant sources of greenhouse gases are described — industry, transport and volcanoes. An assessment was made of the contribution of volcanic activity to the increase in the amount of CO₂ in the atmosphere, which can be at the level of 60...250 million tons of CO₂ per year, and according to some estimates, reach 0,5 billion tons of CO₂. The potential influence of the most significant factors of absorption of excess CO₂ — the world's oceans and forests on the possibility of removing greenhouse gases from the atmosphere is shown. An assessment is given of the assumption that the world ocean absorbs up to 2,6 billion tons of CO₂ per year. It is believed that its absorption capacity is much higher. Consideration of the protective role of forests and vegetation cover in carbon dioxide sequestration shows that, under certain conditions, existing forest areas are likely to be able to absorb at least most of the anthropogenic emissions. The assessment made of the contribution of individual countries to the necessary negative carbon balance shows the groundlessness of claims against the Russian Federation on this issue. A certain forecast of the prospects for climate change is presented in relation to geographical and economic factors.

Keywords: greenhouse gases, carbon dioxide, methane, ozone, volcanoes, emissions, industry, protective function of the ocean and forests

Suggested citation: Ivankin A.N. *Sostoyanie parnikovyykh gazov i ikh assilyatsiya v prirode. Obzor* [The state of greenhouse gases and their assimilation in nature. A review] // *Lesnoy vestnik / Forestry Bulletin*, 2022, vol. 26, no. 6, pp. 132–140. DOI: 10.18698/2542-1468-2022-6-132-140

References

- [1] Li Y.L., Sun W.D., Zhao Y.F. A supercritical carbon dioxide layer in the Hadean atmosphere for the origin of life? *Science Bulletin*, 2021, v. 66, no. 12, pp. 1157–1159. <https://doi.org/10.1016/j.scib.2021.02.028>
- [2] Bornemann H.J., Seidel A. A get-away special experiment to measure the carbon dioxide content of the earth's atmosphere. *Acta Astronautica*, 1987, v. 15, no. 11, pp. 871–878. [https://doi.org/10.1016/0094-5765\(87\)90043-9](https://doi.org/10.1016/0094-5765(87)90043-9)
- [3] Singha D., Zhu Y., Liu S., Srivastava P.K., Dharpure J.K. Exploring the links between variations in snow cover area and climatic variables in a Himalayan catchment using earth observations and CMIP6 climate change scenarios. *J. of Hydrology*, 2022, v. 608, no. 5, p. 127648. <https://doi.org/10.1016/j.jhydrol.2022.127648>
- [4] Scotese C.R., Song H., Mills B.J.W., van der Meer D.G. Phanerozoic paleotemperatures: The earth's changing climate during the last 540 million years. *Earth-Science Reviews*, 2021, v. 215, no. 4, p. 103503. <https://doi.org/10.1016/j.earscirev.2021.103503>
- [5] Petty G.W. *A First Course in Atmospheric Radiation*. Columbia: Sundog Publishing, 2004, pp. 229–251.
- [6] Liu Z., Pagani M., Zinniker D., DeConto R., Huber M., Brinkhuis H., Shah S.R., Leckie R.M., Pearson A. Global cooling during the Eocene-Oligocene climate transition. *Science*, 2009, v. 323, pp. 1187–1190. DOI: 10.1126/science.1166368
- [7] Conte M., Sicre M.A., Ruhlmann C. Global temperature calibration of the alkenone unsaturation index (UK 37) in surface waters and comparison with surface sediments. *Geochemistry Geophysics Geosystems*, 2006, v. 7, Q02005. DOI: 10.1029/2005GC001054
- [8] Palike H., Norris R.D., Herrle J.O., Wilson P.A., Coxall H.K., Lear C.H., Shackleton N.J., Tripati A., Wade B.S. The heartbeat of the Oligocene climate system. *Science*, 2006, v. 314, pp. 1894–1898. DOI: 10.1126/science.1133822
- [9] Petit J.R., Jouzel J., Raynaud D., Barkov N.I. Climate and atmospheric history of the past 420,000 years from the Vostok ice core, Antarctica. *Nature*, 1999, v. 399, no. 6, pp. 429–436. DOI: 10.1038/20859
- [10] Luthi D., Le Floch M., Bereiter B., Blunier T., Siegenthaler U., Raynaud D., Jouzel J., Fischer H., Stocker T.F. High-resolution carbon dioxide concentration record 650,000–800,000 years before present. *Nature*, 2008, v. 453, pp. 379–382. DOI: 10.1038/nature06949
- [11] Siegenthaler U., Stocker T.F., Monnin E., Schwander J., Stauffer B., Raynaud D., Barnola J.M. Stable carbon cycle–climate relationship during the Late Pleistocene. *Science*, 2005, v. 310, pp. 1313–1317. DOI: 10.1126/science.1120130
- [12] van der Burgh J., Visscher H., Dilcher D.L., Kurschner W.M. Paleoatmospheric signatures in Neogene fossil leaves. *Science*, 1993, v. 260, pp. 1788–1790. DOI: 10.1126/science.260.5115.1788
- [13] Kurschner W.M., Kvacek Z., Dilcher D.L. The impact of Miocene atmospheric carbon dioxide fluctuations on climate and evolution of terrestrial ecosystems. *Proceedings of the National Academy of Sciences USA*, 2008, v. 105, pp. 449–453. DOI: 10.1073/pnas.0708588105

- [14] Plancq J., Grossi V., Henderiks J., Simon L., Mattioli E. Alkenone producers during Late Oligocene–Early Miocene revisited. *Paleoceanography*, 2012, v. 27, PA1202. DOI: 10.1029/2011PA002164
- [15] Kim S., Choi K., Chung J. Reduction in carbon dioxide and production of methane by biological reaction in the electronics industry. *International J. of Hydrogen Energy*, 2013, v. 38, no. 8, pp. 3488–3496. <https://doi.org/10.1016/j.ijhydene.2012.12.007>
- [16] Adesina A. Recent advances in the concrete industry to reduce its carbon dioxide emissions. *Environmental Challenges*, 2020, v. 1, no. 12, 100004. <https://doi.org/10.1016/j.envc.2020.100004>
- [17] EDGAR — Emissions database for Global Atmospheric Research. Published in: Crippa, M., Oreggioni, G., Guizzardi, D., Muntean, M., Schaaf, E., Lo Vullo, E., Solazzo, E., Monforti-Ferrario, F., Olivier, J.G.J., Vignati, E., Fossil CO₂ and GHG emissions of all world countries, 2019 Report, EUR 29849 EN, Publications Office of the European Union, Luxembourg. DOI: 10.2760/687800, JRC117610
- [18] Bijl P.K., Houben A.J.P., Schouten S., Bohaty S., Sluijs A., Reichert G.J., Damste J.S.S., Brinkhuis H. Transient Middle Eocene atmospheric CO₂ and temperature variations. *Science*, 2010, v. 330, pp. 819–821. DOI: 10.1126/science.1193654
- [19] Pagani M., Huber M., Liu Z.H., Bohaty S., Henderiks J., Sijp W., Krishnan S., DeConto R. The role of carbon dioxide during the onset of Antarctic glaciation. *Science*, 2011, v. 334, pp. 1261–1264. DOI: 10.1126/science.1203909
- [20] Saroni A., Sciarra A., Grassa F., Eich A., Weber M. Shallow submarine mud volcano in the northern Tyrrhenian sea, Italy. *Applied Geochemistry*, 2020, v. 122, no. 11. <https://doi.org/10.1016/j.apgeochem.2020.104722>
- [21] Wolf-Gladrow D., Riebesell U. Diffusion and reactions in the vicinity of plankton: a refined model for inorganic carbon transport. *Marine Chemistry*, 1997, v. 59, pp. 17–34. DOI: 10.1016/S0304-4203(97)00069-8
- [22] Lunt D.J., Foster G.L., Haywood A.M., Stone E.J. Late Pliocene Greenland glaciation controlled by a decline in atmospheric CO₂ levels. *Nature*, 2008, v. 454, pp. 1102–1105. DOI: 10.1038/nature07223
- [23] Ruddiman W.F. A paleoclimatic enigma? *Science*, 2010, v. 328, pp. 838–839. DOI: 10.1126/science.1188292
- [24] Kaneko H., Blanc-Mathieu R., Endo H. Eukaryotic virus composition can predict the efficiency of carbon export in the global ocean. *Science*, 2021, v. 24, no. 1, p. 102002.
- [25] Burkhardt S., Riebesell U., Zondervan I. Effects of growth rate CO₂ concentration and cell size on the stable carbon isotope fractionation in marine phytoplankton. *Geochimica et Cosmochimica Acta*, 1999, v. 63, pp. 3729–3741. DOI: 10.1016/S0016-7037(99)00217-3
- [26] Raven J.A., Johnston A.M. Mechanisms of inorganic-carbon acquisition in marine phytoplankton and their implications for the use of other resources. *Limnology and Oceanography*, 1991, v. 36, pp. 1701–1714. DOI: 10.4319/lo.1991.36.8.1701
- [27] Raven J.A., Johnston A.M., Turpin D.H. Influence of changes in CO₂ concentration and temperature on marine phytoplankton 13C/12C ratios: an analysis of possible mechanisms. *Global Planet*, 1993, v. 8, no. 1–2, pp. 1–12. DOI: 10.1016/0921-8181(93)90058-v
- [28] Laws E.A., Popp B.N., Cassar N., Tanimoto J. 13C discrimination patterns in oceanic phytoplankton: likely influence of CO₂ concentrating mechanisms, and implications for palaeoreconstructions. *Functional Plant Biology*, 2002, v. 29, pp. 323–333. DOI: 10.1071/PP01183
- [29] Yusup Y., Alkarkhi A.F., Kayode J.S., Alqaraghuli W.A. Statistical modeling the effects of microclimate variables on carbon dioxide flux at the tropical coastal ocean in the southern South China Sea. *Dynamics of Atmospheres and Oceans*, 2018, v. 84, no. 12, pp. 10–21. <https://doi.org/10.1016/j.dynatmoce.2018.08.002>
- [30] Carvalho A.C.O., Kerr R., Mendes C.R.B., Azevedo J.L.L., Tavano V.M. Phytoplankton strengthen CO₂ uptake in the South Atlantic Ocean. *Progress in Oceanography*, 2021, v. 190, no. 1, p. 102476. <https://doi.org/10.1016/j.poccean.2020.102476>
- [31] Farquhar G.D., O’Leary M.H., Berry J.A. On the relationship between carbon isotope discrimination and the intercellular carbon dioxide concentration in leaves. *Australian J. of Plant Physiology*, 1982, v. 9, pp. 121–137. DOI: 10.1071/PP9820121
- [32] Espoir D.K., Mudiangombe B.M., Bannor F., Sunge R., Tshitaka J.L.M. CO₂ emissions and economic growth: Assessing the heterogeneous effects across climate regimes in Africa. *Science of the Total Environment*, 2022, v. 804, no. 1, p. 150089. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2021.150089>
- [33] Adedoyin F., Ozturk I., Abubakar I., Kumeka T., Bekun F.V. Structural breaks in CO₂ emissions: Are they caused by climate change protests or other factors? *J. of Environmental Management*, 2020, v. 266, no. 7, p. 10628. <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2020.110628>
- [34] Li Y., Ding Y., Li D., Miao Z. Automatic carbon dioxide enrichment strategies in the greenhouse. *A review. Biosystems Engineering*, 2018, v. 171, no. 7, pp. 101–119. <https://doi.org/10.1016/j.biosystemseng.2018.04.018>
- [35] IPCC, 2001. Climate Change 2001. Working Group I. The Scientific Basis. UNEP, WMO. NY: University Press, 2001, 893 p.
- [36] Wang J., Hayes F., Chadwick D.R., Hill P.W., Mills G., Jones D.L. Short-term responses of greenhouse gas emissions and ecosystem carbon fluxes to elevated ozone and N fertilization in a temperate grassland. *Atmospheric Environment*, 2019, v. 211, no. 8, pp. 204–213. <https://doi.org/10.1016/j.atmosenv.2019.05.027>
- [37] Dyominov I.G., Alexander M., Zadorozhny A.M. Greenhouse gases and recovery of the Earth’s ozone layer. *Advances in Space Research*, 2005, v. 35, no. 8, pp. 1369–1374. <https://doi.org/10.1016/j.asr.2005.04.090>
- [38] Badr O., Robert S.D., O’Callaghan P.W. Methane: A greenhouse gas in the Earth’s atmosphere. *Applied Energy*, 1992, v. 41, no. 2, pp. 95–113. [https://doi.org/10.1016/0306-2619\(92\)90039-E](https://doi.org/10.1016/0306-2619(92)90039-E)
- [39] Laakso T.A., Schrag D.P. Methane in the Precambrian atmosphere. *Earth and Planetary Science Letters*, 2019, v. 522, no. 9, pp. 48–54. <https://doi.org/10.1016/j.epsl.2019.06.022>

Author’s information

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

Received 05.04.2022.

Approved after review 20.09.2022.

Accepted for publication 22.09.2022.

