

# ЛЕСНОЙ ВЕСТНИК / FORESTRY BULLETIN

Научно-информационный журнал

№ 1 '2026 Том 30

## Главный редактор

**Санаев Виктор Георгиевич**, д-р техн. наук, профессор,  
Мытищинский филиал (МФ) МГТУ им. Н.Э. Баумана, Москва

## Редакционный совет

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

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

**Беляев Михаил Юрьевич**, д-р техн. наук, начальник отдела,  
зам. руководителя НТЦ РКК «Энергия» им. С.П. Королёва, Москва  
**Бемманн Альбрехт**, профессор, Дрезденский технический  
университет, Институт профессуры для стран Восточной Европы,  
Германия

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

**Бугаёв Александр Степанович**, академик РАН, д-р физ.-мат. наук,  
Московский физико-технический институт (национальный  
исследовательский университет), Москва

**Бурмистрова Ольга Николаевна**, д-р техн. наук, профессор,  
Ухтинский государственный технический университет

**Говедар Зоран**, член-корреспондент Академии наук и искусств  
Республики Сербской (АНИРС), профессор, доктор с.-х. наук,  
Университет г. Баня Лука, Республика Сербская, Босния и Герцеговина

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

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

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

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

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

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

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

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

**Ковачев Атанас**, д-р архитектуры, профессор, член-корр.  
Болгарской АН, профессор Международной Академии  
Архитектуры, Иностранный член Российской академии  
архитектуры и строительных наук (РААСН), Почетный профессор  
Московского архитектурного института (Государственной  
академии), Варненский свободный университет им. «Черноризца  
Храбра», Варна, Болгария.

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

**Комаров Евгений Геннадиевич**, д-р техн. наук, профессор,  
МФ 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

**Лу Хайбао**, д-р, профессор, заместитель директора Национальной  
ключевой лаборатории науки и технологий по передовым композитам  
в особых условиях, Харбинский политехнический университет, Китай

**Лукина Наталья Васильевна**, член-корреспондент РАН,  
профессор, директор ЦЭПЛ РАН, зам. Председателя Научного  
совета по лесу РАН, Москва

**Макуев Валентин Анатольевич**, д-р техн. наук, доцент,  
МФ МГТУ им. Н.Э. Баумана, Москва

**Малашин Алексей Анатольевич**, д-р физ.-мат. наук, профессор,  
МФ МГТУ им. Н.Э. Баумана, Москва

**Мартынюк Александр Александрович**, академик РАН,  
д-р с.-х. наук, ФБУ ВНИИЛМ, Москва

**Мелехов Владимир Иванович**, д-р техн. наук, профессор,  
академик РАЕН, САФУ им. М.В. Ломоносова, Архангельск

**Моисеев Александр Николаевич**, ст. науч. сотр., Европейский  
институт леса, г. Йозенсуу, Финляндия

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

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

**Павленко Александр Николаевич**, член-корреспондент РАН,  
д-р физ.-мат. наук, профессор, Институт теплофизики имени  
С.С. Кутателадзе СО РАН, Новосибирск

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

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

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

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

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

**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,  
МФ 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

## Научно-консультативный совет

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

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

**Липаткин Владимир Александрович**, канд. биол. наук,  
профессор, МФ МГТУ им. Н.Э. Баумана, Москва

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

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

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

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

**Щекалев Роман Викторович**, д-р с.-х. наук, СПбГЛТУ, Санкт-Петербург

Ответственный секретарь Расева Елена Александровна

Редактор Л.В. Сивай

Перевод М.А. Карпухиной

Электронная версия Ю.А. Рязжской

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 воспроизведе-  
ны полностью или частично с письменного разрешения издательства

Выходит с 1997 года

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

Дата выхода в свет 04.02.2026

Тираж 600 экз.

Заказ №

Объем 18,25 п. л.

Цена свободная

# LESNOY VESTNIK / FORESTRY BULLETIN

Scientific Information journal

No. 1 ' 2026 Vol. 30

## Editor-in-chief

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

## Editorial council

**Artamonov Dmitriy Vladimirovich**, Professor, Dr. Sci. (Tech.),  
Penza State  
**Ashraf Darwish**, Associate Professor of Computer Science, Faculty  
of Computer Science, Helwan University, Cairo, Egypt, Machine  
Intelligence Research Labs (MIR Labs), USA  
**Belyaev Mikhail Yur'evich**, Dr. Sci. (Tech.), Head of Department,  
Deputy Director of S.P. Korolev RSC «Energia», Moscow  
**Bemman Al'brekht**, Professor, the Dresden technical university,  
professorate Institute for countries of Eastern Europe, Germany  
**Besschetnov Vladimir Petrovich**, Professor, Dr. Sci. (Biol.),  
Nizhny Novgorod State Agricultural Academy, Nizhny Novgorod  
**Bugaev Aleksandr Stepanovich**, Academician of the RAS,  
Dr. Sci. (Phys.-Math.), Moscow Institute of Physics and Technology, Moscow  
**Burmistrova Olga Nikolaevna**, Professor, Dr. Sci. (Tech.),  
Ukhta State Technical University, Ukhta  
**Chubinskiy Anatoliy Nikolaevich**, Professor, Dr. Sci. (Tech.), Saint  
Petersburg State Forest Technical University, St. Petersburg  
**Chumachenko Sergey Ivanovich**, Professor, Dr. Sci. (Biol.),  
BMSTU (Mytishchi branch), Moscow  
**Deglise Xavier**, Dr. Sci. (Agric.), Academician of the IAWS,  
Academician of the French Academy of Agriculture, Nancy, France  
**Drapalyuk Mikhail Valentinovich**, Professor, Dr. Sci. (Tech.),  
Rector of VSUFT, Voronezh  
**Evdokimov Yuriy Mikhaylovich**, Professor, Ph. D. (Chemical);  
academician of the New York Academy of Sciences,  
corr. Academy of Natural Sciences, a member of the Central Board of  
Nanotechnology Society of Russia, Moscow  
**Fedotov Gennadiy Nikolaevich**, Dr. Sci. (Biol.), Lomonosov Moscow  
State University, Moscow  
**Govedar Zoran**, Corresponding member of the Academy of Sciences  
and Arts of the Republika Srpska (ASARS), Professor, Doctor of  
Forestry. University of Banja Luka, Republic Srpska, Bosnia and  
Herzegovina  
**Ivankin Andrey Nikolaevich**, Professor, Dr. Sci. (Chemical), BMSTU  
(Mytishchi branch), Moscow  
**Kiryukhin Dmitriy Pavlovich**, Dr. Sci. (Chemical), IPCP RAS,  
Chernogolovka  
**Klassen Nikolay Vladimirovich**, Ph. D. (Phys.-Math.), ISSP RAS,  
Chernogolovka  
**Kovachev Atanas**, Corresponding Member of the Bulgarian Academy  
of Sciences, Dr. Sci., Foreign member of the Russian Academy of  
Architecture and Construction Sciences (RAACN), Honorary Professor of  
the Moscow Architectural Institute (State Academy), Varna, Bulgaria  
**Kokh Nil's Elers**, Professor, the Dr. of agronomics in the field  
of forest policy, the President of IUFRO, the Center of forest  
and landscape planning of university Copenhagen, Denmark  
**Komarov Evgeniy Gennadievich**, Professor, Dr. Sci. (Tech.), BMSTU  
(Mytishchi branch), Moscow  
**Kozhukhov Nikolay Ivanovich**, Professor, Academician  
of the Russian Academy of Sciences, Dr. Sci. (Econ.),  
BMSTU (Mytishchi branch), Moscow  
**Krott Maks**, Professor of Forest polityc specialization,  
George-August-Universitet, Goettingen  
**Lu Haibao**, Dr., Tenure-track Professor, Vice Director of the National  
Key Laboratory of Science and Technology on Advanced Composites  
in Special Environments, Harbin Institute of Technology (HIT), China  
**Lukina Natalya Vasilyevna**, Corresponding Member of the RAS,  
Professor, Director of the Center for Sub-Settlement Research RAS,  
Deputy Chairperson of the Forest Research Council

**Makuev Valentin Anatol'evich**, Dr. Sci. (Tech.), Associate Professor,  
BMSTU (Mytishchi branch), Moscow  
**Malashin Alexey Anatolyevich**, Professor, Dr. Sci. (Physics  
and Mathematics), BMSTU (Mytishchi branch), Moscow  
**Martynyuk Aleksandr Aleksandrovich**, Academician of the RAS,  
Dr. Sci. (Agric.), VNIILM, Moscow  
**Melekhov Vladimir Ivanovich**, Professor, Dr. Sci. (Tech.), Academician  
of the Russian Academy of Natural Sciences, NARFU, Arkhangelsk  
**Moiseyev Aleksandr Nikolaevich**, Senior Researcher, European  
Forest Institute, Joensuu, Finland  
**Nakvasina Elena Nikolaevna**, Professor, Dr. Sci. (Agric.),  
Northern (Arctic) Federal University named after M.V. Lomonosov,  
Higher School of Natural Sciences and Technology, Arkhangelsk  
**Niemz Peter**, Prof. Dr.-Ing. habil. Dr. h.c., Prof. for Wood Physics,  
ETH Zurich (Swiss Federal Institute of Technology in Zurich;  
Eidgenossische Technische Hochschule Zurich)  
**Pasztoy Zoltan**, Dr., Ph.D., Director of Innovation Center, University  
of Sopron, Sopron, Hungary  
**Pavlenko Aleksandr Nikolaevich**, Corresponding Member of the RAS,  
Professor, Dr. Sci. (Phys.-Math.), Kutateladze Institute of Thermophysics  
of the Siberian Branch of the Russian Academy of Sciences, Novosibirsk  
**Poleshchuk Ol'ga Mitrofanovna**, Professor, Dr. Sci. (Tech.), BMSTU  
(Mytishchi branch), Moscow  
**Poluektov Nikolai Pavlovich**, Professor, Dr. Sci. (Tech.), BMSTU  
(Mytishchi branch), Moscow  
**Rodin Sergey Anatol'evich**, Professor, the Dr. Sci. (Agric.),  
ARRISMF, Moscow  
**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  
**Teodoronskiy Vladimir Sergeevich**, Professor, Dr. Sci. (Agric.),  
academician of the Russian Academy of Natural Sciences, BMSTU  
(Mytishchi branch), Moscow  
**Trichkov Neno Ivanov**, professor, Dr., Vice-Rector for Research,  
Forestry University, Sofia, Bulgaria  
**Zalesov Sergey Veniaminovich**, Professor, Dr. Sci. (Agric.), USFEU,  
Ekaterinburg  
**Zaprudnov Vyacheslav Il'ich**, Professor, Dr. Sci. (Tech.), BMSTU  
(Mytishchi branch), Moscow

## Scientific advisory council

**Kozlov Aleksandr Il'ich**, Ph. D. (Tech.), Scientific Secretary  
of the Board of «NPO IT», Korolev  
**Korol'kov Anatoliy Vladimirovich**, Professor, Dr. Sci. (Phys.-Math.),  
BMSTU (Mytishchi branch), Moscow  
**Lipatkin Vladimir Aleksandrovich**, Professor, Ph. D. (Biol.), BMSTU  
(Mytishchi branch), Moscow  
**Oblivin Aleksandr Nikolaevich**, Professor, Dr. Sci. (Tech.), Acade-  
mician of the Russian Academy of Natural Sciences and MANVSh,  
Honored worker of science and equipment of the Russian Federation,  
BMSTU, Moscow  
**Rykunin Stanislav Nikolaevich**, Professor, Dr. Sci. (Tech.), BMSTU  
(Mytishchi branch), Moscow  
**Strekalov Aleksandr Fedorovich**, Ph. D. (Tech.), JSC «Tactical Missiles  
Corporation», Korolev  
**Shchekalev Roman Viktorovich**, Dr. Sci. (Agric.), Saint Petersburg  
State Forest Technical University, St. Petersburg  
**Titov Anatoliy Matveevich**, Ph. D. (Tech.), Deputy Chief of Department,  
Scientific Secretary of the Board of MCC TSNIIIMASH, Korolev

Responsible Secretary 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@bmstu.ru

It is sent for the press 04.02.2026  
Circulation 600 copies  
Order №  
Volume 18,25 p. p.  
Price free

# СОДЕРЖАНИЕ

## БИОЛОГИЧЕСКИЕ И ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЕ АСПЕКТЫ ЛЕСНОГО ХОЗЯЙСТВА

<b>Залесов С.В., Башегуров К.А., Осипенко А.Е., Осипенко Р.А., Предеина И.В., Фомин В.В.</b> Перспективность использования золоотвалов для создания карбоновых ферм .....	5
<b>Теринов Н.Н., Терехов Г.Г.</b> Метод восстановления коренных лесов, основанный на принципах генетической лесной типологии Ивашкевича — Колесникова .....	18
<b>Попова А.Д., Коротков С.А.</b> Динамика лесных пожаров на территории Центрального федерального округа России .....	30
<b>Лежнев Д.В.</b> Средообразующие функции насаждений сосны обыкновенной ( <i>Pinus sylvestris</i> L.) .....	45
<b>Магомедова Б.М.</b> Особенности произрастания в Горном Дагестане видов рода Каркас ( <i>Celtis</i> L.) .....	62
<b>Жучков Д.В., Глазунов В.А., Третьякова А.С., Фетисов Д.М., Хриченков А.В., Бурцев А.Г.</b> Современное состояние зеленой инфраструктуры города Тюмени .....	74

## ДЕРЕВООБРАБОТКА И ХИМИЧЕСКАЯ ПЕРЕРАБОТКА ДРЕВЕСИНЫ

<b>Олиференко Г.Л., Иванкин А.Н., Устюгов А.В.</b> Количественное определение дубильных веществ в экстрактах коры хвойных пород древесины .....	89
<b>Сушко О.П., Ефимова М.В.</b> Факторно-регрессионный анализ динамики цен на продукцию лесного комплекса .....	102

## ЛЕСОИНЖЕНЕРНОЕ ДЕЛО

<b>Манянин С.Е., Калилец А.А., Беляев А.М., Клюшкин А.А., Беляков В.В., Макаров В.С.</b> Экспериментальные исследования снегоболотохода «Байкал» на шинах низкого давления с колесной формулой 6×6 .....	122
--	-----

## МАТЕМАТИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ

<b>Полещук О.М.</b> Формализация данных образовательного процесса на основе нечетких множеств разных типов .....	138
---	-----

# CONTENTS

## BIOLOGICAL AND TECHNOLOGICAL ASPECTS OF FORESTRY

<b>Zalesov S.V., Bashegurov K.A., Osipenko A.E., Osipenko R.A., Predeina I.V., Fomin V.V.</b> Perspective use of ash dump to create carbon farms .....	5
<b>Terinov N.N., Terekhov G.G.</b> Native forests restoration method based on the Ivashkevich — Kolesnikov genetic forest type science .....	18
<b>Popova A.D., Korotkov S.A.</b> Forest fire dynamics in Central Federal District of Russia .....	30
<b>Lezhnev D.V.</b> Habitat-forming functions of Scots pine ( <i>Pinus sylvestris</i> L.) .....	45
<b>Magomedova B.M.</b> Genus <i>Celtis</i> L. growth features in Mountain Dagestan .....	62
<b>Zhuchkov D.V., Glazunov V.A., Tret'yakova A.S., Fetisov D.M., Khrichenkov A.V., Burtsev A.G.</b> Current state of green infrastructure in Tyumen .....	74

## WOODWORKING AND CHEMICAL WOOD PROCESSING

<b>Oliferenko G.L., Ivankin A.N., Ustyugov A.V.</b> Evaluation of tannins in softwood bark extracts .....	89
<b>Sushko O.P., Efimova M.V.</b> Factor-regression analysis of price dynamics for timber products .....	102

## FOREST ENGINEERING

<b>Manyanin C.E., Kalilets A.A., Belyaev A.M., Klyushkin A.A., Belyakov V.V., Makarov V.S.</b> Experimental studies of snow and swamp-going vehicle «Baikal» with low-pressure tires with 6×6 wheel .....	122
--	-----

## MATH MODELING

<b>Poleshchuk O.M.</b> Educational process data formalization on basis of various fuzzy sets .....	138
---	-----

## ПЕРСПЕКТИВНОСТЬ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ЗОЛОТВАЛОВ ДЛЯ СОЗДАНИЯ КАРБОНОВЫХ ФЕРМ

С.В. Залесов✉, К.А. Башегуров, А.Е. Осипенко,  
Р.А. Осипенко, И.В. Предеина, В.В. Фомин

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

Zalesovsv@m.usfeu.ru

Представлен анализ перспектив применения золоотвалов в целях создания карбоновых ферм, ориентированных на долговременное депонирование углерода и выращивание сосновой древесины. Приведена характеристика искусственных сосновых насаждений, созданных на рекультивированном золоотвале № 1 Рефтинской ГРЭС. Описаны особенности технологии рекультивации и проведенных лесоводственных мероприятий, включая процесс нанесения слоя почвогрунта и организации ухода за культурами в первые годы после посадки, что имеет ключевое значение для их успешного роста. Представлена схема размещения постоянных пробных площадей, обеспечившая возможность получения надежных данных о росте древостоев по запасу. Установлена динамика накопления депонированного углерода в биомассе сосновых древостоев. Оценена суммарная величина запаса углерода, формируемого сосновыми насаждениями на всей площади золоотвала (11,8 тыс. т). Установлено, что сосновые насаждения в надземной фитомассе к 30-летнему возрасту накапливают в древесине 107 т/га углерода при запасае древесины 290 м<sup>3</sup>/га. Выявлено, что среднегодовой прирост древесины в сосняках на золоотвале составляет 9,7 м<sup>3</sup>/га, что существенно превышает показатели естественных сосновых насаждений на сопредельных территориях. Рассмотрены особенности противопожарного устройства карбоновой фермы на золоотвале и обоснована неприемлемость устройства минерализованных полос. Изложены предложения по снижению пожарной опасности, включая прикатывание травы, обязательную обрезку нижних сучьев и организацию оперативного контроля за состоянием растительного покрова. Сделан вывод о высокой перспективности техногенных ландшафтов для решения задач климатической политики и развития лесных проектов по депонированию углерода.

**Ключевые слова:** нарушенные земли, золоотвалы, рекультивация, лесные культуры, сосна обыкновенная, депонирование углерода, карбоновые фермы

**Ссылка для цитирования:** Залесов С.В., Башегуров К.А., Осипенко А.Е., Осипенко Р.А., Предеина И.В., Фомин В.В. Перспективность использования золоотвалов для создания карбоновых ферм // Лесной вестник / Forestry Bulletin, 2026. Т. 30. № 1. С. 5–17. DOI: 10.18698/2542-1468-2026-1-5-17

В последние десятилетия наблюдаются процессы глобального изменения климата и связанные с ним политические процессы [1–3]. По данным работы [4], среднегодовая температура воздуха в Северном полушарии до середины XIX — начала XX вв. была отрицательной. Высокие темпы индустриализации и увеличение количества сжигаемых полезных ископаемых обусловили увеличение выбросов в атмосферу диоксида углерода и формирование в ней парниковых газов. Начиная с середины XX в. среднегодовая температура воздуха имеет положительное значение и стремительно увеличивается.

Большое значение для температурного баланса имеют лесные экосистемы, поскольку они поглощают парниковые газы, что замедляет

рост положительных значений среднегодовой температуры воздуха. Основную часть диоксида углерода поглощают древесные растения, которые в процессе фотосинтеза аккумулируют углерод в древесине [5–9].

В соответствии со Стратегией социально-экономического развития Российской Федерации с низким уровнем выбросов парниковых газов до 2050 года [10] предусмотрено увеличение поглощающей способности управляемых экосистем более чем в 2,2 раза: с 535 в настоящее время до 1200 млн т CO<sub>2</sub>-эквивалента к 2050 г. Уральским государственным лесотехническим университетом, оперативно интенсифицировавшим научную работу по данному направлению, заложено несколько новых карбоновых полигонов и ферм [11–13].

Основная цель карбоновых ферм заключается в создании растительных ассоциаций, обеспечивающих максимальное поглощение

диоксида углерода из атмосферного воздуха в процессе фотосинтеза и депонирование углерода в своих тканях. При этом следует учитывать, что значительный объем углерода, задепонированного травянистой растительностью уже на следующий год вновь поступает в атмосферу в виде диоксида углерода в результате разложения растительных остатков, и лишь незначительная часть остается задепонированной на несколько лет, поскольку формирует гумусовый горизонт почвы. В отличие от степной зоны в таежной зоне, где доминирует подзолистый тип почвообразования [14], формирование гумусового горизонта затруднено вследствие промывного режима, следовательно, доля депонирования углерода травянистыми сообществами относительно невелика.

Иная картина складывается в древесных насаждениях. Деревья депонируют углерод в своих тканях на достаточно длительный срок. В частности, продолжительность жизни дуба черешчатого (*Quercus robur* L.) превышает 1000 лет, сосны сибирской (*Pinus sibirica* Du Tour.) — 600, сосны обыкновенной (*Pinus sylvestris* L.) — 300 лет и т. д. [15]. Кроме того, после достижения деревьями количественной или технической спелости их можно использовать для получения пиломатериалов, плит, различного рода конструкций, что увеличивает продолжительность консервации в древесине углерода на неопределенно длительный период. Другими словами, создание карбоновых ферм на основе лесных культур в полной мере решает задачу депонирования углерода из атмосферного воздуха на длительный срок.

Создание карбоновых ферм на основе лесных культур имеет свои проблемы. Прежде всего, необходимы площади, которые требуется изъять из сельскохозяйственного пользования, что может привести к сокращению объемов получаемой сельскохозяйственной продукции, крайне нежелательному, как в экономическом, так и в социальном аспектах.

Создание карбоновых ферм на землях лесного фонда не актуально, поскольку на лесопригодных почвах уже произрастает или должна произрастать древесная растительность, что обусловлено нормативно-правовыми документами и, в частности, постановлением о компенсационном лесовосстановлении [16].

В частности, лесопользователь, арендующий участок лесного фонда в целях заготовки древесины, обязан обеспечить лесовосстановление на вырубке в кратчайшие сроки искусственным, комбинированным или естественным (мерами содействия) способами. Достаточно успешно естественным способом восстанавливаются гари, а в

случае сложности формирования на них молодых насаждений за счет самосева, передаются для компенсационного лесовосстановления организациям, учреждениям, частным лицам, которые вырубали насаждения в процессе прочих рубок, т. е. при расчистке площадей под линейные и площадные объекты. Другими словами, цель лесовосстановления на территориях лесного фонда отличается от цели, преследуемой при создании карбоновых ферм. Все создаваемые на не покрытых лесной растительностью землях насаждения, не зависимо от способа, в процессе фотосинтеза будут депонировать углерод из атмосферного воздуха.

Создание карбоновых ферм на землях поселений невозможно по причине их целевого назначения.

Таким образом, возможности плантационного выращивания древостоев на карбоновых фермах можно считать весьма ограниченными. Однако в большинстве субъектов Российской Федерации имеются значительные площади нарушенных земель, требующих проведения мероприятий по их рекультивации. Это дорогое мероприятие, но крайне необходимое, поскольку игнорирование нарушенных земель приводит к ухудшению экологической ситуации в том или ином регионе.

К настоящему времени накоплен значительный опыт в сфере рекультивации нарушенных земель. Среди основных направлений рекультивации можно отметить сельскохозяйственное, заключающееся в преобразовании нарушенных земель в пашни, сенокосы, пастбища в целях получения сельскохозяйственной продукции.

Рыбохозяйственное направление применимо при наличии карьеров, которые после заполнения водой можно использовать для разведения рыбы. Кроме того, карьерные выемки могут служить противопожарными водоемами.

Некоторые участки нарушенных земель используются под строительство линейных и площадных объектов, а также в рекреационных целях для обеспечения отдыха населения. Однако основным направлением рекультивации нарушенных земель является лесохозяйственное [17], т. е. выращивание на нарушенных ранее землях древесных насаждений.

Полагаем, что именно нарушенные земли могут быть основными для создания на них карбоновых ферм, что обеспечит не только депонирование значительных объемов углерода из атмосферного воздуха, но и решит задачи рекультивации, поскольку абсолютное большинство нарушенных земель было ранее изъято из лесного фонда. Создание карбоновых ферм повышает лесистость территории и улучшает экологическую обстановку в регионе.

Кроме того, создание карбоновых ферм на нарушенных землях связано с проблемой выбора древесных пород для лесовыращивания. Известно, что интегральным показателем экологического значения древесных насаждений является прирост древесины [18]. Именно прирост определяет объем выделяемого в процессе фотосинтеза кислорода и депонирования углерода. Логично, что при создании карбоновых ферм целесообразно использовать быстрорастущие древесные породы. Хотя это не всегда реально, поскольку значительный прирост древесины большинства быстрорастущих видов формирует только на высокотрофных почвах, обладающих высоким потенциальным плодородием. При рекультивации нарушенных земель невозможно гарантировать высокое плодородие почв, поскольку поверхность нарушенных земель представлена преимущественно не почвой, а материнской породой или отходами переработки полезных ископаемых.

Исходя из изложенного выше, для создания карбоновых ферм целесообразно использовать быстрорастущие местные виды древесных растений с низкими требованиями к плодородию почвы. В условиях Урала к таким видам относят сосну обыкновенную (*P. sylvestris* L.), которая даже в неблагоприятных лесорастительных условиях способна создавать высокопроизводительные устойчивые насаждения [19]. Некоторые ученые отмечают, что лучшая почва для сосны — это ее отсутствие.

Наряду с сосной обыкновенной можно использовать березу повислую (*Betula pendula* Roth) и березу пушистую (*B. pubescens* Ehrh.), различные виды рода ив (*Salix* L.) и др. Выбор древесной породы зависит от физико-химического состава и влажности грунтов на каждом конкретном участке нарушенных земель.