ОСОБЕННОСТИ ДЕЛИГНИФИКАЦИИ ДРЕВЕСИНЫ БЕРЕЗЫ ПОВИСЛОЙ (*BETULA PENDULA* L.) МЕТОДАМИ МИКОДЕСТРУКЦИИ И СУЛЬФИТНОЙ ЩЕЛОЧНОЙ ВАРКИ

Е.А. Загребин✉, К.Е. Ведерников

ФГБОУ ВО «Удмуртский государственный университет», Россия, 426034, Удмуртская Республика, г. Ижевск, ул. Университетская, д. 1

i.am.yeti@yandex.ru

Представлены результаты исследования делигнификации древесины березы повислой (*Betula pendula* L.) методом культивирования в лабораторных условиях грибов из рода Вешенки (*Pleurotus*) в течение трех временных интервалов. Приведены результаты извлечения лигнина из древесины методом химической обработки гидроксидом натрия и сульфитом натрия в различных концентрациях и при разной длительности обработки. Выявлены затруднения в промывке сырья при использовании высококонцентрированных растворов. Получены данные по изменению содержания основных структурных и неструктурных компонентов древесины и ее плотности в процессе делигнификации.

Ключевые слова: химия древесины, полисахариды, лигнин, дереворазрушающие грибы, делигнификация

Ссылка для цитирования: Загребин Е.А., Ведерников К.Е. Особенности делигнификации древесины березы повислой (*Betula pendula* L.) методами микодеструкции и сульфитной щелочной варки // Лесной вестник / Forestry Bulletin, 2022. Т. 26. № 6. С. 141–147. DOI: 10.18698/2542-1468-2022-6-141-147

Как известно, методы изменения механических свойств древесины (гидротермическая и тепловая обработка, холодная прокатка и т. д.) снижают прочность и повышают уязвимость древесного материала к воздействию окружающей среды. Это обусловлено деструкцией основных структурных компонентов древесины, придающих ей прочность (лигнина и полисахаридов) [1–4]. Древесный материал как во влажной среде, так и при последующей сушке деформируется, изменяет цвет и теряет прочность.

Согласно исследованиям, при частичном извлечении из древесины лигнина с последующим горячим прессованием сырья можно повысить прочность материала в несколько раз [5]. Это обуславливает полное разрушение клеточных стенок древесины и связывание целлюлозных волокон на надмолекулярном уровне. Получаемый конструкционный материал существенно отличается от натуральной древесины высокой прочностью, ударной вязкостью, физической и механической стабильностью независимо от условий среды. Делигнификация древесины осуществляется при обработке высококонцентрированными растворами гидроксида натрия NaOH и сульфита натрия Na₂SO₃. В связи со стремлением к снижению воздействия производственных процессов на окружающую среду, подобная сульфитная щелочная варка древесины приобрела актуальность и представляет большой научный и практический интерес [6, 7]. Кроме того, применение таких

биологических деструкторов лигноцеллюлозного комплекса древесины, как мицелиальные грибы и возбудители белой гнили, также признано актуальным. Биотехнологии снижают концентрацию лигнина, что вызывает снижение концентрации применяемых химических реагентов или упрощение технологических циклов обработки древесного сырья [8–11]. Некоторые грибы-деструкторы разрушают лигнин, однако практически не повреждают полисахариды, образуя из них легкометаболизируемую массу, которую в дальнейшем можно использовать для производства высокопрочных материалов [12, 13].

Цель работы

Цель работы — исследование воздействия на древесное сырье дереворазрушающих грибов и водных растворов гидроксида натрия NaOH и сульфита натрия Na₂SO₃ в различных условиях обработки.

Материалы и методы исследования

В таежных лесах широко распространены заболевания растений, вызываемые различными видами грибов. Отчасти это типичные сапрофиты, которые участвуют в переработке отмершей древесины и ее минерализации. К возбудителям заболеваний относятся также активные паразиты, например, *Fomitopsis annosa*, *Phellinus pini* var *abietis*, поселяющиеся на живых деревьях и вызывающие их гибель. Исследователи отмечают, что наиболее высокая пораженность заболеваниями, вызванными грибами, зафиксирована

в высокопроизводительных типах леса [14, 15]. Между тем древесина хвойных пород деревьев (в том числе еловая) содержит большое количество экстрактивных веществ — смол, воскоподобных и других соединений, которые обладают высокой биологической активностью и производятся деревом в качестве защитных соединений для подавления патогенных организмов, в первую очередь бактерий и грибов [16–18]. В связи с этим в качестве объекта исследования была выбрана древесина березы повислой (*Betula pendula* L.) как распространенного в таежных лесах Удмуртии вида лиственных деревьев, формирующего высокопроизводительные леса. В качестве микодеструкторов были выбраны мицелиальные белогнилотные грибы из рода Вешенки (*Pleurotus*). Ферментативный комплекс (лактаза, фенолоксидаза, пероксидаза и др.) этих грибов позволяет им быть активными деструкторами лигнина и целлюлозы [19]. Высокая плотность ферментов, в т. ч. цитохрома P450, помогает этим грибам полностью разлагать наиболее стойкий ароматический полимерный лигнин или его низкомолекулярные продукты разложения [9] и выживать растению в стрессовых условиях вследствие детоксикации широкого спектра ксенобиотиков на растительной основе [20]. Простота выращивания вешенок практически на любом обессмоленном субстрате позволяет признать их идеальными кандидатами для разрабатываемой технологии.

Изучение процессов разложения лигнина грибами рода *Pleurotus* проводили по трем видам грибов: вешенке обыкновенной (*Pleurotus ostreatus*), вешенке королевской (*Pleurotus eryngii*) и вешенке индийской (*Pleurotus pulmonarius*).

В ходе эксперимента древесина березы измельчалась механическим способом до фракции 5...10 мм, стерилизовалась автоклавированием в течение 15 мин при температуре 121 °С в целях препятствия развитию плесневых грибов. Стерильную древесину пропитывали дистиллированной водой в течение 2 сут при температуре 25 ± 1 °С без воздействия давлением. Затем избыток влаги удаляли с помощью сита. Влажность полученного субстрата определяли расчетно-весовым методом, высушивая образец древесины до постоянной массы (температура сушки 105 °С) и используя анализатор влажности ОНАУС МВ27 с дискретностью 0,001 г. На протяжении всего эксперимента фиксировали показатели влажности, которая поддерживалась на уровне 60...70 %. Увлажненный субстрат помещали в стерилизованные ультрафиолетовым излучением непрозрачные пластиковые контейнеры с отверстиями для вентиляции (по 200 г каждый). Затем в подготовленный древесный субстрат вносили грибной

мицелий, а контейнеры помещали в оборудованные прозрачные инкубационные блоки для контроля хода эксперимента и поддержания постоянных температуры и влажности воздуха (25 ± 1 °С и 80 ± 5 % соответственно) на 21 сут. Развитие грибного мицелия наблюдали визуально: первоначально посредством микроскопа Levenhuk D870T при 200-кратном увеличении, затем невооруженным глазом. Учет содержания лигнина и полисахаридов проводили каждые 7 сут методом сернокислого гидролиза [21].

В отличие от биологической деструкции лигнина химическая обработка древесины приводит к более существенному и, что самое важное, контролируемому снижению содержания лигнина и гемицеллюлозы в древесине при незначительном снижении содержания целлюлозы, в основном вследствие различной устойчивости этих трех компонентов к воздействию температуры и щелочей [6, 22]. При частичном удалении лигнина и гемицеллюлозы из клеточной стенки химическим методом древесина становится более пористой и менее жесткой.

Для исследования воздействия на древесное сырье растворов гидроксида NaOH и сульфита натрия Na₂SO₃ применялась методика, описанная в работе [5].

Древесину измельчили механическим способом до фракции 1...2 мм, затем определили ее влажность для пересчета получаемых показателей на абсолютно сухую древесину, а также исходное содержание полисахаридов и лигнина. В целях повышения точности получаемых показателей предварительно вычислили количество неструктурных компонентов древесины, экстрагируемых водой при температуре кипения. К таким веществам относят преимущественно олиго- и моносахариды, пектиновые вещества, камеди, белки, красители, циклические спирты и танины. Их общая доля для лиственных деревьев обычно не превышает 8...10 % массы абсолютно сухой древесины.

Растворы для обработки древесины были изготовлены с использованием гидроксида натрия NaOH (химически чистый, > 97 %) и сульфита натрия Na₂SO₃ (химически чистый, > 98 %). Растворы имели следующие концентрации веществ:

- 1) 1 М NaOH; 0,1 М Na₂SO₃ (опыт 1);
- 2) 1,75 М NaOH; 0,2 М Na₂SO₃ (опыт 2);
- 3) 2,5 М NaOH; 0,4 М Na₂SO₃ (опыт 3).

Для обработки каждым вариантом раствора брали навески древесины массой около 1,0 г. Всего было исследовано 27 образцов древесины. Обработку производили при температуре кипения растворителя (около 100 °С) в течение различного времени (1, 2 и 3 ч) без воздействия повышенным давлением, гидромодуль 1:50.

Т а б л и ц а 1

Содержание основных структурных компонентов древесины березы повислой при разложении грибами рода *Pleurotus* (относительно массы в абсолютно сухом состоянии)

The content of the European birch main wood structural components when decomposed by fungi the genus *Pleurotus* (relative to the weight in an absolutely dry state)

Срок развития мицелия, дней	Вешенка обыкновенная		Вешенка королевская		Вешенка индийская	
	Полисахариды, %	Лигнин, %	Полисахариды, %	Лигнин, %	Полисахариды, %	Лигнин, %
Контроль	47,90 ± 2,40 45,19...50,61	33,10 ± 1,66 31,23...34,97	47,90 ± 2,40 45,19...50,61	33,10 ± 1,66 31,23...34,97	47,90 ± 2,40 45,19...50,61	33,10 ± 1,66 31,23...34,97
7	46,40 ± 2,32 43,77...49,03	32,72 ± 1,63 30,85...34,55	47,81 ± 5,44 41,65...53,97	33,10 ± 2,14 30,69...35,52	46,50 ± 2,32 43,87...49,13	32,89 ± 1,64 31,03...34,75
14	38,21 ± 1,91 36,04...40,36	27,59 ± 1,38 26,04...29,16	40,32 ± 2,02 38,04...42,60	27,94 ± 1,40 26,36...29,52	37,75 ± 1,89 35,61...39,89	28,02 ± 1,40 26,43...29,61
21	32,13 ± 1,60 30,28...33,92	20,20 ± 1,01 19,06...21,34	31,87 ± 1,59 30,07...33,67	21,78 ± 1,09 20,55...23,01	30,31 ± 1,52 28,60...32,02	21,54 ± 1,08 20,32...22,76

Примечание. Указаны среднее значение показателя ± стандартное отклонение, доверительный интервал для среднего значения (при $p < 0,05$).

Обработанную древесину отфильтровали через бумажный фильтр, промывали горячей дистиллированной водой (100 мл) и высушивали до постоянной массы. Массу извлеченных веществ определяли расчетно-весовым методом по разности масс до и после обработки.

Результаты и обсуждение

Изучение биохимического состава древесины березы повислой (*Betula pendula* L.) при культивировании грибов-деструкторов сводилось к определению содержания основных структурных компонентов. Первичное содержание полисахаридов составило $47,90 \pm 2,40$ %, содержание лигнина — $33,10 \pm 1,66$ % относительно массы древесины в абсолютно сухом состоянии.

По результатам исследования выявлено, что степень деструкции лигнина и целлюлозы напрямую зависит от длительности культивации дереворазрушающих грибов. На первоначальных этапах развития грибов разложение древесины идет достаточно медленно, что обусловлено особенностями роста и распространения мицелия по субстрату. На седьмые сутки начинается активная деструкция как лигнина, так и полисахаридов, причем разложение первого идет интенсивнее. Соотношение содержания полисахаридов и лигнина в субстрате с начала культивации приблизительно сохраняются, однако их абсолютное содержание снижается более чем на 30 % (табл. 1).

Для микодеструкции лигнина выявлен наиболее оптимальный вид — вешенка обыкновенная (*Pleurotus ostreatus*) вследствие относительно высокой динамики развития мицелия, наибольшего показателя разложения лигнина (разложено около 39 % изначального лигнина) с минимальным воздействием на целлюлозу.

Т а б л и ц а 2

Биохимические показатели древесины березы повислой (*Betula pendula* L.) до химической обработки (относительно массы древесины в абсолютно сухом состоянии)

Biochemical parameters of European birch wood (*Betula pendula* L.) before chemical treatment (relative to the weight of wood in an absolutely dry state)

Влажность древесины, %	Содержание водорастворимых веществ, %	Содержание полисахаридов, %	Содержание лигнина, %
7,97 ± 0,40 7,52...8,42	6,20 ± 1,31 4,73...7,68	36,12 ± 2,16 33,67...38,57	49,71 ± 1,93 47,52...51,90

Примечание. Указаны среднее значение показателя ± стандартное отклонение, доверительный интервал для среднего значения (при $p < 0,05$).

Изучение биохимического состава древесины при химической обработке растворами гидроксида и сульфита натрия сводилось к определению содержания основных структурных компонентов, а также водорастворимых экстрактивных веществ (табл. 2).

По результатам химической обработки можно сделать вывод о том, что с повышением концентрации гидроксида натрия и сульфита натрия в растворе, а также времени обработки достоверно увеличивается процент извлеченного из древесины лигнина. Однако некоторыми исследователями установлено, что при повышении концентрации щелочей структура древесины становится более пористой, а остающийся в порах растворитель при высыхании затрудняет промывание древесины [5]. Это подтверждают и наши исследования — при обработке высококонцентрированным раствором гидроксида и сульфита натрия

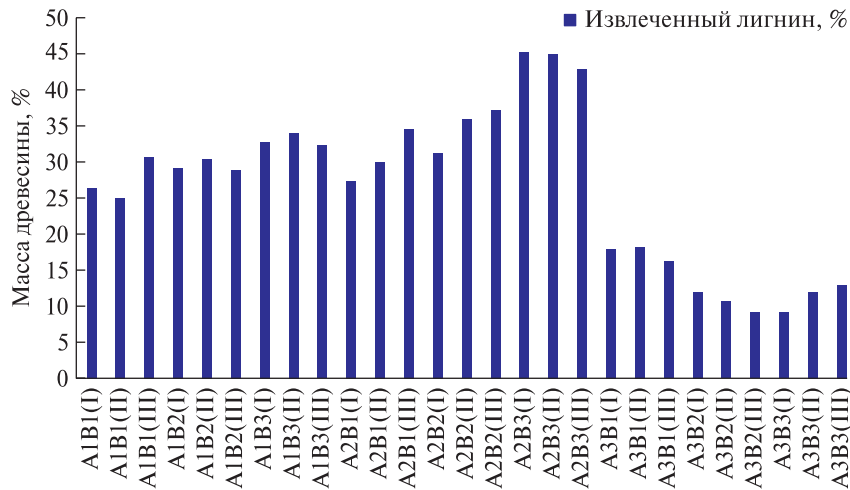


Рис. 1. Лигнин, извлеченный водным раствором гидроксида натрия NaOH и сульфита натрия Na₂SO₃; критерий А — концентрация NaOH и Na₂SO₃ в растворе (1 — 1М, 0,1М; 2 — 1,75М, 0,2М; 3 — 2,5М, 0,4М), критерий В — длительность обработки (1 — 1 ч, 2 — 2 ч, 3 — 3 ч)

Fig. 1. Lignin extracted with an aqueous solution of sodium hydroxide NaOH and sodium sulfite Na₂SO₃; criterion A — the concentration of NaOH and Na₂SO₃ in solution (1 — 1M, 0.1M; 2 — 1.75M, 0.2M; 3 — 2.5M, 0.4M), criterion B — duration of treatment (1 — 1 h, 2 — 2 h, 3 — 3 h)

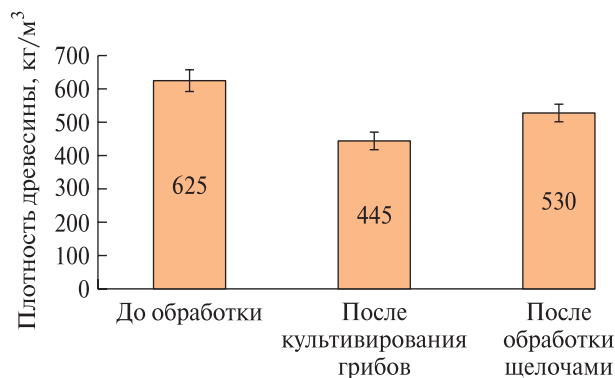


Рис. 2. Плотность древесины березы повислой (*Betula pendula* L.) при различных методах делигнификации, кг/м³

Fig. 2. Density of European birch wood (*Betula pendula* L.) with different methods of delignification, kg/m³

(2,5 М и 0,4 М соответственно) снижается потеря массы древесины, определить точное количество извлеченного лигнина расчетно-весовым методом не представляется возможным (рис. 1).

Усредненные показатели представлены в табл. 3.

Оптимальные условия химического извлечения лигнина из древесины выявлены при проведении опыта 2: варка древесного сырья в растворе 1,75 М NaOH и 0,2 М Na₂SO₃ при температуре кипения в течение 3 ч. Усредненный процент извлеченного в таких условиях лигнина для древесины березы повислой составил 44,20 %, т. е. 88,9 % общего исходного содержания лигнина в данных образцах.

Т а б л и ц а 3

Лигнин, извлеченный в процессе обработки растворами гидроксида натрия NaOH и сульфита натрия Na₂SO₃ (относительно массы древесины в абсолютно сухом состоянии)

Lignin extracted during treatment with solutions of sodium hydroxide NaOH and sodium sulfite Na₂SO₃ (relative to the weight of wood in an absolutely dry state)

Время обработки, ч	1 М NaOH; 0,1 М Na ₂ SO ₃ , %	1,75 М NaOH; 0,2 М Na ₂ SO ₃ , %	2,5 М NaOH; 0,4 М Na ₂ SO ₃ , %
1	28,19 ± 2,69 25,15...31,24	29,29 ± 1,75 27,31...31,28	17,52 ± 1,10 16,28...18,76
2	29,13 ± 0,27 28,83...29,43	32,99 ± 2,42 30,24...35,73	20,77 ± 1,50 19,07...22,47
3	33,22 ± 3,05 29,78...36,67	44,20 ± 1,17 42,88...45,53	21,49 ± 2,05 19,17...23,81

Примечание. Указаны среднее значение показателя ± стандартное отклонение, доверительный интервал для среднего значения (при p < 0,05)

Плотность древесины измерялась в соответствии с ГОСТ 16483.1–84 [23] в воздушно-сухом состоянии (при влажности в момент испытания) на трех этапах исследования: до делигнификации, после культивирования грибов-деструкторов и после химической обработки. Для определения плотности подготавливались образцы древесины прямоугольной формы (длинной стороной вдоль волокон) размером 20×20×30 мм. Размеры образца древесины определяли с помощью штангенциркуля. Влажность древесины измеряли

анализатором влажности ОНАУС МВ27 с точностью до 0,001 г. Полученные показатели в соответствии с ГОСТ 16483.1–84 округляли до 5 кг/м³.

Средняя влажность образцов древесины в воздушно-сухом состоянии в момент определения плотности составила 7,97 % (рис. 2).

Плотность древесины при обработке щелочами снизилась на 15,2 %, при микодеструкции — на 28,8 %. Полученные данные свидетельствуют о более значительном изменении плотности древесины при обработке дереворазрушающими грибами, с учетом сохранения исходного объема образца, что соответствует коррозионному разрушению с образованием белой гнили [24, 25].

Выводы

В результате проведенных исследований было изучено воздействие на древесное сырье дереворазрушающих грибов и раствора гидроксида натрия NaOH и сульфита натрия Na₂SO₃ в различных условиях обработки.

Наилучшие показатели удаления лигнина с сохранением целлюлозы наблюдались при культивировании вешенки обыкновенной (*Pleurotus ostreatus*) — до 39 % массы древесины в абсолютно сухом состоянии.


Варка древесины в течение 3 ч при температуре около 100 °С показала наилучшие результаты по удалению лигнина — потеря лигнина при такой обработке составила 21,49...44,20 % массы древесины в абсолютно сухом состоянии. Оптимальная концентрация химических веществ составила 1,75 М NaOH и 0,2 М Na₂SO₃ (деструкция лигнина — 29,29...44,20 % массы древесины в абсолютно сухом состоянии). При увеличении концентрации веществ наблюдаются значительные затруднения в промывании древесного сырья. Средняя плотность древесины при обработке щелочами снизилась на 15,2 %, при микодеструкции — на 28,8 %.

Список литературы

- [1] Дьяконов К.Ф. Влияние гидротермической обработки на прочность древесины березы и лиственницы // *Деревообрабатывающая промышленность*, 1967. № 4. С. 9–12.
- [2] Зархина Е.М., Кротов Л.Н., Ослонович В.Н. Влияние высоких температур на механические свойства и химический состав древесины лиственницы // *Лиственница*. Красноярск, 1968. С. 462–469.
- [3] Орлов А.А., Соколов В.Л. Изменение физико-механических свойств древесины лиственницы при гидротермической обработке. Обзор // *Хвойные бореальной зоны*, 2006. Т. 23. № 3. С. 147–158.
- [4] Орлов А.А., Греб Н.А. Исследование послойной прочности пиломатериалов // *Химико-лесной комплекс — проблемы и решения*. Красноярск: Изд-во СибГТУ, 2001. С. 380–382.
- [5] Song J., Chen C., Zhu S. Processing bulk natural wood into a high-performance structural material // *Nature*, 2018, v. 554, pp. 224–228. DOI:10.1038/nature25476
- [6] Майорова Л.П. О некоторых особенностях химизма сульфитной щелочной варки березовой древесины // *ИВУЗ Лесной журнал*, 2007. № 5. С. 94–101.
- [7] Ingruber O.V. Pulping with SO₃OH at hot pH 8...11 // *Pulp and Paper Magazine of Canada*, 1970, v. 71, no. 22, p. 23.
- [8] Rodrigues P.O., Gurgel L.V.A., Pasquini D., Badottiet F. Lignocellulose-degrading enzymes production by solid-state fermentation through fungal consortium among Ascomycetes and Basidiomycetes // *Renewable Energy*, 2020, v. 145, pp. 2683–2693.
- [9] Peralta R.M., Côrrea R.C.G., Kato C.G., da Silva B.P. Enzymes from Basidiomycetes — Peculiar and Efficient Tools for Biotechnology // *Biotechnology of Microbial Enzymes*, 2017, pp. 119–149. DOI:10.1016/B978-0-12-803725-6.00005-4
- [10] Jacobs-Young C., Venditti R., Joyce T. Effect of enzymatic pretreatment on the diffusion of sodium hydroxide in wood // *Tappi J.*, 1998, v. 81, no. 1, pp. 260–266.
- [11] Клягина Ю.П., Смирнов В.Ф., Стручкова И.В., Трофимов А.Н., Кислицын А.Н. Биодеструкция лигнина из древесно-стружечных плит микроскопическими грибами // *Химия растительного сырья*, 2005. № 4. С. 41–44.
- [12] Новожилов Е.В., Пошина Д.Н. Биотехнологии в производстве целлюлозы для химической переработки (обзор) // *Химия растительного сырья*, 2011. № 3. С. 15–32.
- [13] Озолиня Н.Р., Сергеева В.Н., Абрамович Ц.Л. Анатомические и химические изменения древесины березы пораженной грибами белой гнили // *Изв. АН Латвийской ССР*, 1987. № 12. С. 45–52.
- [14] Соколов Д.В. Корневая гниль от опенка (*Ag. mellea* (vahl.ex Fr) Karst.) в лесах таежной зоны и возможные мероприятия по борьбе с нею // *Сб. статей по обмену производственно-техническим опытом по лесному хозяйству и лесоустройству*. Л.: Лесная пром-сть, 1963. С. 228–233.
- [15] Усков С.П. Фауна спелых и перестойных ельников Кадниковского лесничества // *Тр. Института леса и древесины*, 1963. Т. 53. С. 212–237.
- [16] Kirker G.T., Blodgett A.B., Arango R.A., Lebow P.K., Clausen C.A. The role of extractives in naturally durable wood species // *International Biodeterioration & Biodegradation*, 2013, v. 82, pp. 53–58.
- [17] Singh T., Singh A.P. A review of natural products as wood protectant // *Wood Science Technology*, 2012, v. 46, pp. 851–870.
- [18] Yang D.Q. Potential utilization of plant and fungal extracts for wood protection // *Forest Product J.*, 2009, v. 54, pp. 37–39.
- [19] Zamora-Zamora H.D., Silva T.A.L., Varão L.H.R., Baffi M.A., Pasquini D. Simultaneous production of cellulases, hemicellulases, and reducing sugars by *Pleurotus ostreatus* growth in one-pot solid state fermentation using *Alstroemeria* sp. Waste // *Biomass Conversion and Biorefinery*, 2021, v. 12, no. 1. DOI:10.1007/s13399-021-01723-3
- [20] Badalyan S.M., Kues U. Morphological characteristics of vegetative mycelia and anamorphs in different collections of xylotrophic basidiomycetous mushrooms // *Биоразнообразие и экология грибов и грибоподобных организмов Северной Евразии : материалы Всерос. конф. с междунар. участием, Екатеринбург, 20–24 апреля 2015 г.* Екатеринбург: Изд-во Уральского университета, 2015. С. 300–302.
- [21] Оболенская А.В., Ельницкая З.П., Леонович А.А. Лабораторные работы по химии древесины и целлюлозы. М.: Экология, 1991. 320 с.

- [22] Алиев Р.Г., Павлова Е.А., Терентьева Э.П., Удовенко Н.К. Строение и химия древесины и ее компонентов. СПб.: Изд-во СПбГТУРП, 2011. 37 с.
- [23] ГОСТ 16483.1–84. Древесина. Метод определения плотности. Введ. 01.07. 85. М.: Изд-во стандартов, 1999. 7 с.
- [24] Рабинович М.Л. Теоретические основы биотехнологии древесных композитов. Кн. 1. Древесина и разрушающие ее грибы. М.: Наука, 2001. 264 с.
- [25] Екабсоне М.Я., Крейцберг З.Н., Сергеева В.Н., Киришбаум И.З. Исследование энзиматически разрушенной древесины // Химия древесины, 1978. № 2. С. 61–64.

Сведения об авторах

Загребин Егор Александрович  — ассистент кафедры инженерной защиты окружающей среды, ФГБОУ ВО «Удмуртский государственный университет», i.am.yeti@yandex.ru

Ведерников Константин Евгеньевич — канд. биол. наук, доцент кафедры инженерной защиты окружающей среды, ФГБОУ ВО «Удмуртский государственный университет», wke-les@rambler.ru

Поступила в редакцию 11.05.2022.

Одобрено после рецензирования 20.09.2022.

Принята к публикации 21.09.2022.