При создании карбоновых ферм на нарушенных землях существенно проще поддается анализу объем депонируемого растительностью углерода, поскольку его депонирование начинается практически с нуля. На карбоновой ферме углерод консервируется не только надземными и подземными частями древесной растительности, но и другими компонентами формируемого насаждения, т. е. живым напочвенным покровом и подлеском. Кроме того, опад будет способствовать созданию лесной подстилки и гумусового горизонта, которых на нарушенных землях в момент создания карбоновых ферм просто не было. Другими словами, общий объем задепонированного растительностью углерода за какой-то временной период

будет равен сумме углерода, содержащегося в древесине, травянистой растительности, точнее в нижних ярусах растительности и в почве.

К сожалению, на Урале до последнего времени карбоновые фермы не создавались и практически отсутствуют публикации о депонировании углерода при создании лесных насаждений в процессе рекультивации нарушенных земель. При этом за последние десятилетия накоплен значительный опыт реализации лесохозяйственного направления рекультивации на различных видах нарушенных земель [20–24]. В процессе исследований нами предпринята попытка проанализировать объемы депонирования углерода в древесине при лесохозяйственном направлении рекультивации в целях определения перспективности создания карбоновых ферм на золоотвалах.

## Цель работы

Цель работы — определение перспективности создания карбоновых ферм на золоотвалах в Средне-Уральском таежном лесном районе.

## Объекты и методы исследования

Объектом исследований были выбраны искусственные насаждения сосны обыкновенной, произрастающие на рекультивированном золоотвале Рефтинской ГРЭС. Выбор золоотвала в качестве объекта для изучения перспективности создания карбоновых ферм обосновывается наличием такого вида нарушенных земель вблизи всех электростанций, работающих на твердом топливе, а также успешным опытом создания на золоотвалах лесных насаждений [25–29].

В процессе проведения рекультивационных работ на выровненную поверхность золоотвала был нанесен слой почвогрунта (вскрышных пород) толщиной 20...30 см. После выравнивания насыпного слоя на золоотвале создали чистые лесные культуры сосны обыкновенной (*Pinus sylvestris* L.).

Посадка проводилась двухлетними сеянцами с открытой корневой системой в весенний период частично под меч Колесова, но в основном механизировано с использованием лесопосадочной машины.

В целях снижения потенциальной пожарной опасности создаваемых искусственных сосновых насаждений выполнялось прикатывание живого напочвенного покрова в междурядьях сразу после дождя катком-осветлителем, что способствовало перегниванию части растений и формированию лесной подстилки.



**Рис. 1.** Искусственное сосновое насаждение на золоотвале Рефтинской ГРЭС  
**Fig. 1.** Artificial pine plantation at the Reftinskaya GRES power plant ash dump

Кроме того, по мере роста лесных культур осуществлялась обрезка нижних ветвей у деревьев в целях недопущения перехода потенциального низового пожара в верховой. Срезанные сучья собирались в кучи на безлесных участках и сжигались в пожароопасный период, что способствовало уменьшению напочвенных горючих материалов. Обрезка нижних ветвей и их ликвидация способствовали созданию паркового ландшафта с хорошей просматриваемостью, что обеспечивало привлекательные условия для рекреантов.

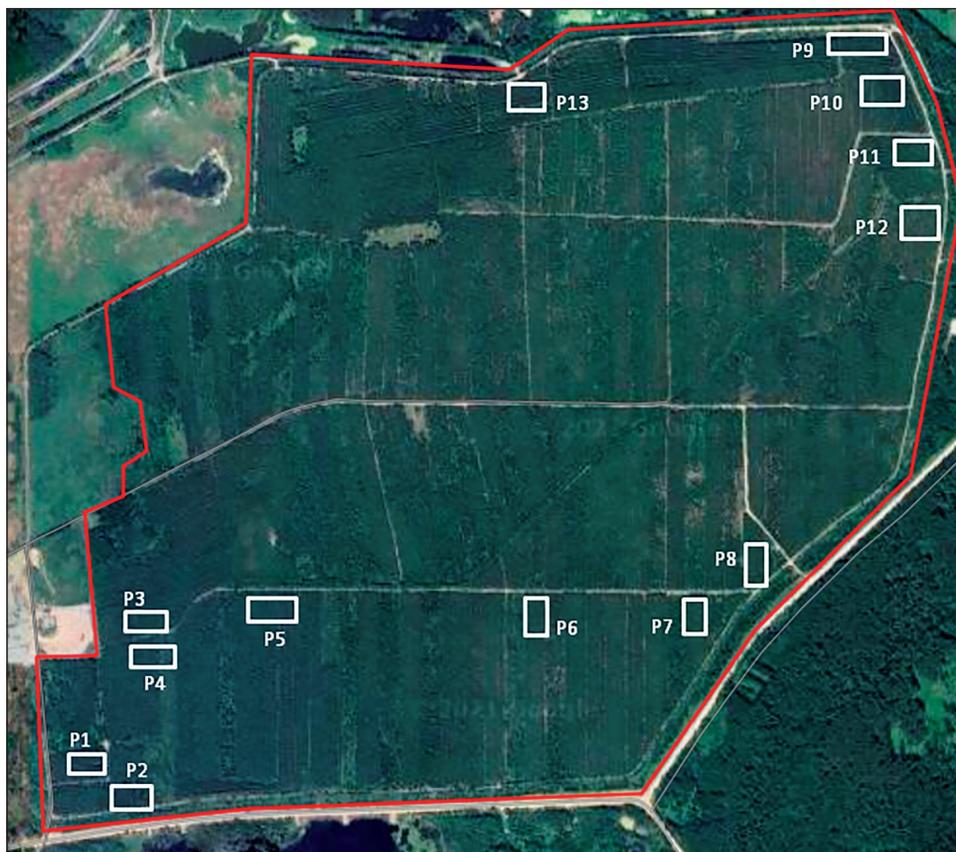
Повышенные меры пожарной безопасности объясняются возвышенным расположением золоотвала относительно окружающей местности, что способствует приходу пожаров с сопредельных территорий. Кроме того, снег на золоотвале сходит раньше, чем на прилегающих территориях, и напочвенные горючие материалы высыхают также быстрее, что обеспечивает на золоотвале увеличение продолжительности пожароопасного сезона. Кроме того, рекреационная привлекательность золоотвала обуславливает приток большого количества рекреантов, что приводит резкому росту потенциальных источников огня, а следовательно, и опасности возникновения пожаров. Не следует забывать, что насаждения на золоотвале

представлены чистыми сосняками, которые, как известно, характеризуются повышенной пожарной опасностью.

Лесные культуры сосны обыкновенной на золоотвале были созданы по единой технологии и одинаковым посадочным материалом в различные годы, что произвольно сформировало условия для анализа динамики основных таксационных показателей искусственных сосновых насаждений и, в частности, запаса древостоев.

В основу настоящих исследований положен метод закладки постоянных пробных площадей (ППП) в типичных местах в пределах таксационного выдела. Форма ППП, как правило, прямоугольная, размер варьировал от 0,21 до 0,30 га с таким расчетом, чтобы на каждой ППП было не менее 500 деревьев сосны обыкновенной. На всех ППП проводился сплошной перебор деревьев с измерением диаметров стволов мерной вилкой на высоте 1,3 м от поверхности земли.

Замер высоты деревьев выполняли у 20...25 деревьев с различным диаметром ствола пропорционально представительству каждой ступени толщины. Средняя высота дерева определялась графическим способом, средний таксационный диаметр ствола — через сумму площадей сечений [30–31]. Для определения



**Рис. 2.** Схема расположения пробных площадей на рекультивированном золоотвале: красной линией обозначен периметр участка рекультивированного золоотвала, занятого искусственными сосновыми насаждениями; белыми прямоугольниками обозначены примерные границы заложённых ППП; P1–P13 — код ППП

**Fig. 2.** Layout of sample plots at the reclaimed ash dump: the red line indicates the perimeter of the reclaimed ash dump area occupied by artificial pine plantations; the white rectangles indicate the approximate boundaries of the established PPP; P1–P13 are the PPP codes

запаса древостоя использовались таблицы объемов стволов в коре различных древесных пород [32].

Исследования на ППП выполняли в два этапа. В 2011 г. ППП в искусственных сосновых насаждениях, сформировавшихся на золоотвале, были заложены А.А. Териним под руководством профессора С.В. Залесова. В 2021 г. указанные ППП были восстановлены и дополнительно были заложены ППП в насаждениях других возрастов в целях установления динамики таксационных показателей. В настоящей работе в ходе анализа использовались данные ППП, полученные в ходе исследований А.А. Теринова, а также данные повторных исследований на ППП, заложённых А.А. Териновым, и новых ППП, заложённых авторами настоящей статьи.

Золоотвал № 1 Рефтинской ГРЭС находится на северо-востоке от пгт Рефтинский. Территория золоотвала относится к Сухоложскому

лесничеству Свердловской области. Площадь золоотвала до его рекультивации составляла 440 га [33]. В период с 1992 по 2005 гг. на золоотвале было создано 355 га лесных культур (преимущественно сосны обыкновенной). В настоящее время, по данным лесничества, площадь лесных культур на золоотвале составляет 352,2 га. Искусственные сосняки характеризуются Iа–II классами бонитета (рис. 1, 2).

Конверсионный коэффициент для расчета запаса углерода в биомассе древостоя по объёмному запасу древесины для сосняков золоотвала Рефтинской ГРЭС принят для молодняков, произрастающих в условиях южной тайги, как 0,370 [34].

## Результаты и обсуждение

Данные по искусственным соснякам, произрастающим на рекультивированном золоотвале № 1 Рефтинской ГРЭС, приведены в табл. 1.

Т а б л и ц а 1

**Характеристика искусственных сосняков на рекультивированном  
золоотвале № 1 Рефтинской ГРЭС**

**Characteristics of artificial pine plantations at the reclaimed ash dump No. 1 at the Reftinskaya GRES power plant**

Код ППП	Год посадки	Площадь, га	Год наблюдения	Возраст насаждения, лет	Запас древесины		Депонированный углерод	
					м <sup>3</sup> /га	м <sup>3</sup>	т/га	т
P1	1992	1,3	2011	20	141	183	52,2	68
			2021	30	290	377	107,3	139
P2	1994	1,1	2021	28	169	186	62,5	69
P9	1996	3,2	2011	16	75	240	27,8	89
			2021	26	195	624	72,2	231
P13	1997	16,0	2011	15	88	1408	32,6	521
			2021	25	137	2192	50,7	811
P3	1998	13,0	2021	24	161	2093	59,6	774
P8	1998	3,0	2021	24	170	510	62,9	189
P7	1999	18,4	2011	13	61	1122	22,6	415
			2021	23	188	3459	69,6	1280
P6	2000	20,0	2021	22	121	2420	44,8	895
P4	2001	24,0	2021	21	168	4032	62,2	1492
P5	2001	17,0	2021	21	162	2754	59,9	1019
P12	2002	13,0	2011	10	18	234	6,7	87
			2021	20	81	1053	30,0	390
P10	2003	31,5	2021	19	105	3308	38,9	1224
P11	2005	8,1	2011	7	3	24	1,1	9
			2021	17	68	551	25,2	204

Более подробная таксационная характеристика исследуемых лесных культур дана в работах [25, 33, 35]. На рекультивированном золоотвале ППП закладывались в том же квартале и выделе, что и в исследованиях А.А. Терина [33]. Данные были собраны авторами в 2021 г., А.А. Териним собраны данные в 2011 г.

Динамика накопления углерода в биомассе сосновых древостоев, произрастающих на рекультивированном золоотвале Рефтинской ГРЭС, представлена на рис. 3. Для аппроксимации данных использовался полином второй степени (стандартное уравнение программы Excel-2013), так как он вполне удовлетворительно справился с описанием опытных данных и показал довольно высокий коэффициент детерминации.

С помощью уравнения (см. рис. 3) и на основании данных о площади и возрасте лесных культур, созданных на рекультивированном золоотвале, нами предпринята оценка запаса

депонированного углерода на всей площади золоотвала по состоянию на 2024 г. (табл. 2). По нашей оценке, если бы исследуемые искусственные древостои полностью покрывали площадь золоотвала, то они накопили бы около 21,4 тыс. т углерода.

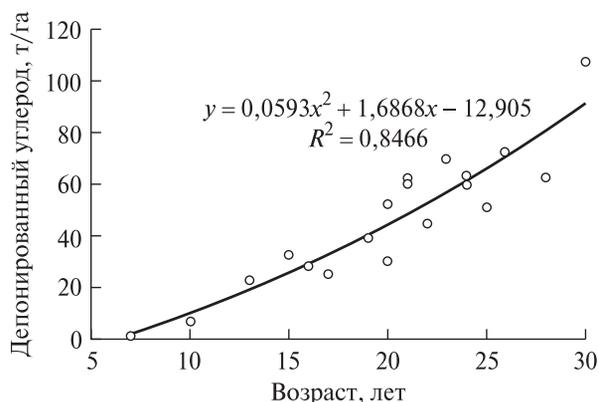
Однако в связи с тем, что большая часть лесных культур на золоотвале создавалась лентами с межленточными пространствами, приблизительно равными ширине лент культур, сосновые древостои покрывают около 55...60 % площади, на которой создавались лесные культуры. Межленточные пространства лесных культур заросли естественным путем кустарниковыми (преимущественно облепихой, ивой) и древесными (сосной, березой, осинкой и др.) породами. Таким образом, с учетом неравномерности распределения растительности необходимо скорректировать полученную нами оценку запаса углерода в фитомассе искусственных сосновых древостоев до 11,8 тыс. т.

Анализируя накопленный опыт по рекультивации золоотвалов, можно отметить, что сосновые насаждения, сформировавшиеся на золоотвале к 30-летнему возрасту накапливают запас 290 м<sup>3</sup>/га стволовой древесины. Это позволяет рекомендовать проведение не полосной, а сплошной рекультивации золоотвала, поскольку затраты окупятся в будущем за счет реализации выращенной и востребованной на рынке сосновой древесины. Особо следует отметить, что среднегодовой прирост древесины в насаждениях на золоотвале составляет 9,7 м<sup>3</sup>/га, что значительно превышает аналогичный показатель в естественных сосновых насаждениях, произрастающих на сопредельных с золоотвалом территориях.

Создание карбоновых ферм на золоотвалах полностью соответствует лесохозяйственному направлению рекультивации и требованиям компенсационного лесоразведения, а следовательно, может компенсировать изъятие земель под создание новых золоотвалов и других линейных и площадных объектов, для создания которых требуется удаление древесно-кустарниковой растительности. Кроме того, мировая общественность, озабоченная наблюдающимся изменением климата, пытается найти способы минимизации выброса парниковых газов в атмосферу. Поскольку основной причиной изменения климата является накопление в атмосферном воздухе парниковых газов, в том числе диоксида углерода, вводится понятие углеродной единицы, выражаемой в СО<sub>2</sub>-эквивалента в тоннах (т СО<sub>2</sub>-эквивалент). Предприятия, обеспечивающие депонирование в своей продукции углерода из атмосферного воздуха вправе продавать полученные углеродные единицы другим предприятиям, которые выбрасывают в атмосферу диоксид углерода, или компенсировать углеродными единицами выбросы своего предприятия.

Поскольку при создании карбоновых ферм на золоотвалах в процессе фотосинтеза растений изымается из атмосферного воздуха углерод и депонируется в древесине на неопределенно длительный срок сначала в древесине растущих деревьев, а затем в продукции ее переработки, предприятие, создавшее карбоновую ферму, может реализовать полученные углеродные единицы и получить дополнительный доход или компенсировать ущерб, наносимый природе в результате промышленных выбросов.

Полученные данные наглядно свидетельствуют о перспективности создания карбоновых ферм на бывших золоотвалах. При этом при техническом этапе рекультивации зола покры-



**Рис. 3.** Динамика накопления углерода в биомассе сосновых древостоев, произрастающих на рекультивированном золоотвале

**Fig. 3.** Dynamics of carbon accumulation in the biomass of pine stands growing at the reclaimed ash dump

вается слоем вскрышных пород или почвогрунта толщиной 20...30 см, после чего проводится посадка лесных культур сосны обыкновенной двухлетними сеянцами с применением лесопосадочных машин. Агротехнический уход чаще всего не требуется, поскольку накопление живого напочвенного покрова протекает медленно [36]. Лесоводственный уход также не требуется, так как самосев лиственных пород не является конкурентом созданным лесным культурам.

Последующее разрастание живого напочвенного покрова и подлеска благотворно влияет на формирование лесной подстилки и почвы, что также является направлением депонирования углерода.

При создании карбоновых ферм сосны обыкновенной на золоотвалах следует учитывать необходимость создания эффективного противопожарного устройства. Золоотвалы представляют собой, как правило, плоские возвышения над окружающей территорией. Здесь изначально высыхают напочвенные материалы, отличающиеся высокой горючестью, создавая опасность возникновения пожара. Кроме того, накопление сухой травы в весенний и осенний периоды, низкоопущенные кроны деревьев сосны при рядовой посадке и возвышенное положение золоотвала придают ускорение продвижению пожара с сопредельных территорий.

При разработке проекта противопожарного устройства карбоновой фермы на золоотвале не рекомендуется проектировать прокладку минерализованных полос, что может привести к вскрытию золы и распространению пыления. Для предотвращения возможных низовых пожаров необходимо проводить полосное

Т а б л и ц а 2

## Запас углерода в биомассе сосновых древостоев (квартал 107)

## Carbon stock in the pine stands biomass (compartment 107)

Номер выдела	Площадь, га	Год посадки	Возраст, лет	Депонированный углерод (аппроксимация)	
				т/га	т
1	3,9	1997	28	80,8	315
2	3,9	1998	27	75,9	296
3	16	1997	28	80,8	1293
4	3,2	1996	29	85,9	275
5	8,6	1998	27	75,9	652
6	13	1998	27	75,9	986
7	3,7	1993	32	101,8	377
8	1,3	1992	33	107,3	140
9	0,8	1996	29	85,9	69
10	1,1	1994	31	96,4	106
11	1,5	1998	27	75,9	114
12	3	1998	27	75,9	228
13	18,4	1999	26	71,0	1307
14	2	2000	25	66,3	133
15	20	2000	25	66,3	1327
16	2,7	2000	25	66,3	179
17	4,2	1999	26	71,0	298
18	5	2000	25	66,3	332
19	24	2001	24	61,7	1482
20	17	2001	24	61,7	1049
21	5	1999	26	71,0	355
22	23	2000	25	66,3	1526
23	27	2002	23	57,3	1546
24	13	2002	23	57,3	744
25	31,5	2003	22	52,9	1667
26	52	2004	21	48,7	2531
27	4,2	2005	20	44,6	187
28	35,1	2005	20	44,6	1564
29	8,1	2005	20	44,6	361
				Итого:	21437

выкашивание травы либо прикатывание ее катком в дождливую погоду. Как показала практика, в результате трава начинает интенсивно перегнивать, что создает естественный противопожарный барьер, который легко задерживает продвижение низового пожара.

В целях недопущения развития низового пожара в верховой необходимо выполнить обрезку нижних сучьев до высоты 2...2,5 м. Обрезку следует проводить с таким расчетом, чтобы на момент обрезки сучьев необрезанной осталась

1/3 часть кроны. Срезанные сучья лучше всего измельчить в щепу с последующим размещением по площади, что ускорит формирование лесной подстилки.

### Выводы

1. Нарушенные земли, в частности золоотвалы, могут стать базовой основой для создания карбоновых ферм, поскольку при этом решается несколько задач:

– депонирование в древесине, живом напочвенном покрове и других нижних ярусах растительности, а также в создаваемой лесной подстилке и гумусовом горизонте углерода, изымаемого из диоксида углерода, содержащегося в атмосферном воздухе в результате фотосинтеза;

– обеспечение рекультивации нарушенных земель и улучшение экологической обстановки в регионе;

– создание реальной возможности обеспечения компенсационного лесоразведения.

2. Доля задепонированного углерода только в древесине надземной части искусственных 30-летних сосновых насаждений, созданных на золоотвале, достигает 107 т углерода на 1 га площади.

3. Учитывая значительные площади золоотвалов, можно констатировать, что создание на их территории карбоновых ферм позволит внести существенный вклад в решение проблемы уменьшения количества диоксида углерода в атмосферном воздухе, т. е. в реализацию принятых страной обязательств по снижению уровня парниковых газов в атмосфере.

4. При создании искусственных сосновых насаждений на золоотвалах следует предусмотреть эффективное противопожарное устройство в целях недопущения гибели формируемых насаждений от лесных пожаров.

5. Учитывая, что депонирование углерода из атмосферного воздуха будет осуществляться на карбоновых фермах не только древостоем, но и другими компонентами насаждения (подростом, подлеском, живым напочвенным покровом, внеярусной растительностью, лесной подстилкой, почвой), исследования в данном направлении следует продолжить.

## Список литературы

- [1] Иванова А.Ю., Дурманова Н.Д., Орлов М.П., Пиксендеев К.В. Битва за климат: карбоновое земледелие как ставка России: экспертный доклад / под ред. А.Ю. Иванова, Н.Д. Дурманова. М.: ИД ВШЭ, 2021. 120 с.
- [2] Желдак В.И. Функционально-целевая «карбоновая» система объектов лесоводства углерододепонирующего и углеродоконсервационного назначения: ее формирование и использование // Вестник Поволжского государственного технологического университета. Серия: Лес. Экология. Природопользование, 2022. № 4 (56). С. 47–73.
- [3] Зиновьева О.А. Правовое регулирование декарбонизации и охраны атмосферного воздуха в целях решения глобальной экологической проблемы изменения климата // Вестник Университета имени О.Е. Кутафина (МГЮА), 2022. № 5(93). С. 95–103.
- [4] Усольцев В.А. Депонирование углерода лесами Уральского региона России: (по состоянию Государственного учета лесного фонда на 2007 год). Екатеринбург: Изд-во УГЛТУ, 2018. 265 с.
- [5] Уфимцев В.И., Куприянов А.Н. Карбоновые фермы — отвалы угольных предприятий Кузбасса // Уголь, 2021. № 11. С. 56–60. DOI: 10.18796/0041-5790-2021-11-56-60.
- [6] Малыш Е.В. Ренты карбоновых ферм на землях сельскохозяйственного назначения // Региональные проблемы преобразования экономики, 2021. № 10 (132). С. 58–65.
- [7] Сабиров А. Т., Шагидуллин Р.Р., Ульданова Р.А. Программа исследования аккумуляции углерода в лесных экосистемах // Российский журнал прикладной экологии, 2023. № (4), С. 4–11.
- [8] Fox J.F., Campbell J.E., Acton P.M. Carbon sequestration by reforesting legacy grasslands on coal mining sites // Energies, 2020, v. 13, no. 23, p. 6340. <https://doi.org/10.3390/en13236340>
- [9] Umeoka N., Ohazurike N.C., Mbagwu F.N. Restoration and revegetation of abandoned ex-stone quarry lands with tree species in Southeast Nigeria // J. of Agricultural and Environmental Science Research, 2024, v. 5, no. 1, pp. 23–40. <https://hummingbirdjournals.com/jaesr/article/view/164>
- [10] Стратегия социально-экономического развития Российской Федерации с низким уровнем выбросов парниковых газов до 2050 года от 29 октября 2021 года № 3052-р. URL: <http://government.ru/docs/43708/> (дата обращения 13.12.2024).
- [11] Залесов С.В., Фомин В.В., Платонов Е.П., Годовалов Г.А., Башегуров К.А., Сураев П.Н. Полигон «Урал-карбон» (Северка) // Леса России и хозяйство в них, 2021. № 3 (78). С. 4–14.
- [12] Рогачев В.Е., Агапитов Е.М., Фомин В.В., Суханов М.П., Рогачев Л.Е. Оценка запаса углерода в древостоях карбонового полигона Свердловской области на участке «Урал-Карбон» (Северка) // Леса России и хозяйство в них, 2022. № 4(83). С. 4–9.
- [13] Осипенко А.Е., Башегуров К.А., Корчагин И.Е., Панин И.А., Осипенко Р.А., Щепляин П.В., Искендерова Е.С., Котова В.С. Характеристика древесно-кустарниковой растительности, произрастающей на Исетском гранитном карьере // Леса России и хозяйство в них, 2022. № 3. С. 39–48.
- [14] Гафуров Ф.Г. Почвы Свердловской области. Екатеринбург: Изд-во Уральского ун-та, 2008. 396 с.
- [15] Атрохин В.Г., Солодухин Е.Д. Лесная хрестоматия. М.: Лесная пром-сть, 1988. 399 с.
- [16] Об утверждении Правил осуществления лесовосстановления или лесоразведения в случае, предусмотренном частью 4 статьи 63.1 Лесного кодекса Российской Федерации, о признании утратившим силу ...: Постановление Правительства РФ от 18.05.2022 г. № 897. URL: <http://publication.pravo.gov.ru/Docement/View/0001202205200025?index=9> (дата обращения 13.12.2024).
- [17] Луганский Н.А., Лопатин К.И., Луганский В.Н. Возврат земель после нефтегазодобычи. Екатеринбург: Изд-во УГЛТУ, 2005. 62 с.
- [18] Тихонов А.С. Лесоводство. Калуга: Издательский педагогический центр «Гриф», 2005. 400 с.
- [19] Котова В.С., Корчагин И.Е., Розинкина Е.П., Петров А.И., Осипенко Р.А., Годовалов Г.А. Определенные перспективы сосны обыкновенной (*Pinus*