BETULA PENDULA L. WOOD DELIGNIFICATION BY MYCODESTRUCTION AND SULFITE ALKALINE PROCESS

E.A. Zagrebin , **K.E. Vedernikov**

Udmurt State University, 1, Universitetskaya st., 426034, Izhevsk, Udmurt Republic, Russia

i.am.yeti@yandex.ru

The results of a study on the delignification of birch wood (*Betula pendula* L.) by cultivating mushrooms from the genus *Pleurotus* in laboratory conditions for three time intervals are presented. The results of extraction of lignin from wood by chemical treatment with sodium hydroxide and sodium sulfite in different concentrations, as well as at different processing times, are presented. Difficulties in washing raw materials using highly concentrated solutions have been identified. Data on the study of changes in the content of the main structural and non-structural components of wood, as well as the density of wood in the process of delignification are presented.

Keywords: wood chemistry, polysaccharides, lignin, wood-destroying fungi, delignification

Suggested citation: Zagrebin E.A., Vedernikov K.E. *Osobennosti delignifikatsii drevesiny berezy povisloy (Betula pendula L.) metodami mikodestruxtsii i sul'fitnoy shchelochnoy varki [Betula pendula L. wood delignification by mycodestruction and sulfite alkaline process]. Lesnoy vestnik / Forestry Bulletin, 2022, vol. 26, no. 6, pp. 141–147. DOI: 10.18698/2542-1468-2022-6-141-147*

References

- [1] D'yakov K.F. *Vliyaniye gidrotermicheskoy obrabotki na prochnost' drevesiny berezy i listvennitsy* [The effect of hydrothermal treatment on the strength of birch and larch wood]. *Derevoobrabatyvayushchaya promyshlennost'* [Woodworking industry], 1967, no. 4, pp. 9–12.
- [2] Zarkhina E.M., Krotov L.N., Oslovovich V.N. *Vliyaniye vysokikh temperatur na mekhanicheskie svoystva i khimicheskiy sostav drevesiny listvennitsy* [Influence of high temperatures on mechanical properties and chemical composition of larch wood]. *Listvennica* [Larch]. Krasnoyarsk, 1968, pp. 462–469.
- [3] Orlov A.A., Sokolov V.L. *Izmeneniye fiziko-mekhanicheskikh svoystv drevesiny listvennitsy pri gidrotermicheskoy obraboke. Obzor* [Change of physical and mechanical properties of larch wood during hydrothermal treatment. Review]. *KHBZ*, 2006, v. 23, no. 3, pp. 147–158.
- [4] Orlov A.A., Greb N.A. *Issledovaniye posloynnoy prochnosti pilomaterialov* [Investigation of the layered strength of lumber]. *Khimiko-lesnoy kompleks — problemy i resheniya*. [Chemical-forest complex — problems and solutions]. Krasnoyarsk: SibSTU, 2001, pp. 380–382.
- [5] Song J., Chen C., Zhu S. Processing bulk natural wood into a high-performance structural material. *Nature*, 2018, v. 554, pp. 224–228. DOI:10.1038/nature25476
- [6] Mayorova L.P. *O nekotorykh osobennostyakh khimizma sul'fitnoy shchelochnoy varki berezovoy drevesiny* [On some features of the chemistry of sulfite alkaline cooking of birch wood]. *Lesnoy Zhurnal (Russian Forestry Journal)*, 2007, no. 5, pp. 94–101.
- [7] Ingruber O.V. Pulping with SO₃OH at hot pH 8...11. *Pulp and Paper Magazine of Canada*, 1970, v. 71, no. 22, p. 23.
- [8] Rodrigues P.O., Gurgel L.V.A., Pasquini D., Badottiet F. Lignocellulose-degrading enzymes production by solid-state fermentation through fungal consortium among Ascomycetes and Basidiomycetes. *Renewable Energy*, 2020, v. 145, pp. 2683–2693.
- [9] Peralta R.M., Côrrea R.C.G., Kato C.G., da Silva B.P. Enzymes from Basidiomycetes — Peculiar and Efficient Tools for Biotechnology. *Biotechnology of Microbial Enzymes*, 2017, pp. 119–149. DOI:10.1016/B978-0-12-803725-6.00005-4

- [10] Jacobs-Young C., Venditti R., Joyce T. Effect of enzymatic pretreatment on the diffusion of sodium hydroxide in wood. *Tappi J.*, 1998, v. 81, no. 1, pp. 260–266.
- [11] Klyagina Yu.P., Smirnov V.F., Struchkova I.V., Trofimov A.N., Kislytsyn A.N. *Biodestruktsiya lignina iz drevesno-struzhechnykh plit mikroskopicheskimi gribami* [Biodestruction of lignin from particle board microscopic fungi]. *Khimiya rastitel'nogo syr'ya* [Chemistry of plant raw materials], 2005, no. 4, pp. 41–44.
- [12] Novozhilov E.V., Poshina D.N. *Biotekhnologii v proizvodstve tsellyulozy dlya khimicheskoy pererabotki (obzor)* [Biotechnologies in the production of cellulose for chemical processing (review)]. *Khimiya rastitel'nogo syr'ya* [Chemistry of plant raw materials], 2011, no. 3, pp. 15–32.
- [13] Ozolinya N.R., Sergeeva V.N., Abramovich Ts.L. *Anatomicheskie i khimicheskie izmeneniya drevesiny berezy porazhennoy gribami beloy gnili* [Anatomical and chemical changes of birch wood affected by white rot fungi]. *Izvestiya AN Latv. SSR* [Proceedings of the Academy of Sciences of the Latvian SSR]. 1987, No. 12, pp. 45–52.
- [14] Sokolov D.V. *Kornevaya gnil' ot openka (Ar. mellea (vahb.ex Fr) Karst.) v lesakh taezhnoy zony i vozmozhnye meropriyatiya po bor'be s neyu* [Root rot from *Armillaria (Ar. mellea (vahb.ex Fr) Karst.)* in the forests of the taiga zone and possible measures to combat it]. *Sbornik statey po obmenu proizvodstvenno-tekhnicheskim opytom po lesnomu khozyaystvu i lesoustroystvu* [Collection of articles on the exchange of technical and production experience in forestry and forest management]. Leningrad: Lesnaya promyshlennost' [Timber industry], 1963, pp. 228–233.
- [15] Uskov S.P. *Fautnost' spelykh i perestoynykh el'nikov Kadnikovskogo lesnichestva* [Footnote Mature and over-Mature spruce stands of Medford forestry]. *Trudy In-ta lesa i drevesiny* [Works of the Institute of Forest and Timber], 1963, v. 53, pp. 212–237.
- [16] Kirker G.T., Blodgett A.B., Arango R.A., Lebow P.K., Clausen C.A. The role of extractives in naturally durable wood species. *International Biodeterioration & Biodegradation*, 2013, v. 82, pp. 53–58.
- [17] Singh T., Singh A.P. A review of natural products as wood protectant. *Wood Science Technology*, 2012, v. 46, pp. 851–870.
- [18] Yang D.Q. Potential utilization of plant and fungal extracts for wood protection. *Forest Product J.*, 2009, v. 54, pp. 37–39.
- [19] Zamora-Zamora H.D., Silva T.A.L., Varão L.H.R., Baffi M.A., Pasquini D. Simultaneous production of cellulases, hemicellulases, and reducing sugars by *Pleurotus ostreatus* growth in one-pot solid state fermentation using *Alstroemeria* sp. *Waste. Biomass Conversion and Biorefinery*, 2021, v. 12, no. 1. DOI:10.1007/s13399-021-01723-3
- [20] Badalyan S.M., Kües U. Morphological characteristics of vegetative mycelia and anamorphs in different collections of xylotrophic basidiomycetous mushrooms. *Bioraznoobrazie i ekologiya gribov i gribopodobnykh organizmov Severnoy Evrazii: materialy Vserossiyskoy konferentsii s mezhdunarodnym uchastiem* [Biodiversity and ecology of fungi and fungus-like organisms in Northern Eurasia: Proceedings of the All-Russian Conference with International Participation], Yekaterinburg, April 20–24, 2015. Yekaterinburg: Ural University Press, 2015, pp. 300–302.
- [21] Obolenskaya A.V., El'nitskaya Z.P., Leonovich A.A. *Laboratornye raboty po khimii drevesiny i tsellyulozy* [Laboratory work on the chemistry of wood and cellulose: A textbook for universities]. Moscow: Ecology, 1991, 320 p.
- [22] Aliev R.G., Pavlova E.A., Terent'eva E.P., Udovenko N.K. *Stroenie i khimiya drevesiny i ee komponentov* [Structure and chemistry of wood and its components]. St. Petersburg: SPbGTURP, 2011, 37 p.
- [23] GOST 16483.1–84. *Drevesina. Metod opredeleniya plotnosti* [Wood. Density determination method]. Moscow: Publishing House of Standards, 1999, 7 p.
- [24] Rabinovich M.L. *Teoreticheskie osnovy biotekhnologii drevesnykh kompozitov. Kn. 1. Drevesina i razrushayushchie ee griby* [Theoretical foundations of biotechnology of wood composites. Book 1. Wood and its destroying fungi]. Moscow: Nauka, 2001, 264 p.
- [25] Ekabsone M.Ya., Kreytsberg Z.N., Sergeeva V.N., Kirshbaum I.Z. *Issledovanie enzimaticheskii razrushennoy drevesiny* [Investigation of enzymatically destroyed wood]. *Khimiya drevesiny* [Chemistry of wood], 1978, no. 2, pp. 61–64.

Authors' information

Zagrebin Egor Aleksandrovich✉ — Assistant of the Department of environmental engineering, Federal State Budgetary Educational Institution of Higher Education «Udmurt State University», i.am.yeti@yandex.ru

Vedernikov Konstantin Evgen'evich — Cand. Sci. (Biology), Associate Professor of the Department of Environmental Engineering, Federal State Budgetary Educational Institution of Higher Education «Udmurt State University», wke-les@rambler.ru

Received 11.05.2022.

Approved after review 20.09.2022.

Accepted for publication 21.09.2022.

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

СОВРЕМЕННОЕ СОСТОЯНИЕ, ТЕНДЕНЦИИ И ПЕРСПЕКТИВЫ РАЗВИТИЯ ЦЕЛЛЮЛОЗНО-БУМАЖНОЙ ПРОМЫШЛЕННОСТИ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ

Н.Б. Пинягина, Н.С. Горшенина✉

Мытищинский филиал ФГБОУ ВО «Московский государственный технический университет имени Н.Э. Баумана (национальный исследовательский университет)», Россия, 141005, Московская обл., г. Мытищи, ул. 1-я Институтская, д. 1
gorshenina2303@icloud.com

Рассмотрены вопросы современного состояния, тенденций и перспектив развития целлюлозно-бумажной промышленности как одного из приоритетных и перспективных направлений лесного комплекса России. Исследование проведено по следующим основным направлениям: производственная сфера, анализ рынков сбыта с учетом влияния внутренней и внешней среды, экспорт и импорт, поскольку предприятия являются экспортно ориентированными. Представленный анализ выполнен не только по основным видам целлюлозно-бумажного производства, но и в разрезе его территориального размещения, что позволяет оценить результативность деятельности по федеральным округам, наметить перспективы и стратегию развития.

Ключевые слова: лесной комплекс, целлюлозно-бумажная промышленность, аналитический обзор

Ссылка для цитирования: Пинягина Н.Б., Горшенина Н.С. Современное состояние, тенденции и перспективы развития целлюлозно-бумажной промышленности Российской Федерации // Лесной вестник / Forestry Bulletin, 2022. Т. 26. № 6. С. 148–160. DOI: 10.18698/2542-1468-2022-6-148-160

Для принятия решений в соответствии с поставленной целью, отметим, что оборот предприятий и организаций целлюлозно-бумажной промышленности в 2021 г. в целом по России увеличился относительно 2020 г. на 130,6 % и составил 271 трлн руб. При этом, по данным Росстата, оборот обрабатывающих производств, соответственно, увеличился на 133 % и достиг 65,1 трлн руб. (табл. 1).

Что касается ЛПК, индекс производства по обработке бумаги и выпуска бумажных изделий в 2021 г. по сравнению с 2020 г. составил 109,2 %, увеличение составило более 4,0 процентных пункта.

В настоящее время Россия занимает восьмое место в мире по производству полуфабрикатов из волокна и 13-е место по выпуску бумажных и картонных изделий. Это технологические процессы, относящиеся к целлюлозно-бумажной промышленности (табл. 2).

Анализ объемов производства по основным видам продукции целлюлозно-бумажной промышленности за 2020 и 2021 гг. свидетельствует о том, что наибольший прирост относительно 2020 г. показал выпуск ящиков и коробок из гофрированного картона — на 12,4 % и составил в 2021 г. 7166 млрд м².

Рассмотрим изменения показателей по целлюлозно-бумажной промышленности в 2021 г. в разрезе основных видов продукции.

Цель работы

Цель работы заключается в определении тенденций и перспектив развития целлюлозно-бумажной промышленности, выявления вероятности возникновения проблем и разработке стратегии производственной деятельности на основании аналитической информации действующих предприятий и корпораций лесопромышленного комплекса (ЛПК) России.