- sylvestris* L.) для создания карбоновых ферм // Леса России и хозяйство в них, 2023. № 3 (86). С. 4–13.
- [20] Залесов С.В., Залесова Е.С., Зарипов Ю.В., Оплетаяев А.С., Толкач О.В. Рекультивация нарушенных земель на месторождении тантал-бериллия // Экология и промышленность России, 2018. Т. 22. № 12. С. 63–67. DOI: 10.18412/1816-0393-2018-12-63-67
- [21] Бачурина А.В., Залесов С.В., Толкач О.В. Эффективность лесной рекультивации нарушенных земель в зоне влияния медеплавильного производства // Экология и промышленность России, 2020. Т. 24. № 6. С. 61–71. <https://doi.org/10.18412/1816-0395-2020-6-67-71>
- [22] Zalesov S.V., Ayan S., Zalesova E.S., Opletaev A.S. Experiences on Establishment of Scots Pine (*Pinus sylvestris* L.) Plantation in Ash Dump Sites of Refinskaya Power Plant, Russia // Alinteri Journal of Agriculture Sciences, 2020, 35 (1): xx-xx. Doi: 10/28955/alinterizbd. 696559
- [23] Махнев А.К., Уманова Н.Е., Салихова Е.Р. Особенности формирования культур ценозов на золоотвале Рефтинской ГРЭС // Биологическая рекультивация и мониторинг нарушенных земель. Екатеринбург: Изд-во Уральского ун-та, 2007. С. 478–497.
- [24] Петров А.И. Лесоводственная эффективность рекультивации дражных отвалов на Урале: дис. ... канд. с.-х. наук (спец. 4.1.6). Екатеринбург, 2025, 168 с.
- [25] Залесов С.В., Залесова Е.С., Зверев А.А., Оплетаяев А.С., Терин А.А. Формирование искусственных насаждений на золоотвале Рефтинской ГРЭС // ИзВУЗ «Лесной журнал», 2013. № 2. С. 66–73.
- [26] Haynes R.J. Reclamation and revegetation of fly ash disposal sites Challenges and research needs // J. of Environmental Management, 2009, v. 90, no 1, pp. 43–53. <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2008.07.003>
- [27] Gajić G., Djurdjević L., Kostić O., Jarić S., Mitrović M., Pavlović P. Ecological Potential of Plants for Phytoremediation and Ecorestoration of Fly Ash Deposits and Mine Wastes // Frontiers in Environmental Science, 2018, v. 6, no. article 124. <https://doi.org/10.3389/fenvs.2018.00124>
- [28] Upadhyay S.K., Edrisi S.A. Developing sustainable measures to restore fly ash contaminated lands: current challenges and future prospects // Land Degradation and Development, 2021, v. 32, no.17, pp. 4817–4831. <https://doi.org/10.1002/ldr.4090>
- [29] Jain, S., Tembhurkar, A.R. Sustainable amelioration of fly ash dumps linking bio-energy plantation, bioremediation and amendments: A review // J. of Environmental Management, 2022, v. 314, no. article 115124. <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2022.115124>
- [30] ОСТ 56-99–93 Лесные культуры. Оценка качества. М.: ВНИИЦлесресурс, 1993. 38 с.
- [31] ОСТ 56-69–83 Площади пробные лесоустroительные. Метод закладки. М.: Экология, 1992. 17 с.
- [32] Нагимов З.Я., Лысов Л.А., Коростелев И.Ф., Соколов С.В., Соловьев В.М., Фимушин Б.С., Шевелина И.В., Анчугова Г.В. Нормативно-справочные материалы по таксации лесов Урала. Екатеринбург: Изд-во УГЛУ, 2002. 160 с.
- [33] Терин А.А. Формирование лесных насаждений на мелиорированных землях в подзоне лесостепи для сосновых и березовых лесов Свердловской области: дис. ... канд. с.-х. наук. Екатеринбург, 2014. 134 с.
- [34] Об утверждении методик количественного определения объемов выбросов парниковых газов и поглощений парниковых газов: приказ Министерства природных ресурсов и экологии Российской Федерации от 27 мая 2022 года № 371. URL: <https://docs.cntd.ru/document/350962750> (дата обращения 13.12.2024).
- [35] Махнев А.К., Чибрик Т.С., Трубина М.Р., Лукина Н.В., Гебель Н.Э., Терин А.А., Еловигов Ю.И., Топорков Н.В. Экологические основы и методы биологической рекультивации золоотвалов тепловых электростанций на Урале. Екатеринбург: Изд-во УрО РАН, 2002. 356 с.
- [36] Осипенко Р.А., Осипенко А.Е., Корчагин И.Е., Зведенинова Е.В., Клинов А.С. Характеристика живого напочвенного покрова под пологом искусственных сосняков, произрастающих на рекультивированном золоотвале Рефтинской ГРЭС // J. of Agriculture and Environment, 2024. № 2 (42). Ст. 6. <https://doi.org/10.23649/JAE.2024.42.8>

## Сведения об авторах

**Залесов Сергей Вениаминович**  — д-р с.-х. наук, профессор, зав. кафедрой лесоводства, ФГБОУ ВО «Уральский государственный лесотехнический университет» (УГЛУТУ), [zalesovsv@m.usfeu.ru](mailto:zalesovsv@m.usfeu.ru)

**Башегуров Константин Андреевич** — канд. с.-х. наук, ФГБОУ ВО «Уральский государственный лесотехнический университет» (УГЛУТУ), [bashegurovka@m.usfeu.ru](mailto:bashegurovka@m.usfeu.ru)

**Осипенко Алексей Евгеньевич** — канд. с.-х. наук, доцент, ФГБОУ ВО «Уральский государственный лесотехнический университет» (УГЛУТУ), [osipenkoae@m.usfe.ru](mailto:osipenkoae@m.usfe.ru)

**Осипенко Регина Александровна** — канд. с.-х. наук, ФГБОУ ВО «Уральский государственный лесотехнический университет» (УГЛУТУ), [osipenkora@m.usfe.ru](mailto:osipenkora@m.usfe.ru)

**Предина Ирина Владимировна** — докторант, ФГБОУ ВО «Уральский государственный лесотехнический университет» (УГЛУТУ)

**Фомин Валерий Владимирович** — д-р биол. наук, доцент, ФГБОУ ВО «Уральский государственный лесотехнический университет» (УГЛУТУ), [fominvv@m.usfeu.ru](mailto:fominvv@m.usfeu.ru)

Поступила в редакцию 10.07.2025.

Одобрено после рецензирования 15.09.2025.

Принята к публикации 27.11.2025.

## PERSPECTIVE USE OF ASH DUMP TO CREATE CARBON FARMS

S.V. Zalesov<sup>✉</sup>, K.A. Bashegurov, A.E. Osipenko, R.A. Osipenko, I.V. Predeina, V.V. Fomin

Ural State Forestry University, 37, Sibirsky tract st., 620100, Ekaterinburg, Russia

Zalesovsv@m.usfeu.ru

An analysis of the prospects for using ash dump areas to establish carbon farms aimed at long-term carbon sequestration and the production of Scots pine timber is presented. Characteristics of artificial pine stands created on the reclaimed ash dump no. 1 of the Reftinskaya State District Power Plant are provided. The specific features of the reclamation technology and silvicultural measures are described, including the application of a soil cover layer and the organization of early-stage stand tending, which plays a key role in ensuring successful plantation establishment. A layout of permanent sample plots is presented, enabling the acquisition of reliable data on stand growth and timber stock. The dynamics of carbon accumulation in the biomass of pine stands are identified. The total carbon stock formed by pine plantations across the entire ash dump area (11,8 thousand tons) is estimated. It is shown that by the age of 30 years, the above-ground phytomass of pine stands accumulates 107 t/ha of carbon in wood at a timber stock of 290 m<sup>3</sup>/ha. The mean annual increment of 9,7 m<sup>3</sup>/ha in ash-dump pine stands significantly exceeds that of natural pine forests in adjacent territories. Specific aspects of wildfire protection for a carbon farm established on an ash dump are examined, and the inadmissibility of creating mineralized firebreaks on such substrates is substantiated. Recommendations to reduce fire hazard are proposed, including grass rolling, obligatory pruning of lower branches, and operational monitoring of the vegetation cover. The study concludes that technogenic landscapes offer high potential for addressing climate policy objectives and for developing forest-based carbon sequestration projects.

**Keywords:** technogenic landscapes, ash dump, reclamation, forest plantations, Scots pine, carbon sequestration, carbon farm

**Suggested citation:** Zalesov S.V., Bashegurov K.A., Osipenko A.E., Osipenko R.A., Predeina I.V., Fomin V.V. *Perspektivnost' ispol'zovaniya zolootvalov dlya sozdaniya karbonovykh ferm* [Perspective use of ash dump to create carbon farms]. *Lesnoy vestnik / Forestry Bulletin*, 2026, vol. 30, no. 1, pp. 5–17.

DOI: 10.18698/2542-1468-2026-1-5-17

### References

- [1] Ivanova A.Yu., Durmanova N.D., Orlov M.P., Piksendeev K.V. *Bitva za klimat: karbonovoe zemledelie kak stavka Rossii: ekspertnyy doklad* [Battle for the climate: carbon farming as Russia's bet: expert report]. Edi A.Yu. Ivanov, N.D. Durmanov. Moscow: Izd. dom Vysshey shkoly ekonomiki [Publishing house of the Higher School of Economics], 2021, 120 p.
- [2] Zheldak V.I. *Funktional'no-tselevaya «karbonovaya» sistema ob'ektov lesovodstva uglerododeponiruyushchego i uglerodokonservatsionnogo naznacheniya: ee formirovanie i ispol'zovanie* [Functional-target «carbon» system of forestry objects for carbon sequestration and carbon conservation purposes: its formation and use]. *Vestnik Povolzhskogo gosudarstvennogo tekhnologicheskogo universiteta. Ser: Lec. Ekologiya. Prirodopol'zovanie* [Bulletin of the Volga State Technological University. Series: Forest. Ecology. Nature Management], 2022, no. 4 (56), pp. 47–73.
- [3] Zinov'eva O.A. *Pravovoe regulirovanie dekarbonizatsii i okhrany atmosfernogo vozdukh v tselyakh resheniya global'noy ekologicheskoy problemy izmeneniya klimata* [Legal regulation of decarbonization and protection of atmospheric air in order to solve the global environmental problem of climate change]. *Vestnik Universiteta imeni O.E. Kutafina (MGYuA)* [Bulletin of the O.E. Kutafina (MSAL)], 2022, no. 5 (93), pp. 95–103.
- [4] Usol'tsev V.A. *Deponirovanie ugleroda lesami Ural'skogo regiona Rossii: (po sostoyaniyu Gosudarstvennogo ucheta lesnogo fonda na 2007 god)* [Carbon Sequestration by Forests of the Ural Region of Russia: (according to the State Forest Fund Accounting for 2007)]. Yekaterinburg: USLTU, 2018, 265 p.
- [5] Ufimtsev V.I., Kupriyanov A.N. *Karbonovye fermy — otvaly ugol'nykh predpriyatiy Kuzbassa* [Carbon Farms — Dumps of Kuzbass Coal Enterprises]. *Ugol'*, 2021, no. 11, pp. 56–60. DOI: 10.18796/0041-5790-2021-11-56-60.
- [6] Malyshev E.V. *Renty karbonovykh ferm na zemlyakh sel'skokhozyaystvennogo naznacheniya* [Carbon farm rents on agricultural lands]. [Regional problems of economic transformation], 2021, no. 10 (132), pp. 58–65.
- [7] Sabirov A.T., Shagidullin R.R., Ul'danova R.A. *Programma issledovaniya akumul'yatsii ugleroda v lesnykh ekosistemakh* [Program for studying carbon accumulation in forest ecosystems]. *Rossiyskiy zhurnal prikladnoy ekologii* [Russian J. of Applied Ecology], 2023, no. (4), pp. 4–11.
- [8] Fox J.F., Campbell J.E., Acton P.M. Carbon sequestration by reforesting legacy grasslands on coal mining sites. *Energies*, 2020, v. 13, no. 23, p. 6340. <https://doi.org/10.3390/en13236340>
- [9] Umeoka N., Ohazurike N.C., Mbagwu F.N. Restoration and revegetation of abandoned ex-stone quarry lands with tree species in Southeast Nigeria. *J. of Agricultural and Environmental Science Research*, 2024, v. 5, no. 1, pp. 23–40. <https://hummingbirdjournals.com/jaesr/article/view/164>

- [10] *Strategiya sotsial'no-ekonomicheskogo razvitiya Rossiyskoy Federatsii s nizkim urovnem vybrosov parnikovyykh gazov do 2050 goda» ot 29.10.2021 № 3052-r* [Strategy for the socio-economic development of the Russian Federation with low greenhouse gas emissions until 2050, dated October 29, 2021, no. 3052-r]. Available at: <http://government.ru/docs/43708/> (accessed 13.12.2024).
- [11] Zalesov S.V., Fomin V.V., Platonov E.P., Godovalov G.A., Bashegurov K.A., Suraev P.N. *Poligon «Ural-karbon» (Severka)* [The Ural-Carbon polygon (Severka)]. *Lesa Rossii i khozyaystvo v nikh* [Forests of Russia and their management], 2021, no. 3 (78), pp. 4–14.
- [12] Rogachev V.E., Agapitov E.M., Fomin V.V., Sukhanov M.P., Rogachev L.E. *Otsenka zapasa ugleroda v drevostoyakh karbonovogo poligona Sverdlovskoy oblasti na uchastke «Ural-Karbon» (Severka)* [Assessment of carbon stock in forest stands of the carbon polygon of the Sverdlovsk region on the Ural-Carbon site (Severka)]. *Lesa Rossii i khozyaystvo v nikh* [Forests of Russia and their management], 2022, no. 4 (83), pp. 4–9.
- [13] Osipenko A.E., Bashegurov K.A., Korchagin I.E., Panin I.A., Osipenko R.A., Shcheplyain P.V., Iskenderova E.S., Kotova V.S. *Kharakteristika drevesno-kustarnikovoy rastitel'nosti, proizrastayushchey na Isetskom granitnom kar'ere* [Characteristics of tree and shrub vegetation growing in the Isetsky granite quarry]. *Lesa Rossii i khozyaystvo v nikh* [Forests of Russia and their management], 2022, no. 3, pp. 39–48.
- [14] Gafurov F.G. *Pochvy Sverdlovskoy oblasti* [Soils of the Sverdlovsk Region]. Yekaterinburg: Publishing house of the Ural University, 2008, 396 p.
- [15] Atrokhin V.G., Solodukhin E.D. *Lesnaya khrestomatiya* [Forest anthology]. Moscow: Lesnaya prom-st' [Forestry Industry], 1988, 399 p.
- [16] *Ob utverzhdenii Pravil osushchestvleniya lesovosstanovleniya ili lesorazvedeniya v sluchae, predusmotrennom chast'yu 4 stat'yi 63.1 Lesnogo kodeksa Rossiyskoy Federatsii, o priznanii utrativshim silu ...: Postanovlenie Pravitel'stva RF ot 18.05.2022 g. № 897* [On approval of the Rules for the implementation of reforestation or afforestation in the case provided for in Part 4 of Article 63.1 of the Forest Code of the Russian Federation, on recognizing as invalid ...: Resolution of the Government of the Russian Federation of 18.05.2022, no. 897]. Available at: <http://publication.pravo.gov.ru/Document/View/0001202205200025?index=9> (accessed 13.12.2024).
- [17] Luganskiy N.A., Lopatin K.I., luganskiy V.N. *Vozvrat zemel' posle neftegazodobychi* [Return of lands after oil and gas production]. Yekaterinburg: USLTU, 2005, 62 p.
- [18] Tikhonov A.S. *Lesovodstvo* [Forestry]. Kaluga: Publishing Pedagogical Center «Grif», 2005, 400 p.
- [19] Kotova V.S., Korchagin I.E., Rozinkina E.P., Petrov A.I., Osipenko R.A., Godovalov G.A. *Opreделение perspektivnosti sosny obyknovennoy (Pinus sylvestris L.) dlya sozdaniya karbonovykh ferm* [Determining the prospects of Scots pine (*Pinus sylvestris* L.) for the creation of carbon farms]. *Lesa Rossii i khozyaystvo v nikh* [Forests of Russia and their management], 2023, no. 3 (86), pp. 4–13.
- [20] Zalesov S.V., Zalesova E.S., Zaripov Yu.V., Opletaev A.S., Tolkach O.V. *Rekul'tivatsiya narushennykh zemel' na mestorozhdenii tantal-berilliya* [Reclamation of disturbed lands at a tantalum-beryllium deposit]. *Ekologiya i promyshlennost' Rossii* [Ecology and Industry of Russia], 2018, v. 22, no. 12, pp. 63–67. DOI: 10.18412/1816-0393-2018-12-63-67
- [21] Bachurina A.V., Zalesov S.V., Tolkach O.V. *Effektivnost' lesnoy rekul'tivatsii narushennykh zemel' v zone vliyaniya medeplavil'nogo proizvodstva* [Efficiency of forest reclamation of disturbed lands in the zone of influence of copper smelting production]. *Ekologiya i promyshlennost' Rossii* [Ecology and Industry of Russia], 2020, v. 24, no. 6, pp. 61–71. <https://doi.org/10.18412/1816-0395-2020-6-67-71>
- [22] Zalesov S.V., Ayan S., Zalesova E.S., Opletaev A.S. Experiences on Establishment of Scots Pine (*Pinus sylvestris* L.) Plantation in Ash Dump Sites of Reftinskaya Power Plant, Russia. *Alinteri Journal of Agriculture Sciences*, 2020, 35 (1): xx-xx. Doi: 10/28955/alinterizbd.696559
- [23] Makhnev A.K., Umanova N.E., Salikhova E.R. *Osobennosti formirovaniya kul'tur tsenozov na zoolotvale Reftinskoy GRES* [Features of the formation of cenosis cultures on the ash dump of the Reftinskaya GRES]. *Biologicheskaya rekul'tivatsiya i monitoring narushennykh zemel'* [Biological reclamation and monitoring of disturbed lands]. Ekaterinburg: Ural University Press, 2007, pp. 478–497.
- [24] Petrov A.I. *Lesovodstvennaya effektivnost' rekul'tivatsii drazhnykh otvalov na Urale* [Silvicultural efficiency of dredging dump reclamation in the Urals]. Diss. Cand. Sci. (Agric.). Ekaterinburg, 2025, 168 p.
- [25] Zalesov S.V., Zalesova E.S., Zverev A.A., Opletaev A.S., Terin A.A. *Formirovanie iskusstvennykh nasazhdeniy na zoolotvale Reftinskoy GRES* [Formation of artificial plantations on the ash dump of the Reftinskaya GRES]. *Russian Forestry J.*, 2013, no. 2, pp. 66–73.
- [26] Haynes R.J. Reclamation and revegetation of fly ash disposal sites Challenges and research needs. *J. of Environmental Management*, 2009, v. 90, no 1, p. 43–53. <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2008.07.003>
- [27] Gajić G., Djurdjević L., Kostić O., Jarić S., Mitrović M., Pavlović P. Ecological Potential of Plants for Phytoremediation and Ecorestoration of Fly Ash Deposits and Mine Wastes. *Frontiers in Environmental Science*, 2018, v. 6, no. article 124. <https://doi.org/10.3389/fenvs.2018.00124>
- [28] Upadhyay S.K., Edrisi S.A. Developing sustainable measures to restore fly ash contaminated lands: current challenges and future prospects. *Land Degradation and Development*, 2021, v. 32, no.17, pp. 4817–4831, <https://doi.org/10.1002/ldr.4090>
- [29] Jain, S., Tembhurkar, A.R. Sustainable amelioration of fly ash dumps linking bio-energy plantation, bioremediation and amendments: A review. *J. of Environmental Management*, 2022, v. 314, no. article 115124. <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2022.115124>
- [30] OST 56-99-93 *Lesnye kul'tury. Otsenka kachestva* [Forest crops. Quality assessment]. Moscow: VNIITslesresurs, 1993, 38 p.

- [31] OST 56-69-83 *Ploshchadi probnyye lesoustroitel'nye* [Forest management trial areas. Method of laying out]. Moscow: Ecology, 1992, 17 p.
- [32] Nagimov Z.Ya., Lysov L.A., Korostelev I.F., Sokolov S.V., Solov'ev V.M., Fimushin B.S., Shevelina I.V., Anchugova G.V. *Normativno-spravochnye materialy po taksatsii lesov Urala* [Normative and reference materials on forest taxation in the Urals]. Yekaterinburg: Ural State Forestry University, 2002, 160 p.
- [33] Terin A.A. *Formirovanie lesnykh nasazhdeniy na meliorirovannykh zemlyakh v podzone lesostepi dlya sosnovykh i berezovykh lesov Sverdlovskoy oblasti* [Formation of forest plantations on reclaimed lands in the forest-steppe subzone for pine and birch forests of the Sverdlovsk region]. Dis. Cand. Sci. (Agric.). Ekaterinburg, 2014, 134 p.
- [34] *Ob utverzhdenii metodik kolichestvennogo opredeleniya ob'emov vybrosov parnikovykh gazov i pogloshcheniy parnikovykh gazov: Prikaz Ministretva prirodnnykh resursov i ekologii Rossiyskoy Federatsii 27.05.2022 № 371* [On approval of methods for quantitative determination of greenhouse gas emissions and greenhouse gas absorption: Order of the Ministry of Natural Resources and Environment of the Russian Federation dated May 27, 2022, no. 371]. URL: <https://docs.cntd.ru/document/350962750> (accessed 13.12.2024).
- [35] Makhnev A.K., Chibrik T.S., Trubina M.R., Lukina N.V., Gebel' N.E., Terin A.A., Elovikov Yu.I., Toporkov N.V. *Ekologicheskie osnovy i metody biologicheskoy rekul'tivatsii zolootvalov teplovykh elektrostantsiy na Urale* [Ecological foundations and methods of biological reclamation of ash dumps of thermal power plants in the Urals]. Ekaterinburg: Ural Branch of the Russian Academy of Sciences, 2002, 356 p.
- [36] Osipenko R.A., Osipenko A.E., Korchagin I.E., Zvedeninova E.V., Klinov A.S. *Kharakteristika zhivogo napochvennogo pokrova pod pologom iskusstvennykh sosnyakov. proizrastayushchikh na rekultivirovannom zolootvale Reftinskoy GRES* [Characteristics of the living ground cover under the canopy of artificial pine forests growing on the reclaimed ash dump of Reftinskaya GRES]. J. of Agriculture and Environment, 2024, no. 2(42), art. 6. <https://doi.org/10.23649/JAE.2024.42.8>

## Authors' information

**Zalesov Sergey Veniaminovich**  — Dr. Sci. (Agriculture), Professor, Head of the Faculty of the Ural State Forestry University, [zalesovsv@m.usfeu.ru](mailto:zalesovsv@m.usfeu.ru)

**Bashegurov Konstantin Andreevich** — Cand. Sci. (Agriculture), Ural State Forestry University, [bashegurovka@m.usfeu.ru](mailto:bashegurovka@m.usfeu.ru)

**Osipenko Aleksey Evgen'evich** — Cand. Sci. (Agriculture), Associate Professor of the Department of Forestry, Ural State Forestry University, [osipenkoae@m.usfe.ru](mailto:osipenkoae@m.usfe.ru)

**Osipenko Regina Aleksandrovna** — Cand. Sci. (Agriculture), Ural State Forestry University, [osipenkora@m.usfe.ru](mailto:osipenkora@m.usfe.ru)

**Predeina Irina Vladimirovna** — Doctoral Student, Ural State Forestry Engineering University

**Fomin Valeriy Vladimirovich** — Dr. Sci. (Biology), Associate Professor, Ural State Forestry University, [fominvv@m.usfeu.ru](mailto:fominvv@m.usfeu.ru)

Received 10.07.2025.

Approved after review 15.09.2025.

Accepted for publication 27.11.2025.

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

## МЕТОД ВОССТАНОВЛЕНИЯ КОРЕННЫХ ЛЕСОВ, ОСНОВАННЫЙ НА ПРИНЦИПАХ ГЕНЕТИЧЕСКОЙ ЛЕСНОЙ ТИПОЛОГИИ ИВАШКЕВИЧА — КОЛЕСНИКОВА

Н.Н. Теринов<sup>✉</sup>, Г.Г. Терехов

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

n\_n\_terinov@mail.ru

Раскрыты возможности генетической лесной типологии Ивашкевича — Колесникова как теоретической основы для решения задачи по восстановлению коренных (условно-коренных) хвойных лесов. Отмечено, что этот процесс происходит только по коротко- или длительно-производному типу лесообразования. Сделан вывод, что коротко-производный тип наиболее предпочтителен по отношению к длительно-производному: он наименее продолжительный и наиболее успешен с точки зрения формирования коренного (условно-коренного) насаждения. Результаты исследования производных от ельников мягколиственных насаждениях подтвердили, что при решении задачи по восстановлению коренных (условно-коренных) темнохвойных лесов через временно преобладающую некоренную породу (через смену пород) наиболее перспективными объектами являются насаждения, формирующиеся по коротко-производному типу лесообразования. Характеризуются они как первично-производные и появляются после гибели (рубки) коренного древостоя. В этом случае решение задачи по восстановлению темнохвойного насаждения сопровождается циклом рубок трансформации. Рубки проводятся до возраста спелости производных лиственных древостоев. Срок проведения первой рубки зависит от времени заселения деревьев темнохвойных пород на вырубке или под пологом лиственных деревьев. Для их эффективного применения необходима информация о вертикальной структуре древостоя, начиная с его среднего возраста. Учету обязательно подлежат подрост и нижний ярус основных лесообразующих пород (состав, возраст, высота, количество). В результате использования предложенной системы, специально направленной на уход за темнохвойным подростом, по сравнению с существующей (рубки ухода + рубка спелого производного лиственного древостоя) повышается вероятность формирования темнохвойных насаждений, а сам этот процесс сокращается минимум на 10–15 лет.

**Ключевые слова:** направления лесообразования, смена пород, рубки трансформации, формирование темнохвойного насаждения

**Ссылка для цитирования:** Теринов Н.Н., Терехов Г.Г. Метод восстановления коренных лесов, основанный на принципах генетической лесной типологии Ивашкевича — Колесникова // Лесной вестник / Forestry Bulletin, 2026. Т. 30. № 1. С. 18–29. DOI: 10.18698/2542-1468-2026-1-18-29

Лесное насаждение характеризуется совокупностью показателей, из которых тип леса является наиболее универсальным. Этот показатель тесно связан с комплексом эдафических, гидрологических и микроклиматических природных факторов, определяющих тип лесорастительных условий (ТЛУ) для каждого лесного участка (таксационного выдела). Качество ТЛУ, в свою очередь, определяется классом бонитета. Типы леса, близкие по лесорастительным условиям и, соответственно, требующие сходных способов ведения лесного хозяйства, объединяются в группы типов леса [1]. Таким образом, по типу леса с учетом состава и возраста древостоя для каждого конкретного лес-

ного участка (таксационного выдела) можно с определенной точностью установить некоторые его характеристики, особенности протекания процесса естественного возобновления, обосновать способ ухода за лесом и технологию рубки и предложить лесовосстановительные мероприятия.

К настоящему времени в России разработаны некоторые типологии, применяемые в зависимости от природных условий и освоенности территорий [2].

Широко известна лесоэкологическая лесная типология Алексева — Погребняка, в основе которой лежит эдафическая сетка. В ней тип леса определяется в зависимости от гидрологических условий и плодородия почвы [3]. Другая лесная типология связана с именем В.Н. Сукачева и представляет собой схему

в виде эдафо-фитоценологических рядов [4]. Тип леса в ней определяется по преобладающей породе, почвенному покрову, подлеску или месту произрастания. Динамическая типология И.С. Мелехова связывает тип вырубki с исходным типом леса [5].

Для Урала, с его сложным рельефом, почвенно-гидрологическими условиями и насаждениями, неоднократно пройденными рубками, наиболее многоплановым и объективным исследованием является лесорастительное районирование лесов Свердловской области [6]. В разработке данной типологии принимала участие группа исследователей, состоящая из лесоводов, почвоведов и геоботаников, под руководством профессора Б.П. Колесникова. Она построена на географо-генетических принципах, предложенных в начале XX в. Б.А. Ивашкевичем [7]. Согласно этой типологии, тип леса определяется в зависимости от географической широты, высоты над уровнем моря и гидрологических условий территории. В свою очередь эти характеристики определяют параметры древостоя, его вертикальную и возрастную структуру на климаксовой стадии развития насаждения (коренной древостой). Важное значение в типологии уделяется особенностям лесообразовательного процесса: возможности восстановления коренных (условно-коренных) лесов через последовательность восстановительно-возрастных смен. Типологии, построенные на таких принципах, получили название *генетические*. Поскольку в генетических типологиях максимально учитывается региональная специфика, их часто называют *географо-генетическими*.

Для практического лесоводства генетический подход служит теоретической основой для сопровождения объективного процесса лесообразования хозяйственными мероприятиями. Тем не менее заложенная в нем возможность целенаправленного восстановления условно-коренных лесов через смену пород на практике не реализуется.

## Цель работы

Цель работы — выявление возможностей генетической типологии Ивашкевича — Колесникова как теоретической основы для практического применения в деле восстановления коренных (условно-коренных) лесов.

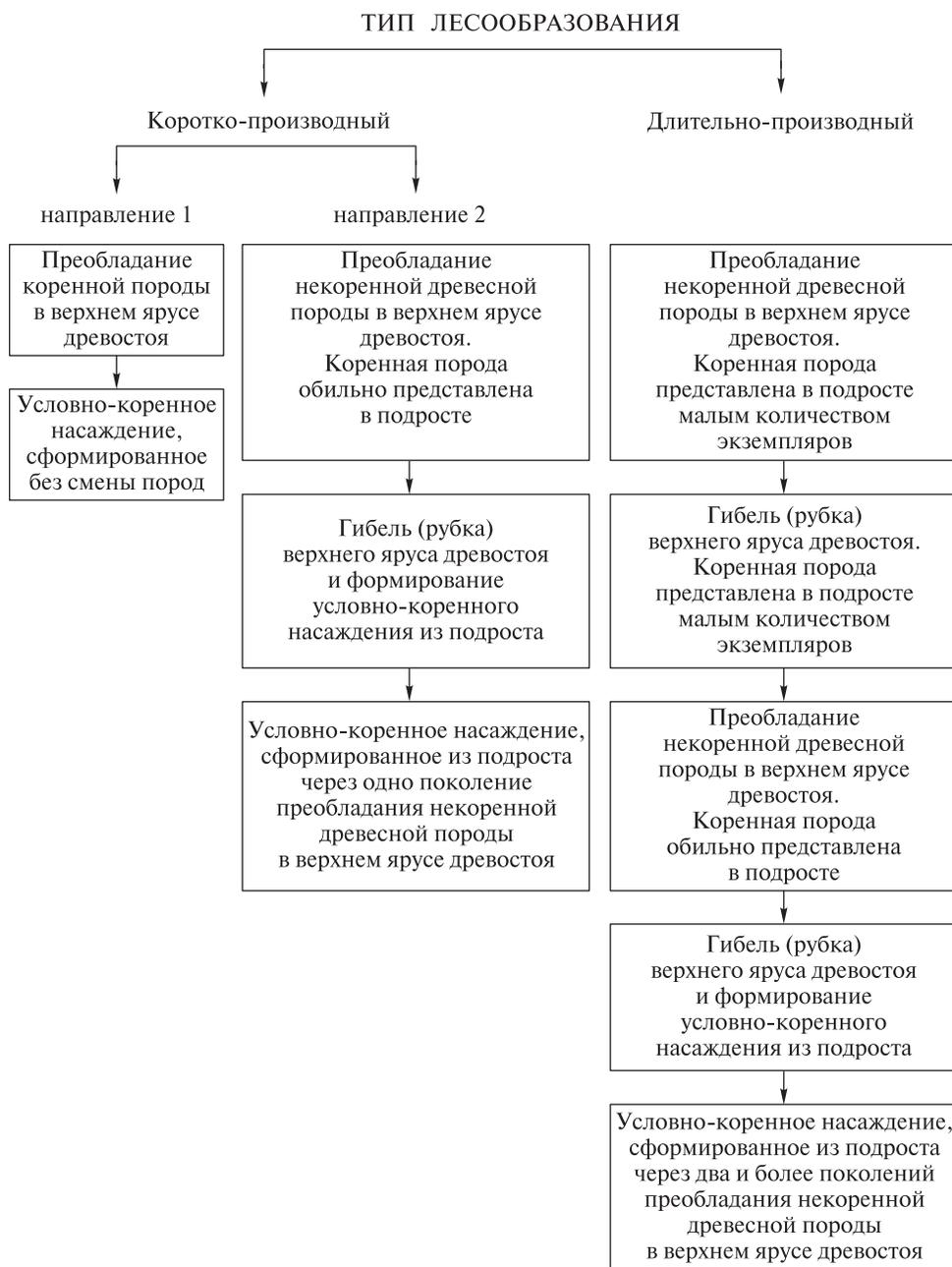
## Материалы и методы

Согласно генетической лесной типологии после рубок, ветровалов и пожаров форми-

вание условно-коренных насаждений, внешне сходных по своим таксационным характеристикам, возрастной и вертикальной структуре с коренными, происходит по коротко- или длительно-производному типу лесообразования (рис. 1). Формирование насаждения по коротко-производному типу может происходить по двум направлениям: 1) при значительном участии коренной (материнской) древесной породы в составе древостоя; 2) при обильном участии коренной древесной породы в подросте. Общим для этих двух направлений является то, что преобладание коренной породы в составе древостоя происходит за период жизни ее одного поколения. Процесс формирования условно-коренного насаждения в направлении 1 осуществляется фактически без смены пород [8]. Он не является распространенным и происходит при сохранении достаточного количества подростка предварительной генерации на вырубке или при образовании самосева на гарях, успешной его сохранности, росте и отсутствии конкуренции со стороны древесно-кустарниковой растительности. Длительность периода формирования условно-коренного насаждения по направлению 1 составляет около 150 лет. В другом направлении некоренные виды древесных пород временно преобладают в верхнем ярусе древостоя.

В силу своих видовых особенностей они в наилучшей степени соответствуют сложившимся лесорастительным условиям. На поздних стадиях онтогенеза древостоя наиболее старая его часть отмирает и в процессе формирования насаждения активно включаются молодые поколения коренных древесных пород из нижнего яруса. Длительность периода формирования условно-коренного насаждения по направлению 2 составляет около 200 лет. В реальности даже при строгом соблюдении всех лесохозяйственных регламентов под влиянием экзогенных природных (ветровалы, пожары, повреждения болезнями, насекомыми и животными) и антропогенных (рубки) факторов формирование условно-коренных насаждений в большинстве случаев происходит через смену пород [9].

При формировании насаждения по длительно-производному типу материнская порода в результате ее малого участия в составе верхнего яруса древостоя и в подросте не может обеспечить доминирование за период жизни одного поколения временно преобладающей породы. Тем не менее, возможность естественного восстановления лесного участка коренной древесной породой, пусть даже и в отдаленной перспективе, сохраняется. По отношению к коротко-производному насаждению, форми-



**Рис. 1.** Схема формирования условно-коренных лесов  
**Fig. 1.** Nominally primary forests formation scheme

рующемуся из подроста, период формирования условно-коренного насаждения по длительно-производному типу занимает еще больше времени и составляет 250 лет и более.

Таким образом, общим для обоих типов лесообразования является возможность формирования условно-коренных лесов. Различия заключаются в длительности этого периода.

При длительном произрастании производных лесов на одной и той же площади в экосистеме постепенно происходят качественные изменения, которые затрагивают весь комплекс

факторов — эдафических, гидрологических, микроклиматических и фитоценологических. Это означает, что тип лесорастительных условий будет постепенно изменяться и переходить на другой качественный уровень. В результате эксплуатация производных лесов без перспективы их восстановления в направлении условно-коренных насаждений может привести к формированию устойчиво-производных насаждений. В этих условиях восстановление коренной породы естественным способом становится невозможным.

Очередность восстановительно-возрастных смен древесной растительности является реакцией экосистемы на существенное изменение природной среды. В этот период объективно создаются специфические условия, способствующие возврату насаждения к исходному его состоянию. Это дает основание рассматривать направление формирования условно-коренных насаждений через смену пород как естественный защитный механизм, блокирующий до определенного предела процесс деградации лесных насаждений и направляющий процесс лесообразования в сторону формирования условно-коренных лесов [10]. Таким образом, формирование условно-коренных насаждений через коротко- и длительно-производные насаждения может служить теоретическим обоснованием для решения практических задач по восстановлению коренных (условно-коренных) лесов.

## Результаты и обсуждение

Лесохозяйственное производство не ставит целью доведение насаждений до состояния условно-коренного насаждения. Процесс прерывается рубкой на этапе достижения древостоями возраста спелости. После вырубki древостоя восстановление коренной древесной породы на вырубке, как указано выше, может происходить без смены породы или из подростка после удаления верхнего яруса временно сопутствующей одной или нескольких древесных пород. В этих случаях процесс осуществляется по коротко-производному типу, а состояние насаждения будет определяться как первично-производное (производное первого порядка). После рубки спелого древостоя первично-производного насаждения вновь формирующееся насаждение характеризуется как вторично-производное (производное второго порядка) и так далее, по степени удаленности производных насаждений по отношению к коренному [11]. Со вторично-производного насаждения запускается процесс формирования условно-коренного насаждения по длительно-производному типу лесообразования.

С точки зрения практического лесоводства степень производительности имеет значение при формировании лиственных насаждений. Из них первично-производное (с участием коренной хвойной породы в количестве 3 ед. и менее в составе верхнего яруса древостоя) в силу относительно небольшого периода своего существования (до возраста главной рубки) и высокого восстановительного потенциала по отношению ко вторично-производному следует считать

наиболее предпочтительным временным состоянием производных (вторичных) лесов. Как показано в некоторых работах [12–14] периода 50–60 лет (оборот рубки осиновых и березовых древостоев) достаточно, для того, чтобы произошло существенное улучшение водно-физических свойств, химического состава лесных почвы и увеличение численности подростка хвойных пород. В течение этого периода происходит наращивание демутационного потенциала насаждения. Выражается это в постепенном изменении лесорастительной среды, которая способствует успешному протеканию лесообразовательного процесса [15–20]. Например, по некоторым данным, основная часть подростка ели появляется под пологом березняков возрастом до 40 лет [21]. Это особенно важно в начальный период формирования древостоев, когда потребление минеральных элементов из почвы преобладает над их возвратом [22]. Повторное заселение вырубok лиственными породами (вторично-производное насаждение) преимущественно порослевого происхождения существенно снижает ценность деревьев и удлиняет период восстановления вырубленной площади главной, как правило, коренной хвойной породой.

Задачей лесохозяйственного производства является выращивание производительных древостоев из ценных древесных пород в максимально короткие сроки. При этом большое внимание необходимо уделять рациональному использованию демутационного (восстановительного) потенциала лесных насаждений, методам и способам сопровождения процесса лесообразования хозяйственными мероприятиями [23]. Например, созданием условий рубками ухода для роста и развития деревьев хвойных пород до возраста рубки спелого древостоя (главная рубка). В этом отношении насаждения с изначальным участием в составе древостоя 4 ед. деревьев главной породы и более, и с коротким периодом оборота рубки являются наиболее подходящими. Рубка перестройки и комплекс рубок ухода за лесом успешно решают задачи по формированию древостоев с высоким участием коренной породы в их составе.

При участии в составе молодняков от 1 до 2 ед. деревьев сосны и ели предписаны рубки сильной и очень сильной степени изреживания (40...70 % по запасу). Неоднократно вмешиваясь таким образом в естественный процесс лесообразования, появляется возможность повысить участие в составе древостоя до 4–6 ед. хвойных пород. При этом затраты могут оказаться необоснованно высокими,

а последствия, с точки зрения продуктивности насаждения и производительности древостоя к возрасту рубки, выполнения насаждением гидрологических, защитных и других природообразующих функций — неопределенными и спорными.

Представленные выше варианты формирования условно-коренных насаждений без смены пород и через переформирование мягколиственных молодняков известны, сопровождаются официальными документами и являются руководством в хозяйственной деятельности лесных предприятий [24, 25].

Существует альтернативный вариант восстановления коренной древесной растительности, основанный на развитии насаждения по коротко-производному типу через формирование первично-производного лиственного насаждения. Обеспечить динамику и устойчивость этого процесса позволяет система специализированных мероприятий, разработанная для еловых насаждений и получившая название «рубка трансформации» [26, 27]. Это, прежде всего, система рубок, направленная на целенаправленный уход за подростом ели, пихты и кедра в период до возраста рубки спелого лиственного древостоя. Период проведения цикла рубки трансформации совпадает по времени с руками ухода. Тем не менее, эти подходы имеют разные цели и, соответственно, у них разные методы.

Целью рубок ухода в такой ситуации является выращивание производительных лиственных древостоев к возрасту спелости. Метод ухода — низовой и комбинированный. Полнота древостоя после ухода — не ниже 0,7. Существенный момент: рубки ухода привязаны к возрастной стадии древостоя (прочистка осуществляется в молодняках, прореживание и проходная рубка — в средневозрастных древостоях).

Цель рубки трансформации заключается в уходе за подростом хвойных пород в период его произрастания под верхним лиственным ярусом древостоя. Метод ухода — верховой. Полнота древостоя после рубки — в интервале 0,4...0,5. Принципиально важное условие: первая рубка трансформации зависит от времени заселения коренной породы под пологом лиственного древостоя. Так, при одновременном заселении вырубке лиственными и хвойными породами, первая рубка трансформации проводится в 30-летнем возрасте подростка ели и пихты. При появлении всходов темнохвойных пород под пологом 5-летнего лиственного молодняка — в возрасте 25 лет, 10–20-летнего — в возрасте 20 лет. Если темнохвойные породы появились под пологом 25-летних деревьев березы и осины

и старше, то первая рубка трансформации осуществляется в возрасте подростка ели и пихты 15 лет. Соответственно, возраст лиственных деревьев в это время будет составлять 40 и более лет. Прослеживается закономерность: чем старше древостой, под которым произошло заселение темнохвойных пород, тем меньше их возраст, при котором назначается первая рубка трансформации.

Очередная рубка (если она необходима) проводится через 6–8 лет при активном развитии лиственных деревьев и снижении темпа роста подростка по высоте. Последняя рубка трансформации (в системе рубок она может быть единственной) является выборочной и проводится способом чересполосной постепенной или двухприемной равномерно-постепенной рубки. При равномерно-постепенной рубке в первый прием вырубается преимущественно деревья ели и пихты и наиболее развитые отдельные экземпляры березы и осины. Это позволяет существенно снизить вероятность гибели этих категорий деревьев в результате ветровала [28–30], создает благоприятные лесорастительные условия для роста и развития молодых поколений деревьев хвойных пород [31–33] и повышает их сохранность в процессе заключительного приема рубки [34].

Предлагаемая система рубок трансформации позволяет как минимум на 10–15 лет сократить период восстановления темнохвойного древостоя по сравнению с существующими методами ведения хозяйства [35]. Кроме того, применение системы рубок трансформации тесно связано с процессом естественного возобновления и предусматривает наличие подростка ели, пихты и кедра в средневозрастном или приспевающем производном березняке или осиннике. Поэтому на этих возрастных этапах при таксации насаждений следует указывать количество подростка, высоту и состав. Источником семян для появления подростка могут быть хвойные деревья в составе верхнего яруса древостоя. В системе рубок трансформации на стадии формирования лиственного молодняка предусмотрен уход за такими деревьями. Он заключается в удалении березы и осины в радиусе 1,5...2,0 м от подростка ели, пихты и кедра [36].

В ходе опытно-производственной проверки были получены практические результаты применения рубки, имитирующей последнюю рубку из цикла рубок трансформации. Формально это мероприятие не может быть отнесено к рубкам ухода или рубке спелых древостоев: имеются ограничения вследствие невысокой исходной относительной полноты и категории

Т а б л и ц а 1

**Динамика таксационных характеристик насаждения после двухприемной  
равномерно-постепенной рубки (категория лесов — защитная, водоохранная зона)**

**Dynamics of taxation characteristics of forest stand after two-stage evenly-gradual cutting  
(forest category — protective, water protection zone)**

Таксационная характеристика насаждения	До рубки	Через 8 лет после первого приема рубки	Через 4 года после заключительного приема рубки	Через 12 лет после заключительного приема рубки
Состав	3Б3Ос2Е2П	4Б4Ос2Е+П	8П2Е1Ос+Б	8П2Е+Б,Ос
Полнота	0,6	0,4	0,35	1,0
Возраст, лет	65	73	27	35
Средний диаметр, см	22	23	–	9,0
Средняя высота, м	20	21	4,9	8,0
Запас, м <sup>3</sup> /га	170	100	18	74
Класс бонитета	II	II	IV	III–IV
Подрост: состав	–	8П1Е1Ос,ед.Б	–	–
количество, тыс. экз/га	–	11,0	5,9	3,7
средняя высота, м	1,1	2,8	–	–
средний возраст, лет	15	23	–	–



**Рис. 2.** Насаждение через 12 лет после завершения рубки трансформации  
**Fig. 2.** Forest stand 12 years after completion of transformation cutting

защитности лесов. Возраст и состояние древостоя также не являются основанием для назначения выборочной санитарной рубки или рубки обновления.

Один объект (тип леса — ельник липняковый) расположен в кв. 124, выд. 3 Бардымского участкового лесничества Нижнесергинского лесничества (Свердловская область, округ широколиственно-хвойных лесов). В табл. 1 по-

мещена динамика таксационных показателей древостоя до рубки и молодняка после рубки. Рубка, выполненная равномерно-постепенным способом в два приема, формирует определенный вид участка (рис. 2). Проводимые ранее мероприятия по уходу за лесом (подтверждается невысокой исходной полнотой древостоя — 0,6) и наличие семенных деревьев темнохвойных пород способствовали созда-

Т а б л и ц а 2

**Таксационная характеристика насаждения после двухприемной  
чересполосной постепенной рубки**

**Taxation characteristics of forest stand after two-stage alternate strip cutting**

Таксационная характеристика насаждения	Перед первым приемом рубки	Через 6 лет после первого приема рубки	Через 7 лет после заключительного приема рубки
Состав	7Б2Ос1Е+С+П	7Б2Ос1Е+С+П	8Е1П1Б+С,ед.К
Полнота	0,60	0,35	0,45
Возраст, лет	70	75	55
Средний диаметр, см	28	26	17
Средняя высота, м	24	23	14
Запас, м <sup>3</sup> /га	220	120	105
Класс бонитета	II	II	II
Подрост: состав	–	10Е	4Е3П3К
количество, тыс. экз/га	–	2,0	0,6
средняя высота, м	–	2,0	2,5
средний возраст, лет	–	25	35



**Рис. 3.** Насаждения после завершения рубки трансформации  
**Fig. 3.** Forest stand after completion of transformation cutting

нию благоприятных условий для появления и роста значительного количества подроста ели и пихты. Периодическое его осветление способом равномерно-постепенной рубки, начиная с возраста 15 лет, позволило через 20 лет сформировать 35-летний высокополнотный чистый темнохвойный молодняк.

Другой объект расположен в кв. 206, выд. 1 Красноуральского участкового лесничества

Красноуральского лесничества (Свердловская область, среднетаежный округ). Рубка древостоя выполнена чересполосным постепенным способом в два приема. Таксационная характеристика древостоя в ельнике-сосняке травяном до и после рубки представлена в табл. 2, также зафиксировано состояние насаждения (рис. 3). По поводу этого объекта можно сказать следующее. Чересполосной постепенной рубке

12 лет назад предшествовала выборочная рубка, интенсивность которой (судя по относительной полноте 0,6) была завышена. В момент ее проведения возраст древостоя составлял около 60 лет, а возраст подроста, из которого через 7 лет после второго (заключительного) приема сформировался 55-летний средневозрастный ельник, — 30 лет. Подрост темнохвойных пород появился в 30-летнем производном березняке. Первую, единственную и, соответственно, двухприемную рубку трансформации (с периодом между приемами 8 лет) необходимо было провести при 15-летнем возрасте подроста и возрасте деревьев мягколиственных пород около 45 лет. В этом случае в результате полной вырубki деревьев лиственных пород в возрасте 55 лет сформировался бы еловый древостой (молодняк) возрастом около 25 лет, т. е. на 20 лет раньше, чем это фактически произошло на рассмотренном объекте.

Генетическая лесная типология была успешно внедрена в практику лесоустройства в ряде регионов Урала и Западной Сибири [37]. Разрабатываемые гораздо позднее зарубежными исследователями модели состояния и перехода (State and Transition Models — STM) природных экосистем в рамках классификации «Экологическое описание участков» (Ecological Site Description — ESD) [38] для лесных экосистем близки по сути к отображению лесообразовательного процесса Ивашкевича — Колесникова. Определение насаждения в российской лесной науке и определение экологического участка (Ecological Site — ES) сходны и на практике реализуются в понятии таксационного выдела. Экологическое состояние участка можно рассматривать как сукцессию — переходный этап в восстановлении коренных лесов. Авторы рекомендуют при определении состояния экологического участка включать легкодоступные показатели почвы и растительности. Ранее в России при определении типа леса при таксации насаждения уже практиковались почвенные прикопки с описанием верхних генетических горизонтов почвы, описывались виды травянистых растений-индикаторов и проектное покрытие дикорастущих ягодников в напочвенном покрове. Эталонное базовое состояние экологического участка определялось в таксационном описании показателем коренного типа леса. Информация о текущем, возможно, альтернативном состоянии растительного сообщества на участке отражена в показателе состава (соотношения) древесных пород по ярусам, их среднему возрасту, высоте, диаметре ствола полноте и запасу. Также указываются характеристики подроста и особенности его размещения по площади таксационного выдела.

Другими словами, в России еще в 1970-е годы были реализованы основные принципы управления лесами, основанные на участковом методе таксации при лесоустройстве. Полная информация о лесорастительных условиях, потенциальных возможностях лесного участка и реальной ситуации подвергалась анализу, хранилась и обновлялась каждые 10 лет. На ее основе составлялся проект, по которому осуществлялась хозяйственная деятельность предприятия вплоть до очередного лесоустройства. К сожалению, по некоторым объективным и субъективным причинам, далеко не все результаты научно-исследовательских работ тогда и сейчас реализуются на практике. Многие разработки носят рекомендательный характер и не являются обязательными при планировании хозяйственной деятельности предприятий. Нередко они могут противоречить официальным документам по лесопользованию.

## Выводы

1. Предлагаемое решение проблемы по восстановлению коренных лесов через смену древесных пород основано на генетической лесной типологии Ивашкевича — Колесникова и на практике реализуется разработанной для темнохвойных насаждений системой рубок трансформации.

2. Система адаптирована к лесохозяйственному производству и представлена в виде самостоятельного направления в рамках формирования темнохвойных насаждений по коротко-производному типу.

3. Цикл рубок трансформации сопровождает процесс формирования коренных (условно-коренных) темнохвойных лесов в период до возраста спелости производных лиственных древостоев.

4. Практическое применение системы рубок трансформации повышают вероятность формирования темнохвойных лесов и ускоряют этот процесс по сравнению с действующими методами ведения хозяйства минимум на 10–15 лет.

5. Реализация предлагаемого метода на практике позволит обеспечить успешное воспроизводство хвойных лесов и поддерживать устойчивость лесных экосистем, которые кроме сырьевых, выполняют ряд важных экологических функций.

## Список литературы

- [1] Рекомендации по ведению лесного хозяйства на зонально-типологической основе в лесах Свердловской области. М.: ВНИИЛМ, 1984. 55 с.