Целлюлоза из древесных волокон и других волокнистых материалов, древесная масса. В 2021 г. в Российской Федерации было произведено 8765 тыс. т целлюлозы и древесной массы, что на 0,7 % больше, чем в 2020 г. Наибольшее количество этой продукции было выпущено предприятиями Северо-Западного федерального округа (СЗФО) — 5300,1 тыс. т, что составило 60,1 % всего объема производства. Однако в отчетном периоде по СЗФО произошел незначительный рост производства — 2,5 тыс. т относительно 2020 г.

Значительная доля в структуре производства целлюлозы и древесной массы приходится на Сибирский федеральный округ (СФО) — 26,3 %, в 2021 г. было произведено 2325,0 тыс. т, рост составил 31,1 % к 2020 г. (табл. 3).

Самый значительный рост производства целлюлозы и древесной массы зафиксирован в Уральском федеральном округе (УФО) — на 72,1 %, или 30,1 тыс. т. Тем не менее, доля УФО в структуре производства данной продукции по РФ незначительна и составляет 0,4 % (рис. 1).

Т а б л и ц а 1

**Оборот организаций и предприятий лесопромышленного комплекса России
по видам экономической деятельности, млрд руб.**

**Turnover of the Russian timber industry complex organizations and enterprises
by type of economic activity, billion rubles**

Сфера деятельности	2020	2021	Относительно 2020 г, %	Декабрь 2021 г.	Относительно декабря 2020 г., %
Всего по ЛПК	207561,7	270996,2	130,6	30135,1	133,9
Обрабатывающие производства (всего)	48977,5	65121,6	133,0	7429,2	134,0
Обработка древесины и производство изделий из дерева и пробки, кроме мебели, производство изделий из соломки и материалов для плетения	724,9	1103,2	152,2	102,3	141,1
Производство бумаги и бумажных изделий	1099,6	1328,7	120,8	123,8	109,4
Суммарный оборот организаций и предприятий ЛПК	1824,5	2431,9	133,3	226,1	—
Доля оборота организаций и предприятий ЛПК в общем обороте обрабатывающих производств, %	3,7	3,7	—	3,0	—

Т а б л и ц а 2

**Сравнительные данные по объемам производства основных видов продукции
целлюлозно-бумажной промышленности за первые три квартала 2020 и 2021 гг.**

**Comparative data on production volumes of the main products of the pulp and paper industry
for the first three quarters of 2020 and 2021**

Наименование продукции	2021		Декабрь 2021 г.	Относительно декабря 2020 г., %	Относительно ноября 2021 г., %
	Факти- чески	Относи- тельно 2020, %			
Целлюлоза древесная и из прочих волокнистых материалов, тыс. т	8825	100,7	769	101,4	102,1
Бумага и картон, тыс. т	10373	106,7	911	106,6	103,5
Бумага офсетная, тыс. т	360	89,2	33,2	126,1	121,0
Бумага газетная в рулонах или листах, тыс. т	1299	99,0	109	109,7	107,7
Картон тарный (крафтлайнер) небеленый, немелованный, тыс. т	1983	103,0	171	97,4	101,4
Ящики и коробки из гофрированных бумаги или картона, млн м ²	7166	112,4	688	112,0	103,2
Ящики и коробки, складывающиеся из негофрированных бумаги или картона, млн м ²	718	86,3	64,1	88,7	103,5

Существенная доля в общем производстве целлюлозы и древесной массы приходится на Приволжский федеральный округ (ПФО) — 11,5 %, объем производства по округу в 2021 г. вырос на 8,2 % и составил 1012,6 тыс. т. (рис. 2).

Исследование тенденций изменения объемов производства целлюлозы и древесной массы в 2021 г. в разрезе предприятий показало, что более 85 % выпуска этой продукции осуществляется предприятиями — членами Российской ассоциации организаций и предприятий целлюлозно-бумажной промышленности (РАО «Бумпром»). За отчетный период предприятия РАО «Бумпром» произвели 7525,6 тыс. т целлюлозы и древесной массы, что на 0,2 % меньше, чем в 2020 г. (рис. 3).

Анализ объемов производства целлюлозы и древесной массы в разрезе целлюлозно-бумажных

предприятий позволил сделать следующие выводы. Наибольший объем целлюлозы и древесной массы в отчетном году выпустило АО «Группа Илим», доля которого в общем объеме производства составила 41,71 %, а среди предприятий РАО «Бумпром» доля АО «Группа Илим» превысила 48,5 %. Второй компанией по объему производства целлюлозы и древесной массы в стране является АО «Монди Сыктывкарский ЛПК», его доля оценивается в 12,4 % общего объема производства по России и 14,5 % производства компаний, входящих в состав РАО «Бумпром». Общество увеличило объем выпуска этой продукции в 2021 г. на 38,2 тыс. т, или 3,6 %.

Крупными отечественными производителями целлюлозы и древесной массы также являются АО «Архангельский ЦБК», АО «Карелия-Палп», АО «Соликамскбумпром» и т. д.

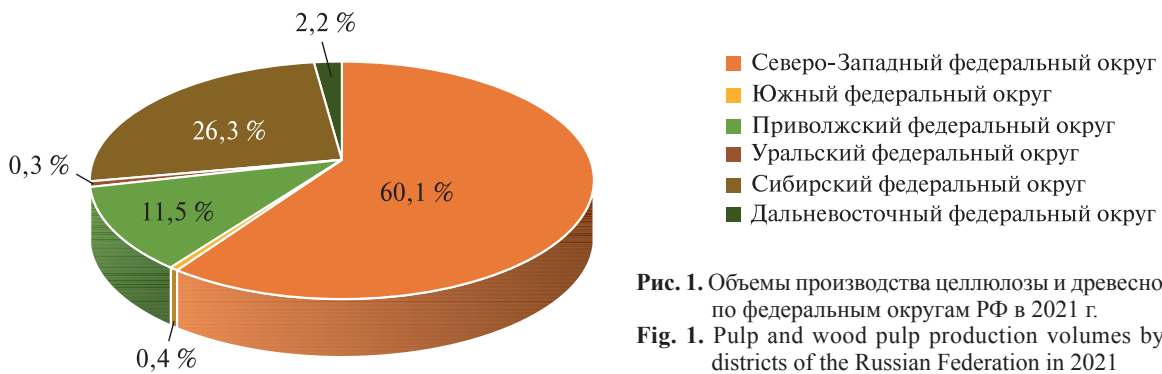


Рис. 1. Объемы производства целлюлозы и древесной массы по федеральным округам РФ в 2021 г.
Fig. 1. Pulp and wood pulp production volumes by federal districts of the Russian Federation in 2021

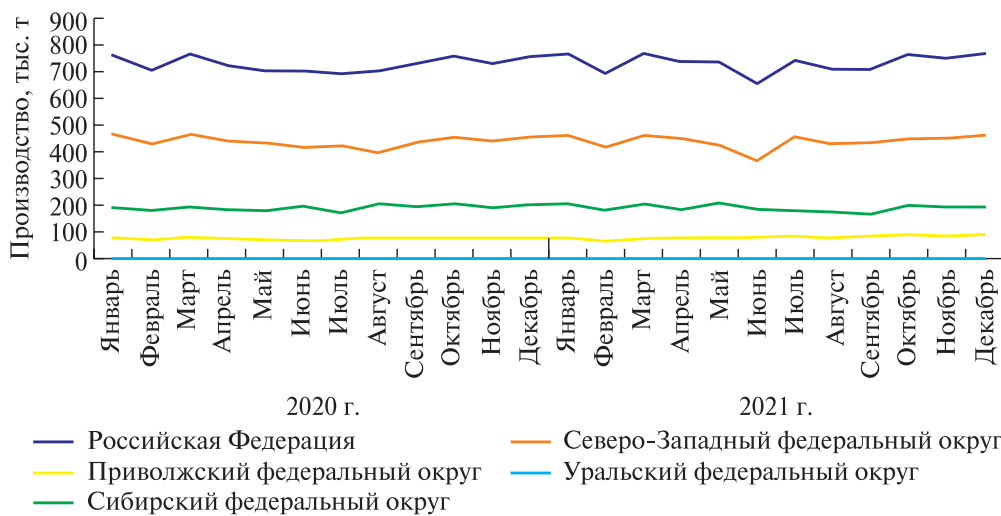


Рис. 2. Динамика объема производства целлюлозы и древесной массы за 2020 и 2021 гг. по федеральным округам ежемесячно
Fig. 2. Dynamics of pulp and wood pulp production in 2020 and 2021 by federal districts monthly

Таблица 3

Объем производства целлюлозы из древесных волокон и других волокнистых материалов и древесной массы в разрезе федеральных округов, тыс. т

The volume of pulp obtained from wood fibers and other fibrous materials and wood pulp production by federal districts, thousand tons

Наименование продукции	2020	2021	Относительно 2020 г., %
Целлюлоза из древесных волокон и других волокнистых материалов + древесная масса, всего по ЛПК по РФ	8 765,0	8 826,0	100,7
В том числе:			
Центральный федеральный округ	0,449	0,451	100,4
Северо-Западный федеральный округ	5 297,6	5 300,1	100,0
Южный федеральный округ	38,3	37,8	98,6
Приволжский федеральный округ	935,7	1012,6	108,2
Уральский федеральный округ	17,5	30,1	172,1
Сибирский федеральный округ	1 773,7	2325,0	131,1
Дальневосточный федеральный округ	84,6	1190,6	140,8
Целлюлоза древесная натронная или сульфатная, всего	6 016,1	5 931,8	98,6
Целлюлоза древесная сульфитная, всего	349,8	355,4	101,6
Масса древесная, получаемая механическим способом, всего	2 398,8	2 537,7	105,8

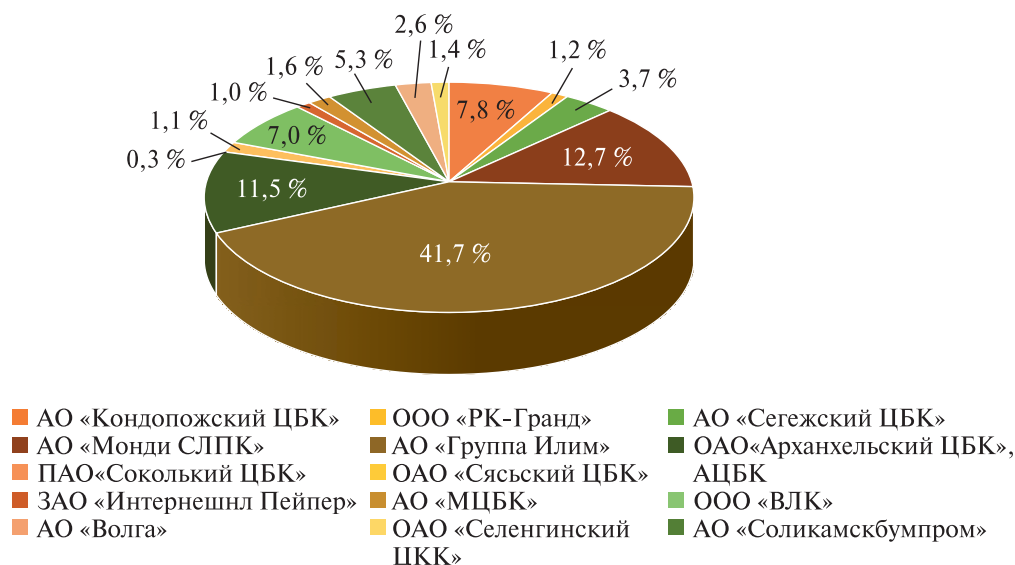


Рис. 3. Доля предприятия в общем производстве целлюлозы и древесной массы в 2021 г.
Fig. 3. Share of the enterprise in the total production of pulp and wood pulp in 2021

Аналитические исследования и расчеты показали, что в России объем потребления целлюлозы из древесных и других волокнистых материалов и древесной массы в 2021 г. вырос на 5 % по сравнению с 2020 г. и составил 6789,0 тыс. т (табл. 4, рис. 4–6) [1–5].

Преобладающая доля в поставках небеленой сульфатной хвойной целлюлозы также принадлежит Коряжемскому и Усть-Илимскому филиалам АО «Группа Илим». Их объем составил 606,5 тыс. т. При этом филиал Группы в г. Усть-Илимск резко увеличил экспорт в 2021 г. — почти в 2,7 раза и достиг 261,3 тыс. т [6–19].

Бумага и картон. Производство бумаги и картона в целом. Объем выпуска бумаги и картона в России за 2021 г. вырос по отношению к уровню 2020 г. на 8,1 %, составив в целом по стране 10 372,7 тыс. т (табл. 5).

Наибольший объем выпуска бумаги и картона в отчетном 2021 г. наблюдался в СЗФО — 5471,9 тыс. т, доля которого составила 53 % общего объема производства. За 2021 г. в СЗФО было выпущено бумаги и картона на 2,1 % больше, чем в 2020 г. Вторым по объемам производства бумаги и картона является ПФО — 2510,7 тыс. т (24 %), в 2021 г. по ПФО увеличился объем производства данной продукции на 13,4 % (рис. 7, 8, см. табл. 5).

Анализ производства бумаги и картона в 2021 г. в разрезе предприятий свидетельствует о том, что более 50 % выпуска этой продукции осуществляется предприятиями — членами РАО «Бумпром». Они за отчетный период произвели 5244,6 тыс. т бумаги и картона, что на 121,5 тыс. т, или на 2,4 %, больше, чем в 2020 г. [20–25].