- [2] Фомин В.В., Иванова Н.С., Залесов С.В., Попов А.С., Михайлович А.П. Лесные типологии в Российской Федерации // ИзВУЗ Лесной журнал, 2023. № 6. С. 9–30.
- [3] Погребняк П.С. Общее лесоводство. М.: Издательство сельскохозяйственной литературы, журналов и плакатов, 1963. 399 с.
- [4] Сукачев В.Н. Избранные труды: в 3 т. Л.: Наука, 1972. Т. 1. 418 с.
- [5] Мелехов И.С. Лесоведение и лесоводство. М.: МЛТИ, 1972. 178 с.
- [6] Лесорастительные условия и типы лесов Свердловской области. Свердловск: Изд-во УНЦ АН СССР, 1973. 275 с.
- [7] Манько Ю.И. Выдающийся исследователь лесов Дальнего Востока (к 120-летию Б.А. Ивашкевича) // Вестник Дальневосточного отделения Российской академии наук, 2009. № 3. С. 134–140.
- [8] Теринов Н.Н., Андреева Е.М., Залесов С.В., Луганский Н.А., Магасумова А.Г. Восстановление еловых лесов: теория, отечественный опыт и методы решения // ИзВУЗ Лесной журнал, 2020. № 3 (375). С. 9–23.
- [9] Моисеев Н.А. О состоянии и постановке лесных дел в России в начале XXI столетия // Лесное хозяйство, 2012. № 1. С. 7–12.
- [10] Теринов Н.Н., Луганский Н.А. Устойчивое развитие лесных экосистем // Известия Уфимского научного центра РАН, 2017. № 4–1. С. 119–121.
- [11] Лысов Л.А. Моделирование роста и динамики производительности производных березовых древостоев на среднем Урале // Экологические основы рационального использования и воспроизводства лесов Урала. Свердловск: Изд-во УНЦ АН СССР, 1986. С. 93–94.
- [12] Дедков В.С., Павлова Т.С., Прокопович Е.В., Агафонов Л.И. Рубки леса и свойства горно-лесных буро-подзолистых почв Среднего Урала // Антропогенные воздействия на свойства почв. Свердловск: Изд-во УНЦ АН СССР, 1987. С. 21–35.
- [13] Теринов Н.И., Турков В.Г. Антропогенная динамика горных лесов Среднего Урала // Эколого-географические и генетические принципы изучения лесов. Свердловск: Изд-во УНЦ АН СССР, 1983. С. 158–163.
- [14] Рубцов М.В., Дерюгин А.А. Динамика возрастной структуры популяции ели под пологом южно-таежных березняков Русской равнины // Хвойные борельной зоны, 2013. Т. 30. № 1–2. С. 9–14.
- [15] Сабиров А.Т. Биологическая активность подстилок лесных биогеоценозов Среднего Поволжья // Труды Марийского государственного технологического университета, 1997. № 54. С. 3–5.
- [16] Казимиров Н.И. Биологические основы повышения продуктивности еловых лесов севера // Материалы науч. конф. по вопросам лесного хозяйства. Пушкино: Изд-во ВНИИЛМ, 1970. С. 75–76.
- [17] Семенова В.Г. Влияние рубок главного пользования на почвы и круговорот веществ в лесу. М.: Лесная пром-сть, 1975. 183 с.
- [18] Межебовский А.М., Воронкова А.Б., Журавлева М.В., Великотный А.А. Изменение некоторых экологических свойств ели в зависимости от состава насаждений // Лесоведение, 1977. № 1. С. 9–18.
- [19] Рагустис А.Д. Влияние хозяйственных мероприятий на деятельность микроорганизмов в лесных почвах // Материалы науч. конф. по вопросам лесного хозяйства. Пушкино: Изд-во ВНИИЛМ, 1970. С. 21–24.
- [20] Ганин Г.Н. Роль почвенной мезофауны в биогенном круговороте элементов в лесных и луговых экосистемах Приамурья // Экология, 1994. № 5. С. 59–67.
- [21] Дерюгин А.А., Рыбакова Н.А., Глазунов Ю.Б. Модель формирования березово-еловых насаждений в условиях южной тайги Русской равнины // ИзВУЗ Лесной журнал, 2024. № 3. С. 23–45.
- [22] Аткин А.С., Аткина Л.И. Оценка хозяйственной деятельности человека в лесу // Проблемы лесоведения и лесной экологии. М.: Изд-во БелНИИЛТИ, 1990. Ч. 1. С. 6–8.
- [23] Теринов Н.Н. Управление темнохвойными лесами эксплуатационного назначения // Хвойные борельной зоны, 2010. Т. 27. № 3–4. С. 294–300.
- [24] Наставления по рубкам ухода в лесах Урала. М.: Всероссийский научно-исследовательский информационный центр по лесным ресурсам, 1994. 100 с.
- [25] Обутверждении правил ухода за лесами: приказ № 534 от 30.07.2020. М.: Министерство природных ресурсов и экологии Российской Федерации, 2020. 206 с.
- [26] Теринов Н.Н. Способ трансформации производных мягколиственных насаждений в темнохвойные. Пат. RU 2521706 С2 Российская Федерация, МПК А01G 23/00 / заявитель и патентообладатель ФГБУН «Ботанический сад Уральского отделения Российской академии наук». № 2012123574/13; заявл. 06.06.2012; опубл. 10.07.2014. бюл. № 19, 14 с.
- [27] Теринов Н.Н. Метод формирования темнохвойных насаждений // Труды Санкт-Петербургского научно-исследовательского института лесного хозяйства, 2013. Вып. 1. С. 64–71.
- [28] Петухов И.Н. Основные таксационные характеристики поврежденных ураганными ветрами насаждений в подзоне южной тайги (Костромская Область) // Сибирский лесной журнал, 2016. № 4. С. 118–127.
- [29] Алесенков Ю.М., Андреев Г.В., Иванчиков С.В. Структура пихто-ельника высокотравно-папоротникового после ветровала // Аграрный вестник Урала, 2010. № 12 (79). С. 56–57.
- [30] Данилик В.Н., Помазнюк В.А. Сохранность деревьев в горных темнохвойных древостоях Южного и Среднего Урала, пройденных несплошными рубками // Леса Урала и хозяйство в них, 1977. № 10. С. 39–45.
- [31] Калачев А.А., Архангельская Т.А., Парамонов Е.Г. Влияние полноты и состава древостоя на жизнеспособность пихтового подростка в условиях Рудного Алтая // Мир науки, культуры, образования, 2013. № 1 (38). С. 328–331.
- [32] Беляева Н.В. Оценка состояния, густоты подростка и других его характеристик в зависимости от состава и строения материнского древостоя — состояние проблемы // Международный научно-исследовательский журнал, 2013. № 3–1 (10). С. 69–73.
- [33] Зарубина Л.В. Состояние естественного возобновления ели в мелколиственных лесах на севере России // ИзВУЗ Лесной журнал, 2016. № 3 (351). С. 52–65. DOI: 10.17238/issn0536-1036.2016.3.52
- [34] Паневин В.С., Дебков Н.М. Необходимость научных исследований в насаждениях, сформировавшихся из сохраненного подростка // Вестник

- Томского государственного университета. Биология, 2010. № 1 (9). С. 93–98.
- [35] Терин Н.Н. Концепция трансформации производных мягколиственных насаждений в темнохвойные с целью повышения продуктивности лесов Урала: дис. ... д-ра с.-х. наук: 06.03.02. Екатеринбург, 2014. 320 с.
- [36] Декатов Н.Е. Рационализировать использование лиственно-еловых древостоев // Лесное хозяйство, 1958. № 12. С. 18–24.
- [37] Байтин А.А., Логвинов И.В., Столяров Д.П., Самойлович Г.Г., Горский П.В., Моисеев В.С., Чертов О.Г., Кострюков А.И. Участковый метод лесоустройства. М.: Лесная пром-сть, 1967. 200 с.
- [38] Bestelmeyer B.T., Ash A., Brown J.R., Densambuu B., Fernández-Giménez M., Johanson J., Levi M., Lopez D., Peinetti R., Rumpff L., Shaver P. State and Transition Models: Theory, Applications, and Challenges // Rangeland Systems: Processes, management and challenges, 2017, pp. 303–345. DOI 10.1007/978-3-319-46709-2\_9

## Сведения об авторах

**Терин Николай Николаевич** — д-р с.-х. наук, вед. науч. сотр. лаборатории лесовосстановления, защиты леса и лесопользования, отдел лесоведения, ФГБУН «Ботанический сад Уральского отделения Российской академии наук» (Ботанический сад УрО РАН), n\_n\_terinov@mail.ru

**Терехов Геннадий Григорьевич** — д-р с.-х. наук, ведущий научный сотрудник лаборатории лесовосстановления, защиты леса и лесопользования, отдел лесоведения, ФГБУН «Ботанический сад Уральского отделения Российской академии наук» (Ботанический сад УрО РАН), terekhov\_g\_g@mail.ru

Поступила в редакцию 06.03.2025.

Одобрено после рецензирования 20.05.2025.

Принята к публикации 05.12.2025.

## NATIVE FORESTS RESTORATION METHOD BASED ON THE IVASHKEVICH — KOLESNIKOV GENETIC FOREST TYPE SCIENCE

N.N. Terinov✉, G.G. Terekhov

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

n\_n\_terinov@mail.ru

The possibilities of the Ivashkevich — Kolesnikov's genetic forest typology as a theoretical basis for solving the task of restoring primary (nominally primary) coniferous forests are described. It is noted this process occurs according only to a short-term derivative or long-term derivative type of forest formation. It was concluded that the short-term derivative type is the most preferable compared to the long-term derivative type as it takes a shorter period and is the most successful in terms of the formation indigenous (conditionally indigenous) forest stand. The study results of deciduous stands formed in the place of coniferous stands confirmed that, when solving the problem of restoring primary (nominally primary) dark coniferous forests through a temporarily dominant non-indigenous species (through a change of species), the most promising objects are forest stands developing according to the short-term type of forest formation. They are characterized as primary-derivative forest stands, that is, formed, for example, after the cutting of the primary forest stand. In this case, in order to restore dark coniferous stands a specialized system of transformation felling is required. The cuttings are carried out before the derivative deciduous forest stands get mature. Timing of the first felling depends on when dark coniferous trees appeared in the cut area or under the canopy of deciduous trees. For their effective use, information on the vertical structure of the tree stand, starting from its middle age, is required. The undergrowth and lower story of the main forest-forming species (composition, age, height, quantity) must be taken into account. As a result of using the proposed system specifically aimed at tending the dark coniferous undergrowth, compared to the existing one (thinning cuttings + cutting of age mature derivative deciduous forest stand) the probability of the dark coniferous stands forming increases and this process itself is reduced by at least 10–15 years.

**Keywords:** forest formation directions, species change, transformation cuttings, dark coniferous stands formation

**Suggested citation:** Terinov N.N., Terekhov G.G. *Metod vosstanovleniya korennykh lesov, osnovanny na printsipakh geneticheskoy lesnoy tipologii Ivashkevicha — Kolesnikova* [Native forests restoration method based on the Ivashkevich — Kolesnikov genetic forest type science]. *Lesnoy vestnik / Forestry Bulletin*, 2026, vol. 30, no. 1, pp. 18–29. DOI: 10.18698/2542-1468-2026-1-18-29

## References

- [1] *Rekomendatsii po vedeniyu lesnogo khozyaystva na zonal'no-tipologicheskoy osnove v lesakh Sverdlovskoy oblasti* [Recommendations on forest management on a zonal and typological basis in the forests of the Sverdlovsk region]. Moscow: VNIILM, 1984, 55 p.
- [2] Fomin V.V., Ivanova N.S., Zalesov S.V., Popov A.S., Mikhaylovich A.P. *Lesnye tipologii v Rossiyskoy Federatsii* [Forest Typologies in the Russian Federation]. Russian Forestry J., 2023, no. 6, pp. 9–30.
- [3] Pogrebnyak P.S. *Obshchee lesovodstvo* [General forestry]. Moscow: Izdatel'stvo sel'skokhozyaystvennoy literatury, zhurnalov i plakatov, 1963, 399 p.
- [4] Sukachev V.N. *Izbrannye trudy* [Selected Research], in 3 t. Leningrad: Nauka, 1972, v. 1, 418 p.
- [5] Melekhov I.S. *Lesovedenie i lesovodstvo* [Forest science and forestry], Moscow: MLTI, 1972, 178 p.
- [6] *Lesorastitel'nye usloviya i tipy lesov Sverdlovskoy oblasti* [Forest growing conditions and forest types of the Sverdlovsk region]. Sverdlovsk: UDC AN SSSR, 1973, 275 p.
- [7] Man'ko Yu.I. *Vydayushchisya issledovatel' lesov Dal'nego Vostoka (k 120-letiyu B.A. Ivashkevicha)* [Outstanding investigator of the Far Eastern forests (on the occasion of the 120th anniversary of B.A. Ivashkevich)] *Vestnik Dal'nevostochnogo otdeleniya Rossiyskoy akademii nauk* [Bulletin of the Far Eastern Branch of the Russian Academy of Sciences], 2009, no 3, pp. 134–140.
- [8] Terinov N.N., Andreeva E.M., Zalesov S.V., Luganskiy N.A., Magasumova A.G. *Vosstanovlenie elovykh lesov: teoriya, otechestvennyy opyt i metody resheniya* [Rrestoration of spruce forests: theory, national practice and problem solving]. Russian Forestry J., 2020, no. 3, pp. 9–23.
- [9] Moiseev N.A. *O sostoyanii i postanovke lesnykh del v Rossii v nachale XXI stoletiya* [On the state and organization of forestry affairs in Russia at the beginning of the 21st century]. *Lesnoe khozyaystvo* [Forestry], 2012, no. 1, pp. 7–12.
- [10] Terinov N.N., Luganskiy N.A. *Ustoychivoe razvitie lesnykh ekosistem* [Sustainable development of forest ecosystems]. *Izvestiya Ufmskogo nauchnogo tsentra RAN* [Bulletin of the Ufa Scientific Center of the Russian Academy of Sciences], 2017, no. 4–1, pp. 119–121.
- [11] Lysov L.A. *Modelirovanie rosta i dinamiki proizvoditel'nosti proizvodnykh berezovykh drevostoev na srednem Urale* [Modeling of growth and productivity dynamics of birch forest stands in the Middle Urals]. *Ekologicheskie osnovy ratsional'nogo ispol'zovaniya i vosproizvodstva lesov Urala* [Ecological bases for rational use and production of Ural forests]. Sverdlovsk: UNC AN SSSR, 1986, pp. 93–94.
- [12] Dedkov V.S., Pavlova T.S., Prokopovich E.V., Agafonov L.I. *Rubki lesa i svoystva gorno-lesnykh buro-podzolistykh pochv Srednego Urala* [Forest cutting and properties of mountain-forest brown-podzolic soils of the Middle Urals]. *Antropogennyye vozdeystviya na svoystva pochv* [Anthropogenic Impacts on Soil Properties. Sverdlovsk: Ufa Scientific Center of the USSR Academy of Sciences]. Sverdlovsk: UNC AN SSSR, 1987, pp. 2–35.
- [13] Terinov N.I., Turkov V.G. *Antropogennaya dinamika gornykh lesov Srednego Urala* [Anthropogenic dynamics of mountain forests of the Middle Urals]. *Ekologo-geograficheskie i geneticheskie printsipy izucheniya lesov* [Ecological, geographical and genetic principles of forest study]. Sverdlovsk: UNC AN SSSR, 1983, pp. 158–163.
- [14] Rubtsov M.V., Deryugin A.A. *Dinamika vozrastnoy struktury populyatsii eli pod pologom yuzhno-taезhnykh bereznyakov Russkoy ravniny* [Dynamics of the age structure of the spruce population under the canopy of southern taiga birch forests of the Russian Plain]. *Khvoynye boreal'noy zony* [Conifers of the boreal zone], 2013, v. 30, no. 1–2, pp. 9–14.
- [15] Sabirov A.T. *Biologicheskaya aktivnost' podstilok lesnykh biogeotsenozov Srednego Povolzh'ya* [Biological activity of litters of forest biogeocenoses of the Middle Volga region]. *Trudy Mariyskogo gosudarstvennogo tekhnologicheskogo universiteta* [Transactions of the Mari State Technological University], 1997, no. 54, pp. 3–5.
- [16] Kazimirov N.I. *Biologicheskie osnovy povysheniya produktivnosti elovykh lesov severa* [Biological bases for increasing productivity of northern spruce forests: materials of scientific conference on forestry issues]. Pushkino: VNIILM, 1970, pp. 75–76.
- [17] Semenova V.G. *Vliyanie rubok glavnogo pol'zovaniya na pochvy i krugovorot veshchestv v lesu* [The influence of final felling on soils and the circulation of substances in the forest] Moscow: *Lesnaya promyshlennost'* [Forest Industry], 1975, 183 p.
- [18] Mezhebovskiy A.M., Voronkova A.B., Zhuravleva M.V., Velikotnyy A.A. *Izmenenie nekotorykh ekologicheskikh svoystv eli v zavisimosti ot sostava nasazhdeniy* [Changes in some ecological properties of spruce depending on the composition of forest]. *Lesovedenie* [Forest Science], 1977, no. 1, pp. 9–18.
- [19] Ragustis A.D. *Vliyanie khozyaystvennykh meropriyatiy na deyatelnost' mikroorganizmov v lesnykh pochvakh* [The influence of economic actions on the activity of microorganisms in forest soils: materials of scientific conference on forestry issues]. Pushkino: VNIILM, 1970, pp. 21–24.
- [20] Ganin G.N. *Rol' pochvennoy mezofauny v biogennom krugovorote elementov v lesnykh i lugovykh ekosistemakh Priamur'ya* [The role of soil mesofauna in the biogenic cycle of elements in forest and meadow ecosystems of the Amur region]. *Ekologiya*, 1994, no. 5, pp. 59–67.
- [21] Deryugin A.A., Rybakova N.A., Glazunov Yu.B. *Model' formirovaniya berezovo-elovykh nasazhdeniy v usloviyakh yuzhnoy taygi Russkoy ravniny* [The Model of Birch-Spruce Plantations Formation in the Conditions of the Russian Plain Southern Taiga]. *Russian Forestry J.*, 2024, no. 3, pp. 23–45.
- [22] Atkin A.S., Atkina L.I. *Otsenka khozyaystvennoy deyatelnosti cheloveka v lesu* [Assessment of human economic activity in the forest]. *Problemy lesovedeniya i lesnoy ekologii* [Problems of forest science and forest ecology]. Moscow: BelNIINTI, 1990, part 1, pp. 6–8.
- [23] Terinov N.N. *Upravlenie temnokhvoynymi lesami ekspluatatsionnogo naznacheniya* [Management of dark coniferous forests of the category of commercial one]. *Khvoynye boreal'noy zony* [Conifers of the boreal zone], 2010, v. 27, no. 3–4, pp. 294–300.

- [24] *Nastavleniya po rubkam ukhoda v lesakh Urala* [Rules for thinning in the forests of the Urals]. Moscow: Vserossiyskiy nauchno-issledovatel'skiy informatsionnyy tsentr po lesnym resursam [All-Russian Research Information Center for Forest Resources], 1994, 100 p.
- [25] *Ob utverzhdenii pravil ukhoda za lesami: prikaz № 534 ot 30.07.2020* [On approval of forest care rules: order no. 534 dated 30.07.2020]. Moscow: Ministerstvo prirodnykh resursov i ekologii Rossiyskoy Federatsii [Ministry of Natural Resources and Environment of the Russian Federation], 2020, 206 p.
- [26] Terinov N.N. *Sposob transformatsii proizvodnykh myagkolistvennykh nasazhdeniy v temnokhvoynye* [Method of transformation of derivative soft-leaved stands into dark coniferous ones]. Patent no 2012123574/13, 10.07.2014. Bull. no. 19.
- [27] Terinov N.N. *Metod formirovaniya temnokhvoynnykh nasazhdeniy* [Method of formation of dark coniferous forests]. Trudy Sankt-Peterburgskogo nauchno-issledovatel'skogo instituta lesnogo khozyaystva [Proceedings of the St. Petersburg Research Institute of Forestry], 2013, iss.1, pp. 64–71.
- [28] Petukhov I.N. *Osnovnye taksatsionnye kharakteristiki povrezhdennykh uragannymi vetrami nasazhdeniy v podzone yuzhnoy taygi (Kostromskaya Oblast')* [Main taxation characteristics of forests damaged by hurricane winds in the southern taiga subzone (Kostroma Region)]. Sibirskiy lesnoy zhurnal [Siberian Forestry Journal], 2016, no. 4, pp. 118–127.
- [29] Alesnikov Yu.M., Andreev G.V., Ivanchikov S.V. *Struktura pikhto-el'nika vysokotravno-paprotnikovogo posle vetrovala* [Structure of fir-spruce forest in forest type tall grass-fern spruce after windfall]. Agrarnyy vestnik Urala [Agrarian Bulletin of the Urals], 2010, no. 12 (79), pp. 56–57.
- [30] Danilik V. N., Pomaznyuk V. A. *Sokhrannost' derev'ev v gornyykh temnokhvoynnykh drevostoyakh Yuzhnogo i Srednego Urala, proydennykh nesploshnymi rubkami* [Preservation of trees in mountain dark coniferous forest stands of the Southern and Middle Urals after selective cuttings]. Lesa Urala i khozyaystvo v nikh [Forests of the Urals and their management], 1977, no. 10, pp. 39–45.
- [31] Kalachev A.A., Arkhangel'skaya T.A., Paramonov E.G. *Vliyaniye polnoty i sostava drevostoya na zhiznesposobnost' pikhtovogo podrosta v usloviyakh Rudnogo Altaya* [The influence of the density and composition of the forest stand on the viability of fir undergrowth in the conditions of Rudny Altai]. Mir nauki, kul'tury, obrazovaniya [World of science, culture, education], 2013, no. 1 (38), pp. 328–331.
- [32] Belyaeva N.V. *Otsenka sostoyaniya, gustoty podrosta i drugikh ego kharakteristik v zavisimosti ot sostava i stroeniya materinskogo drevostoya — sostoyaniye problemy* [Evaluation of the condition, density of undergrowth and its other characteristics depending on the composition and structure of the parent forest stand — the state of the problem]. Mezhdunarodnyy nauchno-issledovatel'skiy zhurnal [International Research J.], 2013, no. 3–1 (10), pp. 69–73.
- [33] Zarubina L.V. *Sostoyaniye estestvennogo vozobnovleniya eli v melkolistvennykh lesakh na severe Rossii* [The state of natural regeneration of spruce in small-leaved forests in northern Russia]. Russian Forestry J., 2016, no. 3 (351), pp. 52–65. DOI: 10.17238/issn0536-1036.2016.3.52
- [34] Panevin V.S., Debkov N.M. *Neobkhodimost' nauchnykh issledovaniy v nasazhdeniyakh, sformirovavshikhsya iz sokhranennogo podrosta* [The need for scientific research in forest stand formed from preserved undergrowth]. Vestnik Tomskogo gosudarstvennogo universiteta. Biologiya [Bulletin of Tomsk State University. Biology], 2010, no. 1 (9), pp. 93–98.
- [35] Terinov N.N. *Kontseptsiya transformatsii proizvodnykh myagkolistvennykh nasazhdeniy v temnokhvoynnye s tsel'yu povysheniya produktivnosti lesov Urala* [The concept of transforming derivative soft-leaf deciduous stands into dark coniferous ones in order to increase the productivity of Ural forests]. Dis. Dr. Sci. (Agric.). Ekaterinburg, Ural State Forestry Engineering University, 2014, 320 p.
- [36] Dekatov N.E. *Ratsionalizirovat' ispol'zovanie listvenno-elovykh drevostoev* [Rationalize using of deciduous-spruce forest stands]. Lesnoe khozyaystvo [Forestry], 1958, no. 12, pp. 18–24.
- [37] Baytin A.A., Logvinov I.V., Stolyarov D.P., Samoylovich G.G., Gorskiy P.V., Moiseev V.S., Chertov O.G., Kostryukov A.I. *Uchastkovyy metod lesoustroystva* [Plot method of forest inventory]. Moscow: Lesnaya promyshlennost' [Forestry industry], 1967, 200 p.
- [38] Bestelmeyer B.T., Ash A., Brown J.R., Densambuu B., Fernández-Giménez M., Johanson J., Levi M., Lopez D., Peinetti R., Rumpff L., Shaver P. *State and Transition Models: Theory, Applications, and Challenges*. Rangeland Systems: Processes, management and challenges, 2017, pp. 303–345. DOI 10.1007/978-3-319-46709-2\_9

## Authors' information

**Terinov Nikolay Nikolaevich**  — Dr. Sci. (Agriculture), leading researcher of laboratory of forest restoration, forest protection and forest using, Department of Forestry Botanical Garden of the Ural Branch of the Russian Academy of Sciences, n\_n\_terinov@mail.ru

**Terekhov Gennady Grigorievich** — Dr. Sci. (Agriculture), leading researcher of laboratory of forest restoration, forest protection and forest using, Department of Forestry of Botanical Garden of the Ural Branch of the Russian Academy of Sciences, terekhov\_g\_g@mail.ru

Received 06.03.2025.

Approved after review 20.05.2025.

Accepted for publication 05.12.2025.

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

## ДИНАМИКА ЛЕСНЫХ ПОЖАРОВ НА ТЕРРИТОРИИ ЦЕНТРАЛЬНОГО ФЕДЕРАЛЬНОГО ОКРУГА РОССИИ

А.Д. Попова<sup>1</sup>✉, С.А.Коротков<sup>2,3</sup>

<sup>1</sup>ФБУ «Центральная база авиационной охраны лесов «Авиалесоохрана» (ФБУ «Авиалесоохрана»), Россия, 141207, Московская обл., г. Пушкино, ул. Горького, д. 20

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

<sup>3</sup>ФГБУН Институт лесоведения Российской академии наук (ИЛАН РАН), Россия, 143030, Московская обл., с. Успенское, ул. Советская, д. 21

akmaral.igenova@bk.ru

Представлены материалы анализа динамики количества и площадей лесных пожаров, распределения земель лесного фонда по классам природной пожарной опасности по субъектам Центрального федерального округа за период 2004–2023 гг. Обобщены причины усугубления лесопожарной обстановки и даны общие рекомендации по снижению ее напряженности. Приведены результаты исследования, выявившие существенные колебания количества и площадей лесных пожаров в различные годы при увеличении в 2006, 2010, 2018, 2019 и 2020 гг. Установлена доля площади, пройденной огнем за рассматриваемый период, и доля количества пожаров (11,4 %) на относительно всей территории России, а также средний балл класса природной пожарной опасности по данному округу (3,1). Определена среднегодовая площадь лесных пожаров (около 280 тыс. га). Показано, что горимость лесов по округу, по сравнению с другими федеральными округами, в целом относительно невысокая. Наиболее высокие показатели удельной горимости выявлены в Липецкой, Белгородской, Воронежской, Калужской, Орловской и Тверской областях. Установлена наибольшая площадь покрытых лесом земель, пройденная огнем в 2019 г. — 1 млн га, при этом площадь одного пожара была максимальной в 2010 г. — 301,5 га. Определена средняя площадь одного пожара (110,1 га). Указана основная причина возникновения лесных пожаров. Предложены рекомендации для снижения пожарной опасности.

**Ключевые слова:** лесные пожары, лесопожарная обстановка, земли лесного фонда, ИДСМ-Рослесхоз, Центральный федеральный округ

**Ссылка для цитирования:** Попова А.Д., Коротков С.А. Динамика лесных пожаров на территории Центрального федерального округа России // Лесной вестник / Forestry Bulletin, 2026. Т. 30. № 1. С. 30–44. DOI: 10.18698/2542-1468-2026-1-30-44

Проблемам лесных пожаров, в частности высокой горимости лесов, современные российские и зарубежные ученые [1–9] уделяют большое внимание, так динамику пожаров на землях лесного фонда тщательно изучают во многих субъектах Российской Федерации [10–14].

Одним из основных факторов, обуславливающих возобновление и распространение лесных пожаров, является климат. Лесные пожары нарушают экосистему, способствуют массовому размножению вредителей и усиливают воздействие фитопатогенных организмов на древесные растения. Изменение характера климатических условий может трансформировать среду обитания, вызывая дальнейшие

изменения особенностей протекания пожаров и непредсказуемые воздействия на растительные сообщества в различных типах леса.

По последним данным Российского центра защиты леса (ФБУ «Рослесозащита»), в Российской Федерации ежегодно происходит от 10 тыс. до 35 тыс. пожаров на землях лесного фонда. При этом средний размер ущерба от пожаров оценивается примерно в 20 млрд руб. [11].

Важное значение имеет анализ динамики площади пожаров в регионах с высокой плотностью населения и интенсивным природопользованием. За период 2004–2023 гг. в Центральном федеральном округе наблюдается активный рост плотности населения.

Центральный федеральный округ расположен на западе Европейской части России, является крупнейшим по численности и плотности населения. В его состав входят 18 субъектов (рис. 1).



Рис. 1. Административно-территориальное деление Центрального федерального округа [63]  
 Fig. 1. Administrative-territorial division of the Central Federal District [63]

По данным Росстата, за указанный период население ЦФО увеличилось на 2198,4 тыс. чел. (5,7 %) и в 2024 г. составило 40 199,0 тыс. чел. (27,5 % населения страны), плотность населения — 61,8 чел./км<sup>2</sup> [15].

Центральный федеральный округ расположен в центральной части Восточно-Европейской равнины в пределах Восточно-Европейской платформы на одном из относительно устойчивых участков земной коры. В округе сконцентрирован комплекс оптимальных природно-климатических и биоэко-

логических условий, необходимых для формирования устойчивых лесных насаждений [16]. По лесорастительному районированию округ относится к зоне хвойно-широколиственных (смешанных) лесов и лесостепной зоне. Здесь могут формироваться хвойные, широколиственные и мягколиственные леса с различным породным составом [17–20]. Современный лесной покров состоит из сильно фрагментированных условно-коренных и производных лесов с измененным составом флоры и фауны [16].

В настоящее время, согласно данным Государственного лесного реестра в ЦФО наблюдается снижение лесистости, обусловленное вспышками размножения насекомых, распространением болезней, пожаров и другими природными и антропогенными факторами. Лесные пожары уменьшают площадь лесов и являются серьезной угрозой для лесного фонда и окружающей среды [16, 21, 22].

Лесистость в пределах ЦФО изменяется от 8 % в Орловской до 74 % в Костромской области. В среднем лесистость ЦФО составляет примерно 34 %, что ниже среднего показателя по стране — 46 %. Наибольшая площадь лесов отмечается в Тверской, Костромской, Смоленской, Московской и Ярославской областях — 60 % всей лесопокрытой площади округа. При этом защитные леса занимают 44 % (10,06 млн га) общей лесопокрытой площади округа [22].

В работе [16] представлен анализ современного состояния лесного фонда и динамики видового состава по трем северным (Костромская, Ярославская, Тверская области), четырем центральным (Владимирская, Московская, Калужская, Смоленская области) и четырем южным (Тамбовская, Липецкая, Воронежская, Белгородская области) областям ЦФО.

**Северная часть округа.** В XIX и особенно в XX вв. северные территории России активно осваивались, развивался внутренний российский рынок лесопотребления, расширялась площадь пашен, пастбищ и сенокосов. Таким образом, в XX в. доминировавшие во всех северных областях ЦФО сосна обыкновенная (*Pinus sylvestris* L.) и ель европейская (*Picea abies* (H.) Karst.) сменились на мелколиственные породы, в основном березу повислую (*Betula pendula* Roth). При этом в северной части ЦФО долевое участие ели отличается незначительно. Среди анализируемых регионов доля сосны, как и общая лесистость территории, самая низкая в Ярославской области. Возможно, это обусловлено более ранним освоением данной территории, распашкой лесных земель под сельхозугодья, изъятием наиболее ценного генофонда, узконаправленным характером эксплуатации хвойных пород, когда объем лесопотребления намного превышает объем лесовосстановления.

**Центральная часть округа.** В пределах центральной зоны ЦФО лесистость территории существенно не различается и составляет около 40...50 %. Во всех субъектах, за исключением Владимирской области, береза повислая доминирует над хвойными видами. Проведенный анализ видового состава в направлении

с севера-востока на юго-запад показал более выраженную по сравнению с северной частью округа тенденцию смены сосновых и еловых лесов на мелколиственные — в Московской, Калужской и Смоленской областях.

**Южная часть округа.** Все рассматриваемые южные области ЦФО входят в состав Центрально-Черноземного района. В лесостепной зоне этого района леса расположены по островному принципу: участки лугово-степной растительности чередуются с колками, число, площадь и класс бонитета которых снижаются с севера на юг. При перемещении с востока на запад континентальность климата уменьшается, флора лесов и их видовой состав становятся богаче. Леса чаще приурочены к возвышенным участкам и правобережьям рек. Степь занимает в основном плоские участки междуречий и террасы равнин. Отличительными чертами лесного покрова южной части округа (Тамбовская, Липецкая, Воронежская, Белгородская области) являются низкий показатель лесистости (более чем в 2 раза ниже оптимального), а также наличие дуба черешчатого (*Quercus robur* L.) в качестве основной лесообразовательной породы. При этом в широтном направлении доля дуба последовательно возрастает с 16 до 74 %, а долевое участие сосны и березы снижается с 46 до 10 % и с 17 до 1 % соответственно

После 1950-х годов большая часть лесного покрова ЦФО представляет антропогенный ландшафт. Лесистость, видовой состав, структурная организация и пространственное размещение лесов, начиная с того времени, во многом определяются хозяйственной деятельностью. В таком виде лесной покров может существовать только при непрерывном планировании лесопользования и лесовосстановления. С конца XX в. лесовосстановление на более чем 60 % площади округа осуществляется путем естественного зарастания или содействия естественному возобновлению. Вследствие популяционной неустойчивости хвойных пород развитие лесного покрова в ЦФО приняло опасный характер [16].

Значительный рост численности населения в ЦФО обуславливает интенсивное антропогенное воздействие на лесные насаждения и зачастую вызывает нежелательные экологические последствия — снижение защитных и средообразующих функций лесов, уменьшение их эстетической ценности и постепенную деградацию.

Пожары в лесах возникают по естественным и антропогенным причинам и влияют на распределение, структуру и функционирование наземных экосистем.

Мониторинг пожаров и их воздействия на экосистемы является важнейшим условием эффективного управления этой широко распространенной экологической проблемой [23]. Лесные пожары оказывают глубокое и разностороннее влияние на жизнь леса, нанося колоссальный вред лесному хозяйству и обуславливают огромные финансовые затраты [24–27].

На значительной части лесопокрытой площади пожары, причиняя наибольший вред, определяют сукцессионную динамику лесов, мозаичность и структуру биогеоценозов, количественные и качественные характеристики древостоев [28–30]. Лесные пожары — неотъемлемая составляющая эволюции лесных экосистем и современного состояния лесного покрова.

При оценке горимости лесов на крупных территориях за многолетний период следует учитывать множество факторов пожарной опасности, в том числе метеорологические [31]. Текущие климатические условия характеризуются ростом глобальной температуры приземного воздуха, изменением характера осадков и растущей частотой и серьезностью экстремальных погодных явлений [32, 33]. Ожидается, что повышение температуры воздуха и более частые волны тепла с уменьшением осадков усилят засушливые условия и повысят риск лесных пожаров [34, 35].

Кроме того, современное изменение климата обуславливает увеличение катастрофических пожаров, охватывающих значительные территории в пределах больших территорий. Это приводит к ухудшению лесных биогеоценозов, снижению биоразнообразия и истощению сырьевой базы лесной промышленности, а также к необратимой трансформации лесной среды на длительный период. Лесные пожары, вызванные изменением климатических условий, представляют собой растущую угрозу жизни, здоровью и имуществу человека. К сожалению, влияние отдельных факторов на лесные пожары различается в зависимости от тех или иных географических особенностей, природных и социально-экономических условий [36, 37].

Тенденция к повышению уровня горимости лесов отмечается во всем мире. С начала 2000-х годов отмечается увеличение частоты возникновения пожаров и расширение площадей, ежегодно подвергающихся пирогенному воздействию как в масштабах Северного полушария, так, в частности, и в Восточной Европе, где располагается ЦФО [38–41].

Как показывают материалы последних лет [42, 43], площади пожаров имеют тенденцию роста во многих регионах мира. В последние

десятилетия лесные пожары, вызванные в основном деятельностью человека, участились и стали представлять угрозу для лесов по всему миру.

В последние десятилетия изменения в европейских лесах совпадали с уже изменяющимся климатом и способствовали усилению эффекта лесных нарушений. Выделяется несколько аспектов, связанных с изменением климата, которые, как можно ожидать, увеличат опасность возникновения лесных пожаров, а также возникновение некоторых биотических нарушений, например, распространение короеда-типографа (*Ips typographus* L.).

Высокая температура воздуха и стресс от засухи в региональном масштабе коррелируют как с абиотическими, так и с биотическими нарушениями. Леса умеренного пояса, по-видимому, подвержены климатическому обострению этих нарушений.

В работе [44] оценен ущерб от лесных пожаров по древесной продуктивности в Европе за первое десятилетие XXI в., превышающий 9 млн м<sup>3</sup> в год, и отмечено возможное влияние усиления режимов нарушения лесов в результате изменения климата на функцию леса как поглотителя углерода, а также на широкий спектр экосистемных услуг.

Пожароопасность можно количественно определить с помощью различных показателей, которые отражают легкость возгорания, скорость распространения, сложность контроля и силу воздействия пожара. Изучение систем оценивания пожароопасности и их связи с погодными условиями активно ведется уже несколько десятилетий и является стратегическим во многих странах, где лесные ресурсы, их управление и устойчивость традиционно имеют жизненно важное значение.

Например, в Канаде исследования по оценке лесной пожарной опасности начались в 1925 г., что с течением лет привело к разработке множества систем защиты от пожароопасности с растущей общей применимостью. В частности, учет влияния погоды на лесные горючие материалы и пожары после нескольких лет исследований проведенных Канадской лесной службой в 1970 г. лег в основу определения системы индекса погоды лесных пожаров (FWI), а также включил в себя некоторые предыдущие индексы пожарной опасности [45].

В странах Центральной Европы с умеренным климатом роль огня в функционировании местных лесных экосистем традиционно игнорировалась, а лесные пожары воспринимались как последствие деятельности человека, не имеющее отношения к естественным процессам. Причинами такого отношения к лес-

ным пожарам в лесах Центральной Европы могут быть относительно высокая плотность населения и длительное землепользование, связанное с сильным влиянием естественной растительности и урбанизированных процессов, в том числе давняя традиция тушения пожаров, по сравнению, например, с Северной Америкой или бореальным поясом Евразии.

Еще одной причиной можно считать непосредственно сам фактор огня, связанный с адаптацией к пожарам преобладающих видов растительности в умеренном и бореальном поясах Евразии, которая проявляется при низовых пожарах низкой интенсивности. Такие пожары относительно легко потушить и нет необходимости в специальных профилактических мерах, например контролируемого выжигания для уменьшения количества горючих материалов.

Лесные пожары в последнее время стали важным фактором разрушения лесных экосистем и в регионах Европы с умеренным климатом. Основной естественной причиной лесных пожаров в странах Европы с умеренным климатом являются молнии. Доля пожаров, вызванных молниями, существенно варьирует в разных странах. В период с 2006 по 2010 гг. молнии стали причиной 7,3 % лесных пожаров в странах Северной Европы, 0,5 % — Центральной Европы и 4,7 % — Южной Европы, в то время как в Канаде и США доля пожаров, вызванных естественными причинами, составляет около 48 %.

Это происходит в зависимости от плотности населения, в частности, в отдаленных районах с низкой плотностью преобладают пожары, вызванные молниями. Например, в Чехии средняя плотность лесных пожаров составляет 0,65 шт. на 100 тыс. га ежегодно. Это несколько ниже, чем в Западной Сибири (0,75), но выше, чем в странах бореального пояса Северной Европы (0,39) [46].

В работе [47] рассмотрено влияние деятельности человека на плотность лесных пожаров на примере Польши. Авторами установлено, что антропогенными факторами, наиболее сильно влияющими на плотность лесных пожаров в уездах Польши, были транспортная инфраструктура и застроенные территории. На уровне индивидуальных связей самые высокие средние коэффициенты корреляции и коэффициент детерминации ( $R^2$ ) линейной регрессии были характерны для группы факторов, связанных с застройкой. Факторы, связанные с транспортом, характеризовались более слабыми связями с плотностью лесных пожаров.

Тем не менее представители обеих групп были включены почти во все многомерные регрессионные модели, что доказывает их доминирующее значение в увеличении количества

лесных пожаров в пределах Польши. Было показано, что почти все остальные антропогенные факторы оказывают существенное влияние на плотность лесных пожаров, и хотя для некоторых переменных индивидуальное воздействие было сильнее, чем для зданий или транспортной инфраструктуры, эти переменные не вошли в многомерные регрессионные модели или были включены только в некоторые из них.

При этом, согласно Польской национальной системе информации о лесных пожарах (NFFIS), большинство пожаров возникают в результате прямой или косвенной деятельности человека. Анализ влияния антропогенных факторов на лесные пожары проводили многие исследователи, и его важность обусловлена количеством пожаров (90 %), происходящих вследствие деятельности человека [48].

Ожидается, что потепление климата увеличивает частоту засух в Северной Европе, несмотря на одновременное увеличение количества осадков, поскольку более высокие температуры увеличивают потенциальное испарение, которое преодолет влияние увеличения количества осадков [49].

Весной, и особенно в начале лета, средняя влажность поверхностного слоя почвы снижается.

Изменение климата увеличивает риск возникновения крупномасштабных лесных пожаров в Финляндии [50, 51]. До настоящего времени сезон лесных пожаров в Финляндии обычно был довольно коротким — с мая по сентябрь.

В работе [51] использовали канадский индекс пожарной погоды и финский индекс риска лесных пожаров для оценки частоты наиболее серьезных условий риска возникновения крупных пожаров в пределах Финляндии. Отмечена высокая изменчивость пожарной опасности. Таким образом, в 1999, 2002 и 2006 гг. условия высокой пожарной опасности на юге Финляндии длились почти все лето, тогда как дождливым летом 1998 г. было всего несколько дней с высокой пожарной опасностью. На севере Финляндии пожароопасный сезон короче, а количество дней с пожарной опасностью в целом меньше.

В работе [52] показано, что в одном из ключевых сценариев будущих изменений климата — RCP4.5 количество крупных лесных пожаров (площадью более 10 га) может увеличиться на несколько десятков процентов в периоды 2010–2039, 2040–2069 и 2070–2100 годов, по сравнению с периодом 1980–2009 годов.

В работе [56] приведены доказательства сильной положительной связи между летними засухами и лесными пожарами в лесах Европы. Данную связь можно обобщить применительно

ко всем лесным биомам Европы. Кроме того, максимальный размер пожара и максимальная интенсивность пожара — два важных показателя в области социально-экологического воздействия пожаров, которые также в значительной степени обусловлены засушливостью. Установлена постоянная климатическая чувствительность режимов лесных пожаров в биоме. Авторами [56] установлено, что умеренные и бореальные леса вносят все больший вклад в общую площадь пожаров в Европе уже в последние годы. Кроме того, изменение климата может существенно преобразовать режимы лесных пожаров в Европе в XXI в.

Актуальность исследований, направленных на изучение долговременной динамики лесных пожаров, в том числе и на землях лесного фонда ЦФО, где ведется интенсивное лесопользование и самая высокая плотность населения страны, подтверждена изложенным выше фактическим материалом.

## Цель работы

Цель работы — оценка динамики лесных пожаров в Центральном федеральном округе за период 2004–2023 гг. и разработка предложений по снижению их количества.

## Материалы и методы

Для работы были использованы документы лесного планирования ЦФО, общедоступные материалы официального сайта Рослесхоза, региональные лесные планы субъектов ЦФО, официальные сайты статистической информации по лесному фонду России за 2004–2023 гг. При анализе горимости лесов за последние 20 лет на территории ЦФО нами изучены сведения о количестве и площади пожаров и причинах их возникновения из Информационной системы дистанционного мониторинга лесных пожаров Федерального агентства лесного хозяйства (ИДСМ Рослесхоз) и Единой межведомственной информационно-статистической системы (ЕМИСС).

В настоящей работе рассматривается динамика горимости лесов по всем субъектам ЦФО (17 областей), за исключением города федерального значения — Москвы, так как там отсутствуют земли лесного фонда.

## Результаты и обсуждение

Степень природной пожарной опасности возникновения и развития пожара в лесу определяется как лесорастительными условиями,

так и таксационными показателями лесных участков.

Для установления потенциальной природной пожарной опасности на территории РФ применяется пятибалльная шкала классов природной пожарной опасности (КППО), разработанная академиком И.С. Мелеховым [57, 58]. В соответствии с этой шкалой лесной фонд подразделяется на пять классов: I — очень высокая природная пожарная опасность; II — высокая; III — средняя; IV — слабая; V класс — природная пожарная опасность отсутствует. Этот показатель является одним из ключевых факторов, влияющих на общую пожарную опасность лесов [59].

Среди регионов ЦФО выделяются области, у которых средний балл КППО ниже среднего по округу (3,1): Московская (3,0); Брянская, Орловская и Рязанская (2,9). Самый низкий средневзвешенный балл КППО (2,8) имеют Белгородская, Владимирская и Костромская области.

Четыре региона ЦФО имеют более 10 % земель лесного фонда, в которых установлен наиболее высокий КППО (I): Московская (23,4 %), Брянская (16,1 %), Воронежская (12,0 %) и Рязанская (10,9 %) области (рис. 2). Основной причиной возникновения лесных пожаров в этих областях является антропогенный фактор.

В целом покрытая лесом территория ЦФО относится в основном к III (9332,7 тыс. га) и IV (7631,2 тыс. га) КППО (рис. 3).

В ходе исследований были использованы данные о лесных пожарах на землях лесного фонда ЦФО за 20-летний период (2004–2023). По результатам наших исследований, горимость лесов по ЦФО в целом за рассматриваемый период была относительно невысокой, по сравнению с другими федеральными округами.

Наибольшая площадь покрытых лесом земель пройдена огнем в 2019 г. (999,0 тыс. га), при этом площадь одного пожара была максимальной в 2010 г. — 301,5 га. Число возгораний остается на высоком уровне весь период наблюдений, составляя в отдельные годы (2019–2021) около 5500–6500 возгораний в год (рис. 4).

Анализируя данные по лесным пожарам в ЦФО за 20-летний период отметим, что в 2006, 2010, 2018, 2019 и 2020 гг. отмечается значительное увеличение площадей, пройденных огнем. В период с 2004 по 2023 гг. на долю ЦФО пришлось 2,6 % площади, пройденной огнем, и 11,4 % количества пожаров на территории Российской Федерации.

За рассматриваемый период покрытая лесом площадь, пройденная огнем, превысила 5650 тыс. га, что в среднем составляет около

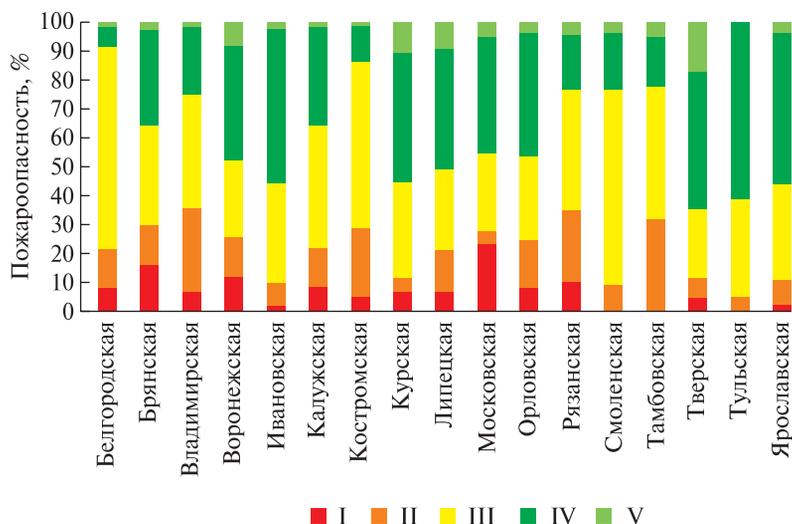


Рис. 2. Распределение субъектов Центрального федерального округа по классам природной пожарной опасности

Fig. 2. Distribution of constituent parts of the Central Federal District by classes of natural fire danger

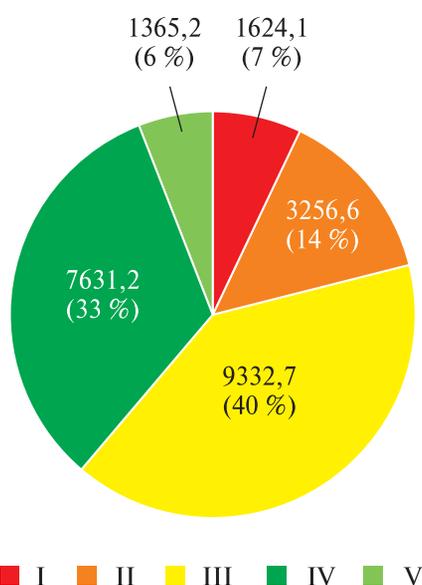


Рис. 3. Распределение земель лесного фонда Центрального федерального округа по классам природной пожарной опасности, тыс. га

Fig. 3. Distribution of lands of the Central Federal District forest fund by classes of natural fire danger, thousand ha

280 тыс. га/г. По годам она существенно варьирует, при этом выявить четкую тенденцию колебаний максимумов горимости для всего ЦФО достаточно сложно.

Анализ данных о количестве и частоте пожаров, их общей площади по пятилетиям за период 2004–2023 гг., позволил получить значения горимости (таблица).

Из таблицы следует, что наибольшее количество пожаров за пятилетие зарегистрировано в период с 2019 по 2023 гг. Основной причиной этого были крупные пожары в 2019, 2020, 2021 г. Наименьшее количество пожаров зафиксировано в период с 2009 по 2013 гг. Наибольшая общая площадь пожаров зарегистрирована в период с 2019 по 2023 гг., наименьшая — в период с 2009 по 2013 гг., наибольшая средняя площадь пожара зарегистрирована в период с 2004 по 2008 гг., наименьшая — в период с 2019 по 2023 гг.

В среднем на территории ЦФО за период 2004–2008 гг. возникало около 1500 пожаров в год, средняя площадь одного пожара при этом составляла более 140 га. В последнее время (2019–2023) количество пожаров значительно увеличилось и в среднем составляет около 4200 пожаров в год, однако при этом среднепериодическая площадь одного пожара сократилась на 42,2 га — с 141,1 до 98,9 га. В последние годы среднепериодическая площадь пожаров увеличилась более чем в 2 раза относительно 2004–2008 гг.

Лесные пожары наносят ущерб лесным экосистемам и окружающей среде, тем самым изменяя глобальный климат. Увеличение горимости в субъектах региона обусловлено трансформацией климатической системы, в частности, уменьшением количества выпадающих осадков как в летний, так и в зимний сезоны, которое связано с потеплением климата. Незначительный снежный покров зимой приводит к раннему высыханию лесной подстилки, что вызывает увеличение пожарной опасности ранней весной.



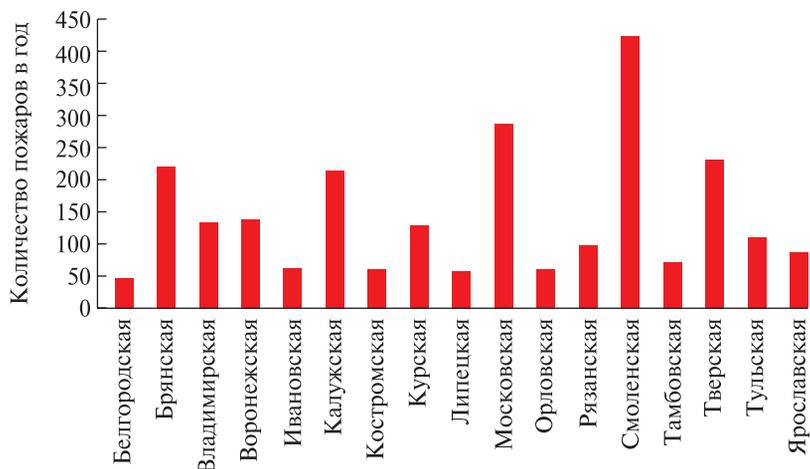
**Рис. 4.** Динамика лесных пожаров в Центральном федеральном округе за период с 2004–2023 гг.