Т а б л и ц а 4

Расчет объемов потребления целлюлозы из древесных и других волокнистых материалов и древесной массы в 2020 и 2021 гг., тыс. т

Calculation of the pulp from wood and other fibrous materials and wood pulp consumption in 2020 and 2021, thousand tons

Экономический показатель	2020	2021	Относительно 2020 г., %
Целлюлоза из древесных и других волокнистых материалов и древесная масса			
Производство	8765,0	8825,0	100,7
Экспорт	2505,1	2270,8	90,6
Импорт	207,8	234,8	113,0
Потребление	6467,7	6789,0	105,0
Целлюлоза древесная сульфатная СФА			
Производство	6 016,1	5 931,8	98,6
Экспорт	1953,4	2118,8	108,5
Импорт	207,5	234,0	12,8
Потребление	4270,2	4047,0	94,8
Целлюлоза древесная сульфитная СФИ			
Производство	349,8	355,4	101,6
Экспорт	17,9	21,6	120,7
Импорт	—	—	—
Потребление	331,9	333,8	100,6
Масса древесная, ХТММ			
Производство	2 398,8	2 537,7	105,8
Экспорт	37,0	38,3	103,5
Импорт	0,82	0,78	94,6
Потребление	2362,6	2500,2	105,8

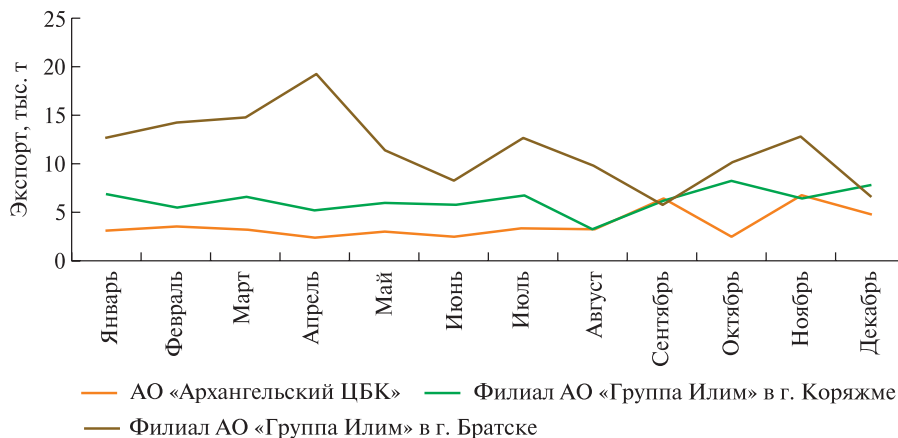


Рис. 4. Динамика объема экспорта сульфатной белой лиственной целлюлозы в 2021 г. помесячно по предприятиям

Fig. 4. Dynamics of the sulphate bleached hardwood pulp exports volume in 2021 on a monthly basis by enterprises

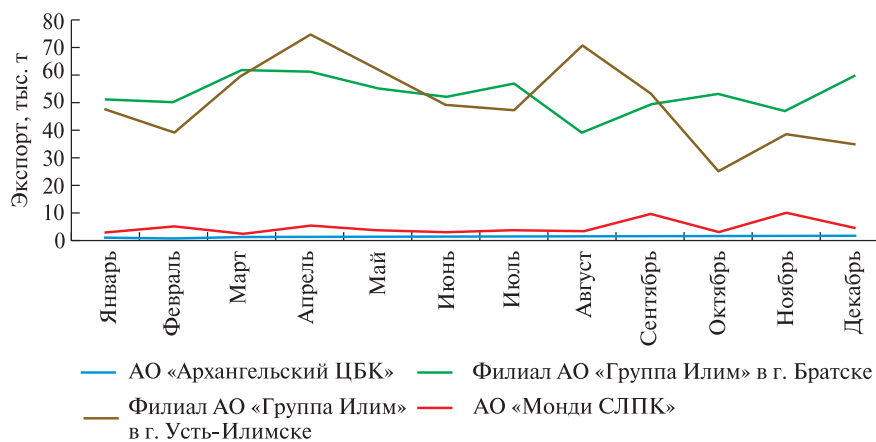


Рис. 5. Динамика объема экспорта сульфатной белой хвойной целлюлозы в 2021 г. по предприятиям

Fig. 5. Dynamics of the sulphate bleached softwood pulp exports volume in 2021 by enterprises

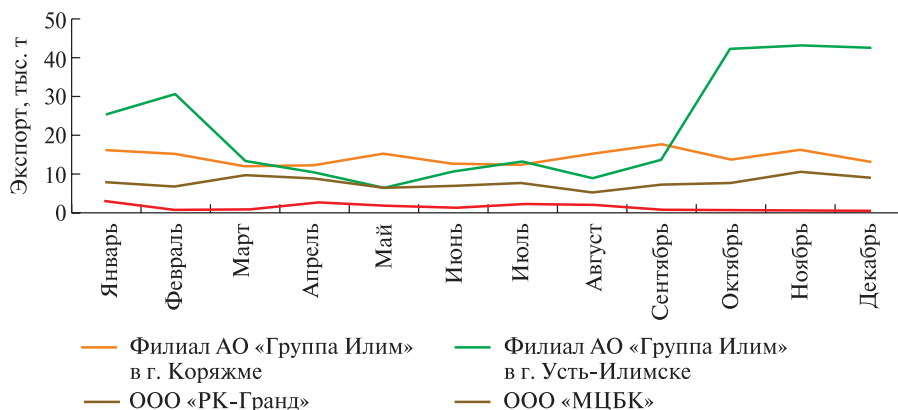


Рис. 6. Динамика объема экспорта сульфатной небеленой хвойной целлюлозы в 2021 г. по предприятиям

Fig. 6. Dynamics of the sulphate unbleached softwood pulp exports volume in 2021 by enterprises

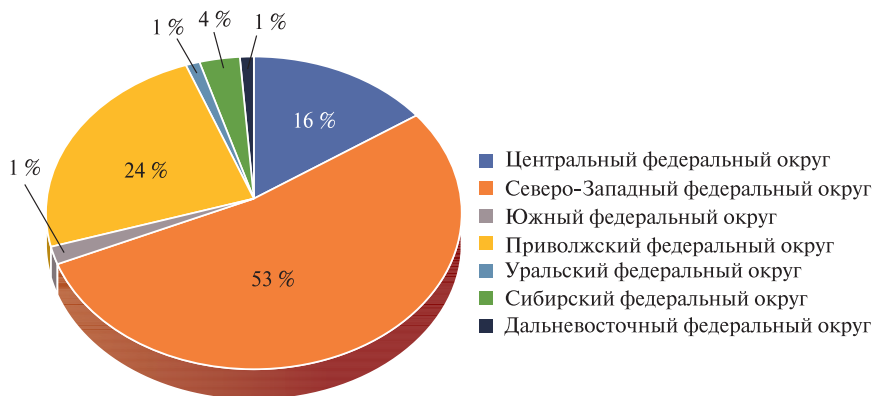


Рис. 7. Доля объема производства бумаги и картона в 2021 г. по федеральным округам
 Fig. 7. Share of paper and paperboard production in 2021 by federal districts

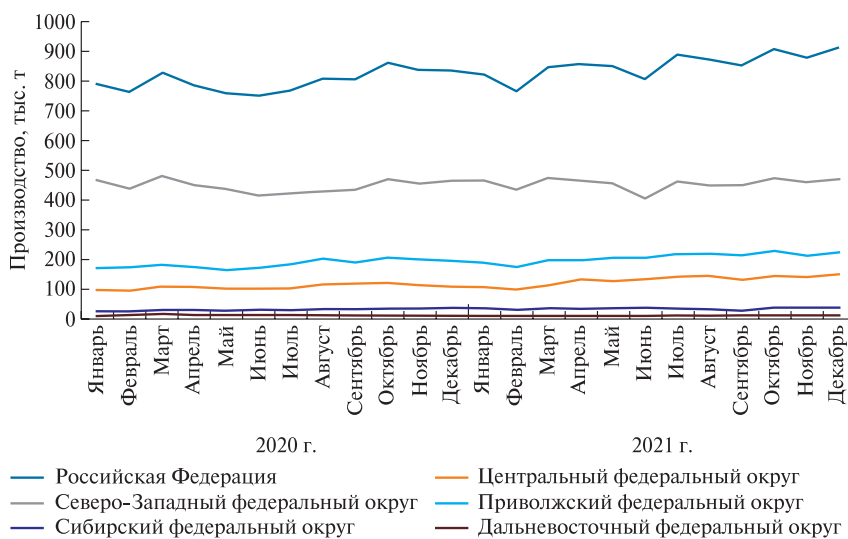


Рис. 8. Динамика производства бумаги и картона в 2020 и 2021 гг. по федеральным округам ежемесячно
 Fig. 8. Dynamics of paper and paperboard production in 2020 and 2021 by federal districts monthly



Рис. 9. Доля объема производства тарного картона (крафтлайнера) по федеральным округам за 2021 г.
 Fig. 9. Share of containerboard (kraftliner) production by federal districts in 2021

Таблица 5

Объем производства бумаги и картона в 2020 и 2021 гг. по федеральным округам, т
Volume of paper and paperboard production in 2020 and 2021 by federal districts, tons

Административная единица	2020	2021	Относительно 2020 г., %
Российская Федерация	9 590 975	10 372 725	108,1
Центральный федеральный округ	1 291 017	1 617 939	125,3
Северо-Западный федеральный округ	5 361 283	5 471 920	102,1
Южный федеральный округ	153 952	162 296	105,4
Приволжский федеральный округ	2 213 597	2 510 738	113,4
Уральский федеральный округ	53 933	62 635	116,1
Сибирский федеральный округ	369 540	420 516	113,8
Дальневосточный федеральный округ	147 576	126 421	85,7

Таблица 6

Объем производства картона тарного (крафтлайнера) небеленого немелованного, т
Production volume of unbleached uncoated containerboard (kraftliner), tons

Административная единица	2020	2021	Относительно 2020 г., %
Российская Федерация	1 924 467	1 982 935	103,0
Центральный федеральный округ	86 015	85 710	99,6
Северо-Западный федеральный округ	1 174 706	1 171 336	99,7
Приволжский федеральный округ	305 157	312 293	102,3
Сибирский федеральный округ	257 632	305 774	118,7
Дальневосточный федеральный округ	99 526	107 822	108,3
Всего по предприятиям РАО «Бумпром»	1 388 989	1 440 642	103,7
Доля предприятий — членов РАО «Бумпрома» в общем объеме производства, %	72,2	72,7	+0,5 процентных пункта

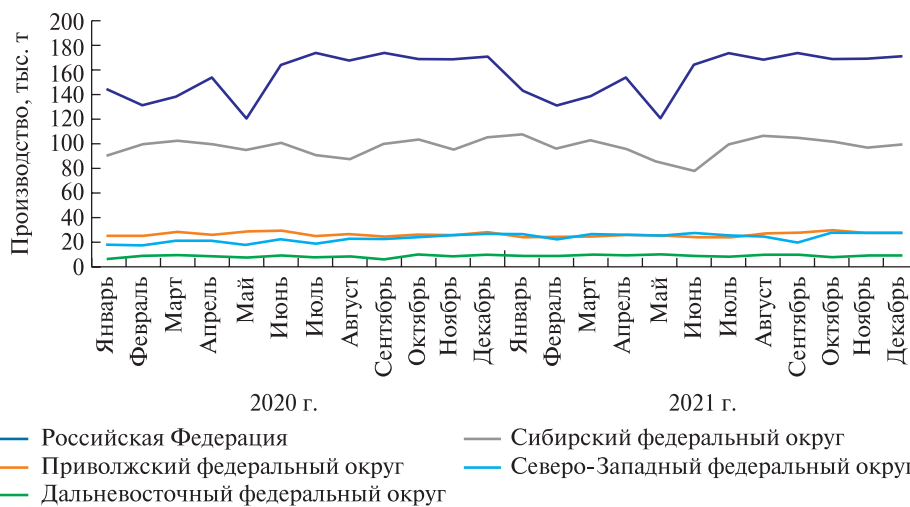


Рис. 10. Динамика объема производства тарного картона (крафтлайнера) за 2020 и 2021 гг. ежемесячно по федеральным округам

Fig. 10. Dynamics of the containerboard (kraftliner) production volume for 2020 and 2021 monthly by federal districts

Производство тарного картона (крафтлайнера). Производство тарного картона (крафтлайнера) небеленого немелованного выросло в 2021 г. по сравнению с 2020 г. на 3 %, всего за год в целом по стране было выпущено около 1983 тыс. т данной продукции (табл. 6).