**Fig. 4.** Dynamics of forest fires in the Central Federal District for the period from 2004 to 2023

### Количество и площадь пожаров, возникших в лесном фонде Центрального федерального округа за период 2004–2023 гг. по пятилетиям

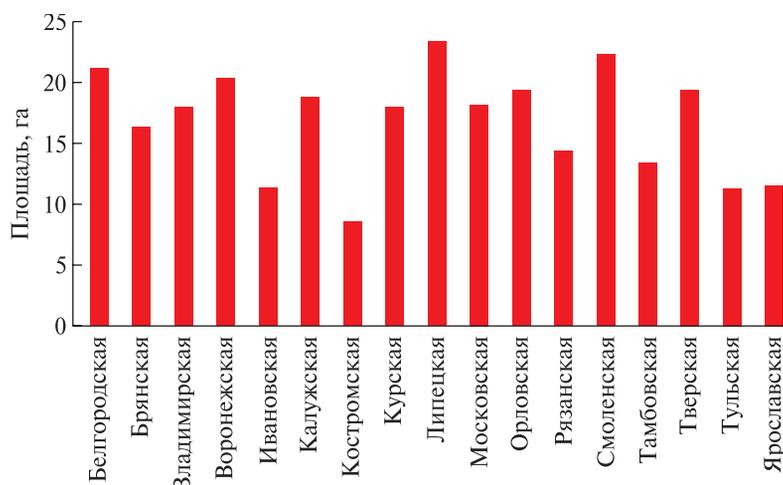
The number and area of fires that occurred in the forest fund  
of the Central Federal District in 2004–2023 for five years

Годы	Количество пожаров	Количество пожаров в среднем за 5 лет	Общая площадь пожаров, тыс. га	Средняя площадь пожаров за 5 лет, тыс. га	Средняя площадь одного пожара, га
2004–2008	7540	1508,0	1064,1	212,8	141,1
2009–2013	6217	1243,4	1005,3	201,1	161,7
2014–2018	13722	2744,4	1506,1	301,2	109,8
2019–2023	20 968	4193,6	2073,5	414,7	98,9



**Рис. 5.** Усредненное количество лесных пожаров за год в период с 2004 по 2023 гг. по субъектам Центрального федерального округа

**Fig. 5.** The average number of forest fires per year from 2004 to 2023 by region of the Central Federal District



**Рис. 6.** Показатели относительной горимости лесного фонда по субъектам Центрального федерального округа на 1000 га за 20-летний период  
**Fig. 6.** Indicators of the relative burning capacity of the forest fund by constituent parts of the Central Federal District per 1000 ha over a 20-year period

Пожары лучше предотвращать, чем тушить, как в физическом, так и в финансовом плане. Однако далеко не всегда информация об источнике возгорания поступает своевременно. По этой причине ежегодно лесному сектору экономики страны наносится огромный ущерб из-за негативного воздействия пожаров на экосистему животного мира — экономические потери составляют миллиарды рублей в год [60–62].

В ходе исследования было дополнительно рассчитано среднее количество лесных пожаров за рассматриваемый период в год по каждому субъекту ЦФО. Больше всего пожаров за год возникало в последние 20 лет в регионах северо-западной части ЦФО: в Смоленской (425), Московской (290), Брянской (221) и Калужской (214) областях (рис. 5).

Причиной возникновения лесных пожаров зачастую становится скопление лесных горючих материалов и несоблюдение населением правил пожарной безопасности. Следовательно, для снижения размеров ущерба крайне важно выявлять пожары на ранних этапах их развития, а также не допускать развитие пожаров. В связи с этим необходимо увеличивать средства мониторинга состояния леса в пожароопасные периоды.

По удельной горимости самые высокие показатели с 2004 г. выявлены в Липецкой, Белгородской, Воронежской областях (более 20 га на 1000 га земель лесного фонда региона) (рис. 6).

Наибольшая средняя площадь одного пожара в южных субъектах ЦФО распределилась следующим образом: Рязанская область — 268,3 га, Тульская (139,4 га), Тамбовская (128,0 га), Воронежская (121,3 га) область. Наименьшие

значения этого показателя зафиксированы в Тверской и Ярославской областях — 63,3 и 62,6 га соответственно, что обусловлено их географическим положением в северной части округа, где климатические условия мягче, чем в южном. Средняя площадь одного пожара за 20 лет по ЦФО составила 110,1 га.

## Выводы

Потепление климата, разнообразие лесной растительности и индустриальное освоение территорий способствует ежегодному возникновению лесных пожаров на территории ЦФО. На его примере показано, что лесные пожары являются одним из факторов изменения лесистости, а также породной и возрастной структуры насаждений. Анализ лесных пожаров за последние 20 лет выявил увеличение их количества и площадей в пределах округа. Динамика горимости лесов неравномерная, имеет тенденцию к увеличению. Для снижения риска возникновения лесных пожаров необходимо проводить профилактические мероприятия, такие как контроль за антропогенными источниками возгораний, регулярное патрулирование лесов государственными инспекторами. Важное значение имеет продолжение развития системы мониторинга лесных пожаров для оперативного реагирования на возможные очаги возгорания и предотвращение их распространения на ранних этапах развития. Резкое увеличение фактической горимости лесов с начала 2000-х годов вызвано неблагоприятными погодными условиями в экстремально пожароопасные сезоны.

В целях снижения пожарной опасности рекомендуется:

– переход на региональные шкалы пожарной опасности, учитывающие лесорастительные и климатические условия того или иного субъекта;

– постоянное ежегодно индексируемое финансирование лесопожарных служб в соответствии с региональными нормативами по охране и защите лесов от пожаров;

– первоочередное обеспечение специализированной новейшей лесопожарной и лесохозяйственной техникой для профилактики и тушения лесных пожаров.

Таким образом, эффективное противодействие растущей угрозе лесных пожаров в ЦФО требует комплексного подхода, сочетающего научно обоснованную профилактику, устойчивое финансирование и оснащение лесопожарных служб, а также совершенствование систем мониторинга на основе региональных особенностей.

## Список литературы

- [1] Hellberg E., Niklasson M., Granstrom A. Influence of landscape structure on patterns of forest fires in boreal forest landscapes in Sweden // *Can. J. For. Res.*, 2004, v. 34, pp. 332–338.
- [2] Krawchuk M., Cumming S., Flannigan M. Predicted changes in fire weather suggest increases in lightning fire initiation and future area burned in the mixedwood boreal forest // *Climatic Change*, 2009, v. 92, pp. 83–97.
- [3] Flannigan M., Cantin A.S., de Groot W.J., Wotton M., Newbery A., Gowman L.M. Global wildland fire season severity in the 21st century // *Forest Ecology and Management*, 2013, v. 294, pp. 54–61.
- [4] Bartels S.F., Chen H.Y.H., Wulder M.A., White J.C. Trends in post-disturbance recovery rates of Canada's forests following wildfire and harvest // *Forest Ecology and Management*, 2016, v. 361, pp. 194–207
- [5] Hall R.J., Skakun R.S., Metsaranta J.M. Generating annual estimates of forest fire disturbance in Canada: The National Burned Area Composite // *International J. of Wildland Fire*, 2020, v. 29 (10), pp. 878–891. DOI: 10.1071/WF19201
- [6] Иванов В.А., Иванова Г.А. Пожары от гроз в лесах Сибири. Новосибирск: Наука, 2010, 164 с.
- [7] Kukavskaya E.A., Buryak L.V., Ivanova G.A., Conard S.G., Kalenskaya O.P., Zhila S.V., McRae D.J. Influence of logging on the effects of wildfire in Siberia // *Environ. Res. Lett.*, 2013, v. 8, no. 1, pp. 1–11.
- [8] Gabysheva L.P., Isaev A.P. Forest fires impact on microclimatic and soil conditions in the forest of criolithic zone (Yakutia, North-Eastern Russia) // *Sib. J. For. Sci.*, 2015, no. 6, pp. 96–111.
- [9] Буряк Л.В., Кукавская Е.А., Каленская О.П., Малых О.Ф., Бакшеева Е.О. Последствия лесных пожаров в южных и центральных районах Забайкальского края // *Сибирский лесной журнал*, 2016. Вып. 6. С. 94–102.
- [10] Шихов А.Н., Зарипов А.С. Многолетняя динамика потерь лесов от пожаров и ветровалов на северо-востоке Европейской России по спутниковым данным // *Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса*, 2018. Вып. 15. № 7. С. 114–128.
- [11] Матвеева А.Г. Динамика лесных пожаров на Дальнем Востоке России // *Сибирский лесной журнал*, 2021. № 6. С. 30–38.
- [12] Игнатъева А.В., Барановский Н. В. Динамика лесных пожаров в Республике Бурятия // *Вопросы лесной науки*, 2022. Вып. 5. № 2. С. 140–159.
- [13] Лежнев Д.В. Современное состояние и динамика лесного фонда Московской области // *Охрана, инновационное восстановление и устойчивое управление лесами. Forestry – 2023: Материалы Междунар. лесного форума*, Воронеж, 13 октября 2023 года. Воронеж: Изд-во Воронежского государственного лесотехнического университета им. Г.Ф. Морозова, 2023. С. 71–79. DOI 10.58168/Forestry2023\_71-79
- [14] Калинин Р.К., Ивашнев М.В., Васильев А.С. Динамика лесных пожаров на территории Республики Карелия // *Леса России и хозяйство в них*, 2024. № 2 (89). С. 77–88.
- [15] Официальный сайт Федеральной службы государственной статистики (Росстат). URL: <https://rosstat.gov.ru/> (дата обращения 21.10.2024).
- [16] Кузнецова Н.Ф., Сауткина М.Ю. Состояние лесов и динамика их породного состава в Центральном федеральном округе // *Лесохозяйственная информация*, 2019. № 2. С. 25–45.
- [17] Коротков С.А. Смена состава древостоев и устойчивость защитных лесов центральной части Русской равнины. М.: Добрасть эпох, 2023. 168 с.
- [18] Коротков С.А., Дробышев Ю.И. Динамика насаждений с участием ели в защитных лесах Подмосковья // *Лесной вестник / Forestry Bulletin*, 2021. Т. 25. № 4. С. 27–33. DOI: 10.18698/2542-1468-2021-4-27-33
- [19] Лежнев Д.В., Лебедев А.В. Трансформация структуры сосновых формаций в урбанизированных экосистемах Москвы // *Вестник Оренбургского государственного педагогического университета*, 2023. № 2 (46). С. 74–88. DOI 10.32516/2303-9922.2023.46.5
- [20] Korotkov S., Stonozenko L., Lezhnev D., Ereghina S. Pine Plants Formation in the North-Eastern Moscow Region // *II Int. Conf. «Sustainable Development: Agriculture, Veterinary Medicine and Ecology» (VMAEE-II-2023)*, Karshi, 21–22 April 2023, v. 3011. New York: AIP PUBLISHING, 2023, p. 20031. DOI 10.1063/5.0161107
- [21] Ермоленко А.А. Анализ состояния и причин изменения лесистости в Центральном федеральном округе: сложившаяся практика и возможные решения // *Лесохозяйственная информация*, 2018. № 4. С. 55–65.
- [22] Коротков С.А., Лежнев Д.В., Попова А.Д. Лесные ресурсы и лесопользование в Центральном федеральном округе // *Охрана и рациональное использование лесных ресурсов: Материалы Междунар. науч.-практ. конф., Хэйхэ, 01–03 августа 2023 г.* Благовещенск: Изд-во Дальневосточного государственного аграрного университета, 2023. С. 64–74.
- [23] Ivanova S., Prosekov A., Kaledin A. A survey on monitoring of wild animals during fires using drones // *Fire*, 2022, v. 5, no. 3, p. 60.

- [24] Kasischke E.S., Bruhwiler L.P. Emissions of carbon dioxide, carbon monoxide, and methane from boreal forest fires in 1998 // *J. of Geophysical research*, 2003, vol. 108, no. D1, p. 8146.
- [25] Тулохонов А.К., Пунцукова С.Д. Лесные пожары в Республике Бурятия в условиях изменения климата // *Общество: политика, экономика, право*, 2016. № 3. С. 72–78.
- [26] Гусев Д.В. Естественное возобновление сосны после низовых пожаров на территории Ленинградской области // *Известия Санкт-Петербургской лесотехнической академии*, 2016. № 215. С. 30–40.
- [27] Данилов Д.А., Бачериков И.В., Смирнов А.П. Горимость лесов на Северо-Западе России в связи с метеорологическими факторами // *Леса России: политика, промышленность, наука, образование: Материалы VI Всерос. науч.-техн. конф., Санкт-Петербург, 26–28 мая 2021 года. Т. 1. СПб.: Изд-во Санкт-Петербургского государственного лесотехнического университета имени С.М. Кирова*, 2021. С. 146–149.
- [28] Jonsson M., Wardle D.A. Structural equation modelling reveals plant-community drivers of carbon storage in boreal forest ecosystems // *Biology Letters*, 2010, v. 6, pp. 116–119.
- [29] Швиденко А.З., Щепашенко Д.Г. Климатические изменения и лесные пожары в России // *Лесоведение*, 2013. № 5. С. 50–61.
- [30] Leifeld J., Alewell C., Bader C., Krüger J.P., Mueller C.W., Sommer M., Steffens M., Szidat S. Pyrogenic carbon contributes substantially to carbon storage in intact and degraded northern peatlands // *Land Degrad. Dev.*, 2018, vol. 29, pp. 2082–2091
- [31] Волокитина А.В. Совершенствование оценки природной пожарной опасности в заповедниках // *География и природные ресурсы*, 2017. № 1. С. 55–61.
- [32] Lebedev A.V. Changes in the growth of Scots pine (*Pinus sylvestris* L.) stands in an urban environment in European Russia since 1862 // *J. of Forestry Research*, 2023, v. 34, no. 5, pp. 1279–1287.
- [33] Lindner M. Climate change and European forests: what do we know, what are the uncertainties, and what are the implications for forest management? // *J. of Environmental Management*, 2014, v. 146, pp. 69–83. DOI: 10.1016/j.jenvman.2014.07.030
- [34] Bowman D.M.J.S., Kolden C.A., Abatzoglou J.T., Johnston F.H., van der Werf G.R., Flannigan M. Vegetation fires in the Anthropocene // *Nat. Rev. Earth Environ*, 2020, no. 1, pp. 500–515.
- [35] Novenko E. Effects of Climate Change and Fire on the Middle and Late Holocene Forest History in Yenisei Siberia // *Forests*, 2023, v. 14 no. 12, p. 2321.
- [36] Швиденко А.З., Щепашенко Д.Г., Ваганов Е.А., Сухинин А.И., Максюттов Ш.Ш., МкКаллум И., Лакида И.П. Влияние природных пожаров в России 1998–2010 гг. на экосистемы и глобальный углеродный бюджет // *Доклады РАН*, 2011. Вып. 441. № 4. С. 544–548.
- [37] Ikonen V.P. Regional risks of wind damage in boreal forests under changing management and climate projections // *Canadian J. of Forest Research*, 2017, v. 47, no. 12, pp. 1632–1645.
- [38] McKillip S. *Statistics explained. An introductory guide for life scientists*. England: Cambridge University Press, 2005, 267 p.
- [39] Ponomarev E.I., Kharuk V.I., Ranson K.J. Wildfires dynamics in Siberian larch forests // *Forests*, 2016, v. 7, no. 6, p. 125.
- [40] Гусев Д.В., Данилов Д.А., Беляева Н.В. Анализ состояния подроста сосны после низовых пожаров в Ленинградской области // *Лесотехнический журнал*, 2018. Вып. 8. № 2 (30). С. 46–54.
- [41] Berčák R. Fire protection principles and recommendations in disturbed forest areas in central Europe: a review // *Fire*, 2023, vol. 6, no. 8, p. 310.
- [42] Juárez-Orozco S.M., Siebe C., Fernández y Fernández D. Causes and effects of forest fires in tropical rainforests: a bibliometric approach // *Tropical Conservation Science*, 2017, v. 10, p. 1940082917737207.
- [43] Ponomarev E., Zabrodin A., Ponomareva T. Classification of fire damage to boreal forests of Siberia in 2021 based on the dNBR index // *Fire*, 2022, v. 5, no. 1, p. 19.
- [44] Seidl R., Schelhaas M.-J., Rammer W., Verkerk P.J. Increasing forest disturbances in Europe and their impact on carbon storage // *Nature Climate Change*, 2014, v. 4 (9), pp. 806–810. <https://doi.org/10.1038/nclimate2318>
- [45] Van Wagner C.E. Development and structure of the Canadian Forest Fire Weather Index System, of Forestry Technical Report // *Canadian Forestry Service*, 1987, v. 35. <https://cfs.nrcan.gc.ca/publications?id=19927>
- [46] Adámek M. Drivers of forest fire occurrence in the cultural landscape of Central Europe // *Landscape Ecology*, 2018, v. 33, pp. 2031–2045.
- [47] Kolanek A., Szymanowski M., Raczyk A. Human activity affects forest fires: The impact of anthropogenic factors on the density of forest fires in Poland // *Forests*, 2021, v. 12. no. 6, p. 728.
- [48] Polish National Forest Fire Information System NFFIS. URL: <http://bazapozarow.ibles.waw.pl:8080/ibl-ppoz-web/export.xhtml> (дата обращения 11.10.2024).
- [49] Venäläinen A. Climate change induces multiple risks to boreal forests and forestry in Finland: A literature review // *Global change biology*, 2020, v. 26. no. 8, pp. 4178–4196.
- [50] Lehtonen I., Venäläinen A., Kämäräinen M., Peltola H., Gregow H. Risk of large-scale forest fires in boreal forests in Finland under changing climate // *Natural Hazards and Earth Systems Sciences*, 2016, v. 16, pp. 239–253. <https://doi.org/10.5194/nhess-16-239-2016>
- [51] Venäläinen A., Lehtonen I., Mäkelä, A. The risk of large forest fires in Finland // *Finnish Meteorological Institute, Reports*, 2016, v. 3. <https://helda.helsinki.fi/handle/10138/161478>
- [52] Lehtonen I., Kämäräinen M., Gregow H., Venäläinen A., Peltola H. Heavy snow loads in Finnish forests respond regionally asymmetrically to projected climate change // *Natural Hazards and Earth Systems Sciences*, 2016, v. 16, pp. 2259–2271. <https://doi.org/10.5194/nhess-16-2259-2016>
- [53] Cardille J.A., Ventura S.J., Turner M. Environmental and social factors influencing wildfires in the Upper Midwest, United States // *Ecol. Appl.*, 2001, v. 11, pp. 111–127.
- [54] Xu N., Shao G., Dai L., Hao Z., Tang L., Wang H. Mapping forest fire risk zones with spatial data and principal component analysis // *Sci. China Ser. E Technol. Sci.*, 2006, v. 49, pp. 140–149.

- [55] Bonazountas M., Kallidromitou D., Kassomenos P., Passas N. A decision support system for managing forest fire casualties // *J. Environ. Manag.*, 2007, v. 84, pp. 412–418.
- [56] Grünig M., Seidl R., Senf C. Increasing aridity causes larger and more severe forest fires across Europe // *Global Change Biology*, 2023, v. 29, no. 6, pp. 1648–1659.
- [57] Официальный сайт Федерального агентства лесного хозяйства (Рослесхоз). URL: <https://rosleshoz.gov.ru/> (дата обращения 21.10.2024).
- [58] Мелехов И.С. Лесная пирология. М.: МЛТИ, 1978. 80 с.
- [59] Орлов А.М., Андреев Ю.А., Чаков В.В., Позднякова В.В. Пожарная обстановка в лесах Хабаровского края. Хабаровск: Хабаровская краевая типография, 2022. 160 с.
- [60] Bartenev I.M., Malyukov S.V., Gnusov M.A., Stupnikov D.S. Study of efficiency of soil-thrower and fire-break majer on the basis of mathematic simulation // *Int. J. Mech. Eng. Technol*, 2018, no. 9, pp. 1008–1018.
- [61] Kasymov D.P., Fateyev V.N., Zima V.P. Methods and devices used in the wildfire localization for the protection of forest ecosystems // *Proceedings of the 23rd Int. Symp. on Atmospheric and Ocean Optics: Atmospheric Physics*, Irkutsk, Russia, 2017, p. 1046664.
- [62] Mell W.E., Manzello S.L., Maranghides A., Butry D., Rehm R.G. The wildland-urban interface fire problem-current approaches and research needs // *Int. J. Wildland Fire*, 2010, no. 19, pp. 238–251.
- [63] Административно-территориальное деление Центрального федерального округа URL: <https://www.openstreetmap.org/relation/1029256> (дата обращения 02.12.2025).

## Сведения об авторах

**Попова Акмарал Дулатовна**  — гл. специалист, ФБУ «Центральная база авиационной охраны лесов «Авиалесоохрана» (ФБУ «Авиалесоохрана»), [akmaral.igenovna@bk.ru](mailto:akmaral.igenovna@bk.ru)

**Коротков Сергей Александрович** — канд. биол. наук, доцент, ФГАОУ ВО «Московский государственный технический университет имени Н.Э. Баумана (национальный исследовательский университет)» (Мытищинский филиал); ст. науч. сотр. лаборатории лесоводства и биологической продуктивности, ФГБУН Институт лесоведения Российской академии наук (ИЛАН РАН), [skorotkov-71@mail.ru](mailto:skorotkov-71@mail.ru)

Поступила в редакцию 01.11.2024.

Одобрено после рецензирования 23.09.2025.

Принята к публикации 04.12.2025.

## FOREST FIRE DYNAMICS IN CENTRAL FEDERAL DISTRICT OF RUSSIA

A.D. Popova<sup>1</sup> , S.A. Korotkov<sup>2,3</sup>

<sup>1</sup>Avialesookhrana, 20, Gorky st., 141207, Pushkino, Moscow reg., Russia

<sup>2</sup>BMSTU (Mytishchi branch), 1, 1st Institutskaya st., 141005, Mytishchi, Moscow reg., Russia

<sup>3</sup>Institute of Forest Science RAS (IFS RAS), 21, Sovetskaya st., village Uspenskoe, Odintsovo district, 143030, Moscow reg., Russia

[akmaral.igenovna@bk.ru](mailto:akmaral.igenovna@bk.ru)

Forest fires are a serious problem in the Central Federal District. They are caused by a climate change, thunderstorms and anthropogenic factors. The article analyzes the dynamics of the number and areas of forest fires in 2004–2023, it also analyzes the distribution of forest lands by classes of natural fire danger in the constituent parts of the Central Federal District of Russia, summarizes the causes of the forest fire situation in recent years and provides general recommendations to reduce its intensity. The results of the study show significant fluctuations in the number and area of forest fires in different periods with an increase in 2006, 2010, 2018, 2019 and 2020. In the period from 2004 to 2023, the Central Federal District accounted for 2,6 % of the area covered by fire and 11,4 % of the number of fires in Russia. The average score of the natural fire hazard class in the district was 3.1. The average annual area of forest fires during the period under review in the Central Federal District is about 280 thousand. The burning capacity of forests in the district as a whole during the period under review was relatively low, in comparison with other federal districts of Russia. In terms of specific gravity, the highest rates since 2004 have been found in the Lipetsk, Belgorod, Voronezh, Kaluga, Oryol and Tver regions. The largest area of forested land was covered by fire in 2019 and amounted to about 1 million ha, while the area of one fire was the maximum in 2010 covering 301,5 ha. The average area of one fire in the Central Federal District during the study period is 110,1 ha. The main cause of forest fires in the Central Federal District regions is the anthropogenic factor, which is due to intensive forest management and high population density. Recommendations for reducing fire danger in the central regions of the country are proposed.