Наибольшее количество тарного картона в отчетном периоде было произведено в СФО, так как именно там расположены мощности крупнейших в России целлюлозно-бумажных предприятий — АО «Архангельский ЦБК», филиал АО «Группа Илим» в г. Коряжме, АО «Монди СЛПК». В общем



Рис. 11. Доля объема производства тарного картона (крафтлайнера) в 2021 г. по предприятиям
 Fig. 11. Share of containerboard (kraftliner) production in 2021 by enterprises

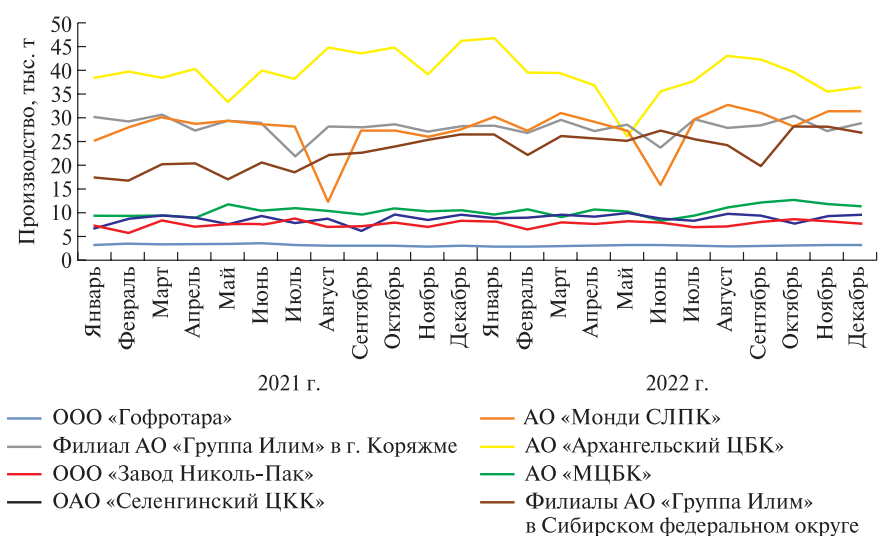


Рис. 12. Динамика производства тарного картона (крафтлайнера) в 2020 и 2021 гг. помесячно по предприятиям
 Fig. 12. Dynamics of the containerboard (kraftliner) production in 2020 and 2021 monthly by enterprises

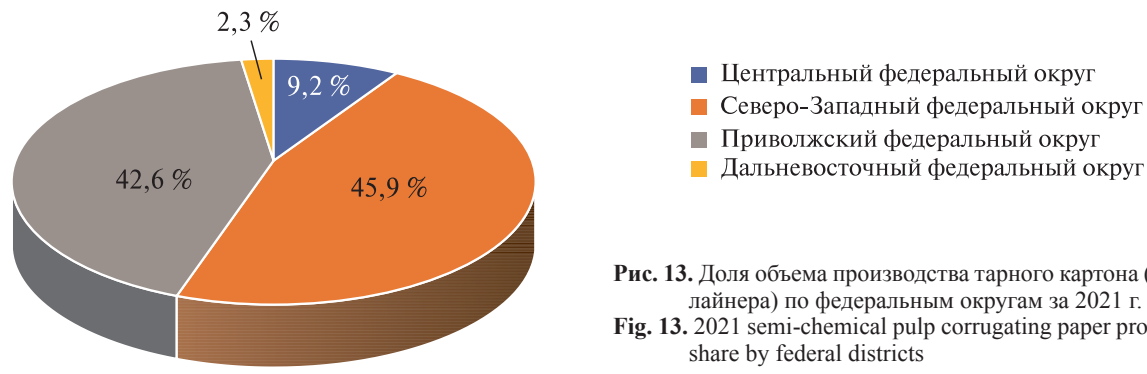


Рис. 13. Доля объема производства тарного картона (крафтлайнера) по федеральным округам за 2021 г.
 Fig. 13. 2021 semi-chemical pulp corrugating paper production share by federal districts

объеме производства крафтлайнера по стране СЗФО занимает 59,1 %, за 2021 г. в округе было произведено 1171,3 тыс. т, что на 0,3 % меньше, чем в 2020 г. Исследование статистических данных по производству тарного картона (крафтлайнера) за 2020 и 2021 гг. в разрезе целлюлозно-бумажных пред-

приятий привели к следующему выводу: в отчетном году 72,7 % общего выпуска крафтлайнера по России приходился на предприятия — члены РАО «Бумпром», при этом рост объема производства этой продукции за 2021 г. составил 51,7 тыс. т, или 3,7 % (рис. 9, 10) [26–29].

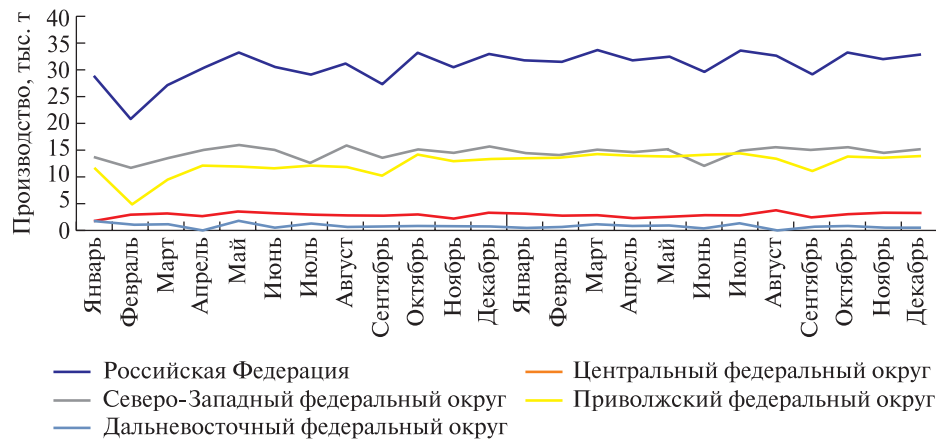


Рис. 14. Динамика объема производства бумаги для гофрирования из полуцеллюлозы за 2020 и 2021 гг. ежемесячно по федеральным округам

Fig. 14. Dynamics of the paper production volume for corrugating from semi-chemical pulp for 2020 and 2021 monthly by federal districts

Т а б л и ц а 7

Объем производства бумаги для гофрирования разных видов в 2021 и 2020 гг., т
The production volume of paper for corrugating different types in 2021 and 2020, tons

Наименование	2020	2021	Относительно 2020 г., %
Бумага для гофрирования из полуцеллюлозы			
Российская Федерация	353 048	386 487	109,5
Центральный федеральный округ	31 318	35 458	113,2
Северо-Западный федеральный округ	172 414	177 268	102,8
Приволжский федеральный округ	137 314	164 745	120,0
Дальневосточный федеральный округ	12 002	9 017	75,1
Бумага для гофрирования регенерированная и прочая бумага для гофрирования			
Российская Федерация	1 698 618	2 061 267	121,3
Центральный федеральный округ	618 690	830 843	134,3
Северо-Западный федеральный округ	414 952	469 031	113,0
Южный федеральный округ (с 29.07.2016)	80 971	82 219	101,5
Приволжский федеральный округ	463 566	577 152	124,5
Уральский федеральный округ	23 507	26 275	111,8
Сибирский федеральный округ	75 041	75 747	100,9
Дальневосточный федеральный округ	21 890	–	–

Т а б л и ц а 8

Расчет объема потребления тарных видов картона в 2020 и 2021 гг., т
Calculation of the consumption volume of cardboard container types in 2020 and 2021, tons

Экономический показатель	2020	2021	Относительно 2020 г., %
Крафтлайнер бурый			
Производство	1 924 467	1 982 935	103,0
Экспорт	773 935	797 646	103,1
Импорт	4 831	1191	24,6
Потребление	1 155 363	1 186 480	102,7
Тестлайнер			
Производство	948 710	985 377	103,9
Экспорт	266 790	527 621	197,8
Импорт	7 329	6 314	86,2
Потребление	689 249	464 070	67,3
Бумага для гофрирования из полуцеллюлозы			
Производство	353 048	386 487	109,5
Экспорт	83 436	91 430	109,6
Импорт	–	–	–
Потребление	269 612	295 057	109,4
Бумага для гофрирования регенерированная			
Производство	1 698 618	2 061 267	121,3
Экспорт	300 968	361 973	120,3
Импорт	2 642	2 143	81,1
Потребление	1 400 292	1 701 437	121,5

Следует обратить внимание, что наибольшая доля (36 %) в общем объеме производства данной продукции наблюдается у АО «Группа Илим». Общий объем производства крафтлайнера по всем филиалам группы составил в 2021 г. 639,5 тыс. т, что на 9,1 % больше, чем в 2020 г. (рис. 11, 12).

Лидером в стране по производству крафтлайнера также является АО «Архангельский ЦБК», доля которого в общем объеме производства составляет 25 %. После реализации в 2020 г. приоритетного инвестиционного проекта «Реконструкция производства картона» комбинат существенно увеличил объем выпуска крафтлайнера, однако в 2021 г. он произвел 457,4 тыс. т тарного картона, что на 5,8 % меньше, чем в 2020 г.

Среди лидеров по производству крафтлайнера в стране третье место по объемам производства принадлежит АО «Монди СЛПК» (19 %). Общество в 2021 г. выпустило 343,7 тыс. т тарного картона, что на 8,2 % больше, чем в 2020 г.

Крупными производителями крафтлайнера также являются АО «Марийский ЦБК» (7 %) и ОАО «Селенгинский ЦБК» (6 %). Марийский ЦБК в 2021 г. выпустил 125,5 тыс. т тарного картона, что на 3,4 % больше чем годом ранее, а Селенгинский ЦБК, соответственно, 107,8 тыс. т, что на 8,3 % больше, чем в 2020 г.

Производство бумаги для гофрирования. В 2021 г. в России было произведено гофрированной бумаги из полуцеллюлозы в количестве 386,5 тыс. т, что на 9,5 % больше, чем в предыдущем году.

Лидером среди федеральных округов по объему выпуска этой продукции является СЗФО, его доля в общем объеме производства составляет около 50 %. В отчетном году в СЗФО было произведено 177,3 тыс. т бумаги для гофрирования из полуцеллюлозы, что на 2,8 % больше, чем в 2020 г. (табл. 7, рис. 13, 14).

Результаты сравнительных расчетов объема потребления тарных видов картона за 2020 и 2021 гг. (табл. 8) позволили сделать вывод о том, что по всем позициям, за исключением тестлайнера, потребление тарных видов продукции по сравнению с предыдущим годом увеличилось [26–29].

Выводы

Подводя итог, следует подчеркнуть, что важность и достоверность представленного исследования обоснована использованием в анализе аналитической информации о действующих предприятиях и корпорациях лесного комплекса России. Такой подход является залогом реальной оценки состояния лесного комплекса, тенденций его развития и перспектив с учетом влияния внутренней и внешней среды [30, 31].

Особый интерес, на наш взгляд, представляет целлюлозно-бумажная промышленность, которая является одним из приоритетных и перспективных направлений развития лесного комплекса России.

Данное исследование выполнено не только по видам продукции целлюлозно-бумажного производства, но и с учетом его территориального размещения, что позволило оценить результативность деятельности федеральных округов в данном аспекте и наметить тенденции развития.

Отметим, что исследование проведено по следующим основным направлениям. Прежде всего — это производственная сфера как основополагающая часть любой экономической деятельности. Далее — экспорт и импорт, поскольку предприятия данной отрасли являются экспортно ориентированными. Следующим этапом является потребление, которое дает стимул для развития производства [28, 29].

Такой концептуальный подход исследования позволяет определить перспективы, вероятность возникновения тех или иных проблем и выработать стратегию развития отраслей целлюлозно-бумажной промышленности России.

Список литературы

- [1] Шеремет А.Д. Анализ и диагностика финансово-хозяйственной деятельности предприятия. М.: ИНФРА-М, 2019. 374 с.
- [2] Хан Д. Планирование и контроль: концепция контроллинга / под ред. А.А. Турчака, Л.Г. Головача, М.Л. Лукашевича. М.: Финансы и статистика, 1997. 799 с.
- [3] Хиггинс Р. Финансовый анализ: инструменты для принятия бизнес-решений. М.: Вильямс, 2008. 463 с.
- [4] Шеремет А.Д. Комплексный анализ хозяйственной деятельности. М.: ИНФРА-М, 2008. 415 с.
- [5] Шеремет А.Д., Сайфулин Р.С., Негашев Е.В. Теория финансового анализа. М.: ИНФРА-М, 2008. 172 с.
- [6] Berglof E., Foray D., Landesmann M., Lin J. Y., Campos M. N., Sanfey P., Radosevic S., Volchkova N. Transition economics meets new structural economics // J. of Economic Policy Reform, 2015, v. 18, no. 3, pp. 191–220.
- [7] Cimoli M., Porcile G. Technology, structural change and BOP-constrained growth: A structuralist toolbox // Cambridge J. of Economics, 2014, v. 38, no. 1, pp. 215–237.
- [8] De Vries G., Timmer M., de Vries K. Structural transformation in Africa: Static gains, dynamic losses // The J. of Development Studies, 2015, v. 51, no. 6, pp. 674–688.
- [9] Di Meglio G., Gallego J., Maroto A., Savona M. Services in developing economies: A new chance for catching-up? // SPRU Working Paper Series, 2015, no. 2015–32, pp. 1–33.
- [10] Felipe J., Mehta A. Deindustrialization? A global perspective // Economics Letters, 2016, v. 149, pp. 148–151.
- [11] Gouvea R., Lima G. Balance of payments constrained growth in a multisectoral framework: A panel data investigation // J. of Economic Studies, 2013, v. 40, no. 2, pp. 240–254.
- [12] Haraguchi N., Cheng C.F.C., Smeets E. The importance of manufacturing in economic development: Has this changed? // World Development, 2017, v. 93, pp. 293–315.

- [13] Herrendorf B., Rogerson R., Valentinyi A. Growth and structural transformation. Handbook of economic growth, Vol. 2. Eds. P. Aghion, S. Durlauf. Amsterdam and New York: North Holland, 2014, pp. 855–941.
- [14] Marconi N., de Borja Reis C.F., de Araújo E.C. Manufacturing and economic development: The actuality of Kaldor's first and second laws // *Structural Change and Economic Dynamics*, 2016, v. 37, pp. 75–89.
- [15] McMillan M., Rodrik D., Sepulveda C. Structural change, fundamentals and growth: A framework and case studies. NBER Working Paper, 2017, no. 23378. URL: <http://www.nber.org/papers/w23378> (accessed 15.03.2022).
- [16] Oreiro J. Inconsistency and over determination in balance of payments constrained growth models: A note // *Review of Keynesian Economics*, 2016, v. 4, no. 2, pp. 193–200.
- [17] Romano L., Trau F. The nature of industrial development and the speed of structural change // *Structural Change and Economic Dynamics*, 2017, v. 42, pp. 26–37.
- [18] Romero J., McCombie J. The multi-sectoral Thirlwall's law: Evidence from 14 developed European countries using product level data // *International Review of Applied Economics*, 2016, v. 30, no. 3, pp. 301–332.
- [19] Timmer M.P., de Vries G.J., de Vries K. Patterns of structural change in developing countries. *Routledge handbook of industry and development*. Eds. J. Weiss, M. Tribe. UK and New York: Routledge, 2015, pp. 65–83.
- [20] Савицкий А.А., Пинягина Н.Б., Горшенина Н.С. Экономическая оценка инвестиций лесного сектора. М.: МГУЛ, 2013. 618 с.
- [21] Савицкий А.А., Пинягина Н.Б., Горшенина Н.С. Экономическая оценка инвестиционной деятельности: теория и практика. Практикум. М.: МГУЛ, 2015. 176 с.
- [22] Савицкий А.А., Пинягина Н.Б., Горшенина Н.С. Инвестиционная деятельность в лесном секторе. Теория и практика. Практикум. М.: МГУЛ, 2015. 196 с.
- [23] Савицкий А.А., Пинягина Н.Б., Горшенина Н.С. Оценка экономической эффективности и финансовой реализуемости инвестиционных проектов. М.: МГУЛ, 2015. 80 с.
- [24] Горшенина Н.С., Пинягина Н.Б. Обзор реализации стратегических задач развития лесного комплекса России // *Лесной вестник / Forestry Bulletin*, 2019. Т. 23. № 6. С. 105–116.
- [25] Горшенина Н.С., Пинягина Н.Б., Савицкий А.А. Перспективы развития лесного комплекса России // LAP LAMBERT Academic Publishing RU, 2018. 156 с.
- [26] Горшенина Н.С. Влияние инвестиционных рисков на результативность деятельности предприятий лесного комплекса России // *Экономика и предпринимательство*, 2021. № 3. С. 906–910.
- [27] Горшенина Н.С., Пинягина Н.Б. Приоритетные направления совершенствования лесопромышленного и лесопользования // *Экономика и предпринимательство*, 2019. № 1(102). С. 938–945.
- [28] Горшенина Н.С., Пинягина Н.Б., Пинягин С.С. Инвестиционная привлекательность целлюлозно-бумажной промышленности России и пути ее повышения // *Экономика и предпринимательство*, 2020. № 1. С. 215–222.
- [29] Пинягина Н.Б., Горшенина Н.С. Исследование тенденций изменения показателей целлюлозно-бумажной промышленности по основным видам продукции в 2021 году // *Экономика и предпринимательство*, 2022. № 1. С. 435–448.
- [30] Моисеев Н.А. Экономика отрасли. М.: МГУЛ, 2008. 360 с.
- [31] Моисеев Н.А., Третьяков А.Г., Трейфельд Р.Ф. Лесоустройство в России / под ред. Н.А. Моисеева. М.: МГУЛ, 2014. 268 с.

Сведения об авторах

Пинягина Наталья Борисовна — д-р экон. наук, профессор МГТУ им. Н.Э. Баумана (Мытищинский филиал), nbp50@yandex.ru

Горшенина Наталья Станиславовна — канд. экон. наук, доцент МГТУ им. Н.Э. Баумана (Мытищинский филиал), gorshenina2303@icloud.com

Поступила в редакцию 17.05.2022.

Одобрено после рецензирования 15.07.2022.

Принята к публикации 20.09.2022.

CURRENT STATE, TRENDS AND PROSPECTS FOR PULP AND PAPER INDUSTRY DEVELOPMENT IN RUSSIAN FEDERATION

N.B. Pinyagina, N.S. Gorshenina✉

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

gorshenina56@icloud.com

The issues of the current state, trends and prospects for the development of the pulp and paper industry as one of the priority and promising areas of the Russian timber complex are considered. The study was conducted in the following main areas: the production sector, analysis of sales markets, taking into account the influence of the internal and external environment, export and import, since enterprises are export-oriented. The presented analysis was performed not only for the main types of pulp and paper production, but also in terms of its territorial location, which allows us to evaluate the performance of the federal districts, outline the prospects and development strategy.

Keywords: timber complex, pulp and paper industry, analytical review

Suggested citation: Pinyagina N.B., Gorshenina N.S. *Sovremennoe sostoyanie, tendentsii i perspektivy razvitiya tsellyulozno-bumazhnoy promyshlennosti Rossiyskoy Federatsii* [Current state, trends and prospects for pulp and paper industry development in Russian Federation]. *Lesnoy vestnik / Forestry Bulletin*, 2022, vol. 26, no. 6, pp. 148–160. DOI: 10.18698/2542-1468-2022-6-148-160

References

- [1] Sheremet A.D. *Analiz i diagnostika finansovo-khozyaystvennoy deyatel'nosti predpriyatiya* [Analysis and diagnostics of financial and economic activity of the enterprise]. Moscow: INFRA-M, 2019, 374 p.
- [2] Khan D. *Planirovanie i kontrol': kontseptsiya kontrollinga* [Planning and control: the concept of controlling]. Ed. A.A. Turchak, L.G. Golovach, M.L. Lukashovich. Moscow: Finansy i statistika [Finance and statistics], 1997, 799 p.
- [3] Higgins R. *Finansovyy analiz: instrumenty dlya prinyatiya biznes-resheniy* [Financial analysis: tools for making business decisions]. Moscow: Williams, 2008, 463 p.
- [4] Sheremet A.D. *Kompleksnyy analiz khozyaystvennoy deyatel'nosti* [Comprehensive analysis of economic activity]. Moscow: INFRA-M, 2008, 415 p.
- [5] Sheremet A.D., Sayfulin R.S., Negashev E.V. *Teoriya finansovogo analiza* [Theory of financial analysis]. Moscow: INFRA-M, 2008, 172 p.
- [6] Berglof E., Foray D., Landesmann M., Lin J.Y., Campos M.N., Sanfey P., Radošević S., Volchkova N. Transition economics meets new structural economics. *J. of Economic Policy Reform*, 2015, v. 18, no. 3, pp. 191–220.
- [7] Cimoli M., Porcile G. Technology, structural change and BOP-constrained growth: A structuralist toolbox. *Cambridge J. of Economics*, 2014, v. 38, no. 1, pp. 215–237.
- [8] De Vries G., Timmer M., de Vries K. Structural transformation in Africa: Static gains, dynamic losses. *The J. of Development Studies*, 2015, v. 51, no. 6, pp. 674–688.
- [9] Di Meglio G., Gallego J., Maroto A., Savona M. Services in developing economies: A new chance for catching-up?. *SPRU Working Paper Series*, 2015, no. 2015–32, pp. 1–33.
- [10] Felipe J., Mehta A. Deindustrialization? A global perspective. *Economics Letters*, 2016, v. 149, pp. 148–151.
- [11] Gouvea R., Lima G. Balance of payments constrained growth in a multisectoral framework: A panel data investigation. *J. of Economic Studies*, 2013, v. 40, no. 2, pp. 240–254.
- [12] Haraguchi N., Cheng C.F.C., Smeets E. The importance of manufacturing in economic development: Has this changed? *World Development*, 2017, v. 93, pp. 293–315.
- [13] Herrendorf B., Rogerson R., Valentinyi A. Growth and structural transformation. *Handbook of economic growth*, v. 2. Eds. P. Aghion, S. Durlauf. Amsterdam and New York: North Holland, 2014, pp. 855–941.
- [14] Marconi N., de Borja Reis C.F., de Araújo E.C. Manufacturing and economic development: The actuality of Kaldor's first and second laws. *Structural Change and Economic Dynamics*, 2016, v. 37, pp. 75–89.
- [15] McMillan M., Rodrik D., Sepulveda C. Structural change, fundamentals and growth: A framework and case studies. *NBER Working Paper*, 2017, no. 23378. URL: <http://www.nber.org/papers/w23378> (accessed 15.03.2022).
- [16] Oreiro J. Inconsistency and over determination in balance of payments constrained growth models: A note. *Review of Keynesian Economics*, 2016, v. 4, no. 2, pp. 193–200.
- [17] Romano L., Trau F. The nature of industrial development and the speed of structural change. *Structural Change and Economic Dynamics*, 2017, v. 42, pp. 26–37.
- [18] Romero J., McCombie J. The multi-sectoral Thirlwall's law: Evidence from 14 developed European countries using product level data. *International Review of Applied Economics*, 2016, v. 30, no. 3, pp. 301–332.
- [19] Timmer M.P., de Vries G.J., de Vries K. Patterns of structural change in developing countries. *Routledge handbook of industry and development*. Eds. J. Weiss, M. Tribe. UK and New York: Routledge, 2015, pp. 65–83.
- [20] Savitskiy A.A., Pinyagina N.B., Gorshenina N.S. *Ekonomicheskaya otsenka investitsiy lesnogo sektora* [Economic evaluation of investments in the forestry sector]. Moscow: MSFU, 2013, 618 p.
- [21] Savitskiy A.A., Pinyagina N.B., Gorshenina N.S. *Ekonomicheskaya otsenka investitsionnoy deyatel'nosti: teoriya i praktika* [Economic evaluation of investment activity: theory and practice. Workshop]. Moscow: MSFU, 2015, 176 p.
- [22] Savitskiy A.A., Pinyagina N.B., Gorshenina N.S. *Investitsionnaya deyatel'nost' v lesnom sektore. Teoriya i praktika. Praktikum* [Investment activity in the forestry sector. Theory and practice. Workshop]. Moscow: MSFU, 2015, 196 p.

- [23] Savitskiy A.A., Pinyagina N.B., Gorshenina N.S. *Otsenka ekonomicheskoy effektivnosti i finansovoy realizuemosti investitsionnykh proektov* [Assessment of economic efficiency and financial feasibility of investment projects]. Moscow: MGUL, 2015, 80 p.
- [24] Gorshenina N.S., Pinyagina N.B. *Obzor realizatsii strategicheskikh zadach razvitiya lesnogo kompleksa Rossii* [Overview of the implementation of strategic objectives for the development of the Russian forest complex]. *Lesnoy vestnik / Forestry Bulletin*, 2019, v. 23, no. 6, pp. 105–116.
- [25] Gorshenina N.S., Pinyagina N.B., Savitskiy A.A. *Perspektivy razvitiya lesnogo kompleksa Rossii* [Prospects for the development of the Russian forest complex]. LAP LAMBERT Academic Publishing RU, 2018, 156 p.
- [26] Gorshenina N.S. *Vliyaniye investitsionnykh riskov na rezul'tativnost' deyatel'nosti predpriyatiy lesnogo kompleksa Rossii* [Influence of investment risks on the performance of Russian forest complex enterprises]. *Ekonomika i predprinimatel'stvo* [Economics and Entrepreneurship], 2021, no. 3, pp. 906–910.
- [27] Gorshenina N.S., Pinyagina N.B. *Prioritetnyye napravleniya sovershenstvovaniya lesoupravleniya i lesopol'zovaniya* [Priority areas for improving forest management and forest management]. *Ekonomika i predprinimatel'stvo* [Economics and Entrepreneurship], 2019, no. 1(102), pp. 938–945.
- [28] Gorshenina N.S., Pinyagina N.B., Pinyagin S.S. *Investitsionnaya privlekatel'nost' tsellyulozno-bumazhnoy promyshlennosti Rossii i puti ee povysheniya* [Investment attractiveness of the pulp and paper industry in Russia and ways to improve it]. *Ekonomika i predprinimatel'stvo* [Economics and Entrepreneurship], 2020, no. 1, pp. 215–222.
- [29] Pinyagina N.B., Gorshenina N.S. *Issledovanie tendentsiy izmeneniya pokazateley tsellyulozno-bumazhnoy promyshlennosti po osnovnym vidam produktsii v 2021 godu* [A study of trends in the performance of the pulp and paper industry by main types of products in 2021]. *Ekonomika i predprinimatel'stvo* [Economics and Entrepreneurship], 2022, no. 1, pp. 435–448.
- [30] Moiseev N.A. *Ekonomika otrasli* [Industry economics]. Moscow: MGUL, 2008, 360 p.
- [31] Moiseev N.A., Tretyakov A.G., Treyfel'd R.F. *Lesoustroystvo v Rossii* [Forest Inventory in Russia]. Ed. N.A. Moiseev. Moscow: MSFU, 2014, 268 p.

Authors' information

Pinyagina Natal'ya Borisovna — Dr. Sci. (Economy), Professor of the BMSTU (Mytishchi branch), nbp50@yandex.ru

Gorshenina Natal'ya Stanislavovna — Cand. Sci. (Economy), Associate Professor of the BMSTU (Mytishchi branch), gorshenina2303@icloud.com

Received 17.05.2022.

Approved after review 15.07.2022.

Accepted for publication 20.09.2022.

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