**Keywords:** forest fires, forest fire situation, forest fund lands, IDSM Rosleskhoz, Central Federal District

**Suggested citation:** Popova A.D., Korotkov S.A. *Dinamika lesnyh pozharov na territorii Central'nogo federal'nogo okruga Rossii* [Forest fire dynamics in Central Federal District of Russia]. *Lesnoy vestnik / Forestry Bulletin*, 2026, vol. 30, no. 1, pp. 30–44. DOI: 10.18698/2542-1468-2026-1-30-44

## References

- [1] Hellberg E., Niklasson M., Granstrom A. Influence of landscape structure on patterns of forest fires in boreal forest landscapes in Sweden. *Can. J. For. Res.*, 2004, v. 34, pp. 332–338.
- [2] Krawchuk M., Cumming S., Flannigan M. Predicted changes in fire weather suggest increases in lightning fire initiation and future area burned in the mixedwood boreal forest. *Climatic Change*, 2009, v. 92, pp. 83–97.
- [3] Flannigan M., Cantin A.S., de Groot W.J., Wotton M., Newbery A., Gowman L.M. Global wildland fire season severity in the 21st century. *Forest Ecology and Management*, 2013, v. 294, pp. 54–61.
- [4] Bartels S.F., Chen H.Y.H., Wulder M.A., White J.C. Trends in post-disturbance recovery rates of Canada's forests following wildfire and harvest. *Forest Ecology and Management*, 2016, v. 361, pp. 194–207.
- [5] Hall R.J., Skakun R.S., Metsaranta J.M. Generating annual estimates of forest fire disturbance in Canada: The National Burned Area Composite. *International J. of Wildland Fire*, 2020, v. 29 (10), pp. 878–891. DOI: 10.1071/WF19201
- [6] Ivanov V.A., Ivanova G.A. *Pozhary ot groz v lesakh Sibiri* [Fires from thunderstorms in the forests of Siberia]. Novosibirsk: Nauka, 2010, 164 p.
- [7] Kukavskaya E.A., Buryak L.V., Ivanova G.A., Conard S.G., Kalenskaya O.P., Zhila S.V., McRae D.J. Influence of logging on the effects of wildfire in Siberia. *Environ. Res. Lett.*, 2013, v. 8, no. 1, pp. 1–11.
- [8] Gabysheva L.P., Isaev A.P. Forest fires impact on microclimatic and soil conditions in the forest of criolithic zone (Yakutia, North-Eastern Russia). *Sib. J. For. Sci.*, 2015, no. 6, pp. 96–111.
- [9] Buryak L.V., Kukavskaya E.A., Kalenskaya O.P., Malykh O.F., Baksheeva E.O. *Posledstviya lesnykh pozharov v yuzhnykh i tsentral'nykh rayonakh Zabaykalskogo kraya* [Consequences of forest fires in the southern and central regions of the Trans-Baikal Territory]. *Sibirskiy lesnoy zhurnal* [Siberian Forest J.], 2016, no. 6, pp. 94–102.
- [10] Shikhov A.N., Zaripov A.S. *Mnogoletnyaya dinamika poter' lesov ot pozharov i vetrovalov na severo-vostoke Evropeyskoy Rossii po sputnikovym dannym* [Long-term dynamics of forest losses from fires and windfalls in the north-east of European Russia according to satellite data]. *Sovremennyye problemy distantsionnogo zondirovaniya Zemli iz kosmosa* [Modern problems of remote sensing of the Earth from space], 2018, v. 15, no. 7, pp. 114–128.
- [11] Matveeva A.G. *Dinamika lesnykh pozharov na Dal'nem Vostoke Rossii* [Dynamics of forest fires in the Far East of Russia]. *Sibirskiy lesnoy zhurnal* [Siberian Forest J.], 2021, no. 6, pp. 30–38.
- [12] Ignat'eva A.V., Baranovskiy N.V. *Dinamika lesnykh pozharov v Respublike Buryatiya* [Dynamics of forest fires in the Republic of Buryatia]. *Voprosy lesnoy nauki* [Questions of forest science], 2022, v. 5, no. 2, pp. 140–159.
- [13] Lezhnev D.V. *Sovremennoe sostoyanie i dinamika lesnogo fonda Moskovskoy oblasti* [The current state and dynamics of the forest fund of the Moscow region]. *Okhrana, innovatsionnoe vosstanovlenie i ustoychivoe upravlenie lesami. Forestry – 2023* [Protection, innovative restoration and sustainable forest management. Forestry – 2023]. Voronezh: Voronezh State Forestry Engineering University named after G.F. Morozov, 2023, pp. 71–79. DOI 10.58168/Forestry2023\_71-79
- [14] Kalinin R.K., Ivashnev M.V., Vasil'ev A.S. *Dinamika lesnykh pozharov na territorii Respubliki Kareliya* [Dynamics of forest fires in the Republic of Karelia]. *Lesnaya Rossiya i khozyaystvo v nikh* [Forests of Russia and their management], 2024, no. 2 (89), pp. 77–88.
- [15] *Ofitsial'nyy sayt Federal'noy sluzhby gosudarstvennoy statistiki (Rosstat)* [The official website of the Federal State Statistics Service (Rosstat)]. Available at: <https://rosstat.gov.ru/> (accessed 21.10.2024).
- [16] Kuznetsova N.F., Sautkina M.Yu. *Sostoyanie lesov i dinamika ikh porodnogo sostava v Tsentral'nom federal'nom okruge* [The state of forests and the dynamics of their species composition in the Central Federal District]. *Lesokhozyaystvennaya informatsiya* [Forestry information], 2019, no. 2, pp. 25–45.
- [17] Korotkov S.A. *Smena sostava drevostoev i ustoychivost' zashchitnykh lesov tsentral'noy chasti Russkoy ravniny* [Change of the composition of stands and the stability of protective forests in the central part of the Russian plain]. Moscow: Valor of the epochs, 2023, 168 p.
- [18] Korotkov S.A., Drobyshch Yu.I. *Dinamika nasazhdeniy s uchastiem eli v zashchitnykh lesakh Podmoskov'ya* [Dynamics of protective spruce stands in Moscow region]. *Lesnoy vestnik / Forestry Bulletin*, 2021, vol. 25, no. 4, pp. 27–33. DOI: 10.18698/2542-1468-2021-4-27-33
- [19] Lezhnev D.V., Lebedev A.V. *Transformatsiya struktury sosnovykh formatsiy v urbanizirovannykh ekosistemakh Moskvy* [Transformation of the structure of pine formations in urbanized ecosystems of Moscow]. *Vestnik Orenburgskogo gosudarstvennogo pedagogicheskogo universiteta* [Bulletin of the Orenburg State Pedagogical University], 2023, no. 2(46), pp. 74–88. DOI 10.32516/2303-9922.2023.46.5
- [20] Korotkov S., Stonozhenko L., Lezhnev D., Ereghina S. Pine Plants Formation in the North-Eastern Moscow Region. II Int. Conf. «Sustainable Development: Agriculture, Veterinary Medicine and Ecology» (VMAEE-II-2023), Karshi, 21–22 April 2023, v. 3011. New York: AIP PUBLISHING, 2023, p. 20031. DOI 10.1063/5.0161107
- [21] Ermolenko A.A. *Analiz sostoyaniya i prichin izmeneniya lesistosti v Tsentral'nom federal'nom okruge: slozhivshayasya praktika i vozmozhnyye resheniya* [Analysis of the state and causes of changes in forest cover in the Central Federal District: current practice and possible solutions]. *Lesokhozyaystvennaya informatsiya* [Forestry information], 2018, no. 4, pp. 55–65.
- [22] Korotkov S.A., Lezhnev D.V., Popova A.D. *Lesnye resursy i lesopol'zovanie v Tsentral'nom federal'nom okruge* [Forest resources and forest management in the Central Federal District]. *Okhrana i ratsional'noe ispol'zovanie lesnykh resursov: materialy mezhdunarodnoy nauchno-prakticheskoy konferentsii* [Protection and rational use of forest resources: proceedings of the International Scientific and practical conference], Heihe, August 01–03, 2023. Blagoveshchensk: Far Eastern State Agrarian University, 2023, pp. 64–74.

- [23] Ivanova S., Prosekov A., Kaledin A. A survey on monitoring of wild animals during fires using drones // *Fire*, 2022, v. 5, no. 3, p. 60.
- [24] Kasischke E.S., Bruhwiler L.P. Emissions of carbon dioxide, carbon monoxide, and methane from boreal forest fires in 1998 // *J. of Geophysical research*, 2003, v. 108, no. D1, p. 8146.
- [25] Tulokhonov A.K., Puntsukova S.D. *Lesnye pozhary v Respublike Buryatiya v usloviyakh izmeneniya klimata* [Forest fires in the Republic of Buryatia in the context of climate change]. *Obshchestvo: politika, ekonomika, pravo* [Society: politics, economics, law], 2016, no. 3, pp. 72–78.
- [26] Gusev D.V. *Estestvennoe vozobnovlenie sosny posle nizovykh pozharov na territorii Leningradskoy oblasti* [Natural renewal of pine trees after grass-roots fires in the Leningrad region]. *Izvestiya Sankt-Peterburgskoy lesotekhnicheskoy akademii* [Proceedings of the St. Petersburg Forestry Academy], 2016, no. 215, pp. 30–40.
- [27] Danilov D.A., Bacherikov I.V., Smirnov A.P. *Gorimost' lesov na Severo-Zapade Rossii v svyazi s meteorologicheskimi faktorami* [The burning of forests in the North-West of Russia in connection with meteorological factors]. *Lesnaya Rossiya: politika, promyshlennost', nauka, obrazovanie: mater. VI Vserossiyskoy nauchno-tekhnicheskoy konferentsii* [Forests of Russia: politics, industry, science, education: materials of the VI All-Russian Scientific and Technical Conference], St. Petersburg, 26–28 May 2021, v. 1. St. Petersburg: St. Petersburg State Forestry Engineering University named after S.M. Kirov, 2021, pp. 146–149.
- [28] Jonsson M., Wardle D.A. Structural equation modelling reveals plant-community drivers of carbon storage in boreal forest ecosystems. *Biology Letters*, 2010, v. 6, pp. 116–119.
- [29] Shvidenko A.Z., Shchepashchenko D.G. *Klimaticheskie izmeneniya i lesnye pozhary v Rossii* [Climatic changes and forest fires in Russia]. *Lesovedenie* [Forest science], 2013, no. 5, pp. 50–61.
- [30] Leifeld J., Alewell C., Bader C., Krüger J.P., Mueller C.W., Sommer M., Steffens M., Szidat S. Pyrogenic carbon contributes substantially to carbon storage in intact and degraded northern peatlands. *Land Degrad. Dev.*, 2018, v. 29, pp. 2082–2091.
- [31] Volokitina A.V. *Sovershenstvovanie otsenki prirodnoy pozharnoy opasnosti v zapovednikakh* [Improving the assessment of natural fire danger in nature reserves]. *Geografiya i prirodnye resursy* [Geography and natural resources], 2017, no. 1, pp. 55–61.
- [32] Lebedev A.V. Changes in the growth of Scots pine (*Pinus sylvestris* L.) stands in an urban environment in European Russia since 1862. *J. of Forestry Research*, 2023, v. 34, no. 5, pp. 1279–1287.
- [33] Lindner M. Climate change and European forests: what do we know, what are the uncertainties, and what are the implications for forest management? *J. of Environmental Management*, 2014, v. 146, pp. 69–83.  
DOI: 10.1016/j.jenvman.2014.07.030
- [34] Bowman D.M.J.S., Kolden C.A., Abatzoglou J.T., Johnston F.H., van der Werf G.R., Flannigan M. Vegetation fires in the Anthropocene. *Nat. Rev. Earth Environ*, 2020, no. 1, pp. 500–515.
- [35] Novenko E. Effects of Climate Change and Fire on the Middle and Late Holocene Forest History in Yenisei Siberia. *Forests*, 2023, v. 14, no. 12, p. 2321.
- [36] Shvidenko A.Z., Shchepashchenko D.G., Vaganov E.A., Sukhinin A.I., Maksyutov Sh.Sh., MkhKallum I., Lakida I.P. *Vliyaniye prirodnykh pozharov v Rossii 1998–2010 gg. na ekosistemy i global'nyy uglerodnyy byudzhel* [The impact of wildfires in Russia in 1998–2010 on ecosystems and the global carbon budget]. *Doklady RAN* [Reports of the Russian Academy of Sciences], 2011, v. 441, no. 4, pp. 544–548.
- [37] Ikonen V.P. Regional risks of wind damage in boreal forests under changing management and climate projections. *Canadian J. of Forest Research*, 2017, v. 47, no. 12, pp. 1632–1645.
- [38] McKillup S. *Statistics explained. An introductory guide for life scientists*. England: Cambridge University Press, 2005, 267 p.
- [39] Ponomarev E.I., Kharuk V.I., Ranson K.J. Wildfires dynamics in Siberian larch forests. *Forests*, 2016, v. 7, no. 6, p. 125.
- [40] Gusev D.V., Danilov D.A., Belyaeva N.V. *Analiz sostoyaniya podrosta sosny posle nizovykh pozharov v Leningradskoy oblasti* [Analysis of the state of pine undergrowth after grass-roots fires in the Leningrad region]. *Lesotekhnicheskii zhurnal* [Forestry J.], 2018, v. 8, no. 2 (30), pp. 46–54.
- [41] Berčák R. Fire protection principles and recommendations in disturbed forest areas in central Europe: a review. *Fire*, 2023, v. 6, no. 8, p. 310.
- [42] Juárez-Orozco S.M., Siebe C., Fernández y Fernández D. Causes and effects of forest fires in tropical rainforests: a bibliometric approach. *Tropical Conservation Science*, 2017, v. 10, p. 1940082917737207.
- [43] Ponomarev E., Zabrodin A., Ponomareva T. Classification of fire damage to boreal forests of Siberia in 2021 based on the dNBR index. *Fire*, 2022, v. 5, no. 1, p. 19.
- [44] Seidl R., Schelhaas M.-J., Rammer W., Verkerk P.J. Increasing forest disturbances in Europe and their impact on carbon storage. *Nature Climate Change*, 2014, v. 4 (9), pp. 806–810. <https://doi.org/10.1038/nclimate2318>
- [45] Van Wagner C.E. Development and structure of the Canadian Forest Fire Weather Index System, of Forestry Technical Report. Canadian Forestry Service, 1987, v. 35. <https://cfs.nrcan.gc.ca/publications?id=19927>
- [46] Adámek M. Drivers of forest fire occurrence in the cultural landscape of Central Europe. *Landscape Ecology*, 2018, v. 33, pp. 2031–2045.
- [47] Kolanek A., Szymanowski M., Raczek A. Human activity affects forest fires: The impact of anthropogenic factors on the density of forest fires in Poland. *Forests*, 2021, v. 12, no. 6, p. 728.
- [48] *Ofitsial'nyy sayt Federal'nogo agentstva lesnogo khozyaystva (Rosleskhoz)* [Polish National Forest Fire Information System NFFIS]. Available at: <http://bazapozarow.ibles.waw.pl:8080/ibl-ppoz-web/export.xhtml> (accessed 11.10.2024).
- [49] Venäläinen A. Climate change induces multiple risks to boreal forests and forestry in Finland: A literature review. *Global change biology*, 2020, v. 26, no. 8, pp. 4178–4196.

- [50] Lehtonen I., Venäläinen A., Kämäräinen M., Peltola H., Gregow H. Risk of large-scale forest fires in boreal forests in Finland under changing climate. *Natural Hazards and Earth Systems Sciences*, 2016, v. 16, pp. 239–253. <https://doi.org/10.5194/nhess-16-239-2016>
- [51] Venäläinen A., Lehtonen I., Mäkelä, A. The risk of large forest fires in Finland. Finnish Meteorological Institute, Reports, 2016, v. 3. <https://helda.helsinki.fi/handle/10138/161478>
- [52] Lehtonen I., Kämäräinen M., Gregow H., Venäläinen A., Peltola H. Heavy snow loads in Finnish forests respond regionally asymmetrically to projected climate change. *Natural Hazards and Earth Systems Sciences*, 2016, v. 16, pp. 2259–2271. <https://doi.org/10.5194/nhess-16-2259-2016>
- [53] Cardille J.A., Ventura S.J., Turner M. Environmental and social factors influencing wildfires in the Upper Midwest, United States. *Ecol. Appl.*, 2001, v. 11, pp. 111–127.
- [54] Xu N., Shao G., Dai L., Hao Z., Tang L., Wang H. Mapping forest fire risk zones with spatial data and principal component analysis. *Sci. China Ser. E Technol. Sci.*, 2006, v. 49, pp. 140–149.
- [55] Bonazountas M., Kallidromitou D., Kassomenos P., Passas N. A decision support system for managing forest fire casualties. *J. Environ. Manag.*, 2007, v. 84, pp. 412–418.
- [56] Grünig M., Seidl R., Senf C. Increasing aridity causes larger and more severe forest fires across Europe. *Global Change Biology*, 2023, v. 29, no. 6, pp. 1648–1659.
- [57] *Ofitsial'nyy sayt Federal'nogo agenstva lesnogo khozyaystva (Rosleskhoz)* [The official website of the Federal Forestry Agency (Rosleskhoz)]. Available at: <https://rosleshoz.gov.ru/> (accessed 21.10.2024).
- [58] Melekhov I.S. *Lesnaya pirologiya* [Forest pyrology. Textbook for students of forestry faculties]. Moscow: MLTI, 1978, 80 p.
- [59] Orlov A.M., Andreev Yu.A., Chakov V.V., Pozdnyakova V.V. *Pozharnaya obstanovka v lesakh Khabarovskogo kraja* [Fire situation in the forests of the Khabarovsk Territory]. Khabarovsk: Khabarovskaya kraevaya tipografiya [Khabarovsk Regional Printing House JSC], 2022, 160 p.
- [60] Bartenev I.M., Malyukov S.V., Gnusov M.A., Stupnikov D.S. Study of efficiency of soil-thrower and fire-break majer on the basis of mathematic simulation. *Int. J. Mech. Eng. Technol.*, 2018, no. 9, pp. 1008–1018.
- [61] Kasymov D.P., Fateyev V.N., Zima V.P. Methods and devices used in the wildfire localization for the protection of forest ecosystems. *Proceedings of the 23rd International Symposium on Atmospheric and Ocean Optics: Atmospheric Physics, Irkutsk, Russia, 2017*, p. 1046664.
- [62] Mell W.E., Manzello S.L., Maranghides A., Butry D., Rehm R.G. The wildland–urban interface fire problem—current approaches and research needs. *Int. J. Wildland Fire*, 2010, no. 19, pp. 238–251.
- [63] *Administrativno-territorial'noe delenie Central'nogo federal'nogo okruga* [Administrative-territorial division of the Central Federal District]. Available at: <https://www.openstreetmap.org/relation/1029256> (accessed 02.12.2025).

## Authors' information

**Popova Akmaral Dulatovna**✉ — Chief specialist of Avialesookhrana, [akmaral.igenova@bk.ru](mailto:akmaral.igenova@bk.ru)  
**Korotkov Sergey Aleksandrovich** — Cand. Sci. (Biology), Associate Professor of the BMSTU (Mytishchi branch); Senior Researcher at the Laboratory of Forestry and Biological Productivity of the Institute of Forestry Sciences of the Russian Academy of Sciences, [skorotkov-71@mail.ru](mailto:skorotkov-71@mail.ru)

Received 01.11.2024.

Approved after review 23.09.2025.

Accepted for publication 04.12.2025.

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

## СРЕДООБРАЗУЮЩИЕ ФУНКЦИИ НАСАЖДЕНИЙ СОСНЫ ОБЫКНОВЕННОЙ (*PINUS SYLVESTRIS* L.)

Д.В. Лежнев<sup>1, 2</sup>

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

<sup>2</sup>ФГБУН Институт лесоведения Российской академии наук (ИЛАН РАН), Россия, 143030, Московская обл., с. Успенское, ул. Советская, д. 21

lezhnev.daniil@yandex.ru

Приведен обзор российских и зарубежных литературных источников, посвященных изучению средообразующих функций сосны обыкновенной (*Pinus sylvestris* L.), включая накопление биомассы, сохранение среды обитания, в зависимости от типа лесорастительных условий. Показано, что эколого-биологические особенности вида-эдикатора, лесоводственно-таксационные характеристики древостоев и их пространственная структура определяют интенсивность ключевых экосистемных функций. Рассмотрено влияние структурной организации сосновых формаций на температуру и влажность воздуха, температурный режим почв, скорость ветра, осадки, снегоотложение и снеготаяние, пылезадержание, а также на экологические условия в целом на урбанизированной территории. Особое внимание уделено санитарно-гигиенической роли сосняков, обусловленной фитонцидной активностью хвои и коры. Показано, что максимальные значения продуцирования кислорода и запаса углерода характерны для сосновых экосистем низменных, нередко заболоченных ландшафтов с минимальным антропогенным воздействием, при этом в городских и пригородных лесах наблюдается снижение большинства средообразующих показателей.

**Ключевые слова:** сосна обыкновенная, средообразующие функции, лесные экосистемы, экосистемные услуги, фитонциды, окружающая среда, изменение климата

**Ссылка для цитирования:** Лежнев Д.В. Средообразующие функции насаждений сосны обыкновенной (*Pinus sylvestris* L.) // Лесной вестник / Forestry Bulletin, 2026. Т. 30. № 1. С. 45–61.  
DOI: 10.18698/2542-1468-2026-1-45-61

Лес как наземная экосистема с самым высоким уровнем биоразнообразия широко известен своим значением в сохранении биоразнообразия и поддержании многофункциональности экосистем [1–5]. Лесные экосистемы, как правило, хорошо приспособлены для несения большинства экосистемных функций, перечисленных в современных концепциях [6, 7]. При этом смешанные леса способны поддерживать более высокий уровень функционирования экосистем, чем монопородные. Также известно, что важность разнообразия древостоя как движущей силы функционирования экосистем значительно варьирует в зависимости от типа леса, природной зоны и климатических условий [8–16].

Структурная организация леса имеет важное значение в регулировании циркуляции воды и воздуха. Сомкнутость полога, форма листьев и особенности ветвления считаются ключевыми факторами, влияющими на способность полога

накапливать воду. Высота деревьев влияет на смыкание крон и энергообмен с атмосферой. Полнота древостоя регулирует видовое разнообразие нижних ярусов леса. Кроме того, пространственное расположение и структура растительного покрова леса определяют средообразующие функции [17–20].

В настоящее время стремительно развиваются исследования, направленные на изучение биоразнообразия и функций лесных экосистем [21–26].

На снижение экосистемных функций и возникновение проблем в лесных экосистемах более всего влияет антропогенный фактор, который максимально проявляется в изменении интенсивности лесопользования. Изменение климата и высокая интенсивность лесопользования обуславливают изменения в структуре лесных экосистем и происходящих в них процессах, что впоследствии снижает способность экосистем нести свои экологические функции [20, 27].

Выделяют несколько групп природных экологических функций, которые выполняют

лесные насаждения: средообразующие, защитные и стабилизирующие функции [28].

Наиболее важной для состояния здоровья людей является группа средообразующих функций лесных экосистем — это выделение в процессе фотосинтеза кислорода и фитонцидов. Они улучшают качество атмосферного воздуха и создают необходимые для жизнедеятельности человека условия [29].

Средообразующие функции леса проявляются в формировании фитоценозов, зооценозов, микроценозов и их комплексном влиянии на воду, почвы и в целом на окружающую среду [30].

Средообразующие функции леса — это значение лесных биогеоценозов в формировании среды, обеспечивающей благоприятные условия [31].

А.И. Татаркин и В.Г. Логинов [32], проанализировавшие глобальное значение лесных экосистем в жизни общества, определили лесные ресурсы, как комплекс древесных и недревесных, а также иных, ей присущих природных ресурсов. Данная формулировка средообразующих функций леса появилась и благодаря идеям В.В. Докучаева [33] о взаимосвязи всех природных явлений, о целостности природных экосистем, а также появлению и развитию биогеоценологических представлений о лесе, разработанного академиком В.Н. Сукачевым [34].

Некоторые авторы в своих исследованиях средообразующих функций лесов в зоне хвойно-широколиственных лесов, в пределах которой расположена Московская агломерация, большое значение уделяют фитомассе, мортмассе, продуцированию кислорода и депонированию углерода [35–37].

Средообразующие функции лесных экосистем, произрастающих в различных природных зонах, будут отличаться так же, как и их реакция на антропогенный фактор [38–40].

А.Ф. Рудзким [41] был предложен термин «невесомые» полезности. М.М. Орлов [42] обратил внимание на примеры невесомой полезности лесных экосистем.

А.Б. Жуков и А.И. Бузыкин [43] считают, что средообразующее значение лесов обусловлено объемом фитомассы и ее качественными показателями. На этом основании данные авторы предложили термин «биогеоценологическая продуктивность» с разделением продуктивности на «весомую» и «невесомую».

«Невесомые полезности леса» в большей степени относятся к рекреационным, духовным и эстетическим свойствам лесных экосистем, а также стоит выделить продуцирование кислорода и депонирование углерода [44].

И.И. Яценко [45] сформулировал требование к оценке лесов с точки зрения их рекреационной роли: лес, кроме всего прочего, представляет высокую эстетическую ценность для человека.

Г.Ф. Морозов [46] придавал большое значение антропогенному фактору в жизни леса. Антропогенное воздействие на лесные насаждения проявляется по-разному и зависит от физико-географической обстановки.

Зарубежные авторы связывают «невесомые полезности леса» в основном с защитными функциями лесов и с недревесной продукцией [47, 48].

На данном этапе развития науки о лесе общество пришло к общему выводу о том, что оценка лесных ресурсов только с позиции древесной продукции не является полной. Увеличивающийся интерес к средообразующим функциям лесных экосистем предопределяет многоцелевое использование ресурсов, в том числе через расширение зоны интенсивной модели использования лесов, что в полном объеме соответствует действующей «Стратегии развития лесного комплекса Российской Федерации до 2030 года» [49], где закреплено развитие многоцелевого использования и совершенствование системы лесопользования, что является важной государственной задачей в лесном комплексе.

Сосновые формации представляют собой ценные природные системы, выполняющие ключевые средообразующие, водоохранные, почвозащитные, климаторегулирующие и другие функции. Наибольшую ценность представляют средообразующие функции лесов.

Увеличение антропогенной нагрузки на лесные экосистемы в последние десятилетия обусловило обострение многих экологических проблем, особенно в густонаселенных регионах. Изучение средообразующих функций сосновых формаций составляет важное направление лесной экологии. Оно способствует глубокому пониманию механизмов взаимодействия природных процессов, разработке стратегий их сохранения и восстановления, что представляет собой актуальную проблему в условиях растущей антропогенной нагрузки и изменения климата.

## Цель работы

Цель работы — изучение средообразующих функций сосновых насаждений и их значение для окружающей среды на урбанизированных территориях по литературным материалам.



Ареал распространения вида *Pinus sylvestris* L.  
Distribution area of Scots pine (*Pinus sylvestris* L.)

## Результаты и обсуждение

Средообразующие функции лесных экосистем напрямую зависят от их породного состава, а также от эколого-биологических особенностей видов-эдикторов, которые образуют древостой. Подробно рассмотрим основные характеристики сосны обыкновенной (*Pinus sylvestris* L.).

**Эколого-биологические характеристики сосны обыкновенной.** Хвойное растение, широко распространенный вид рода *Pinus* семейства *Pinaceae*. Занимает обширный ареал в Северном полушарии. В естественных условиях вид широко распространен в Евразии — от Испании и Великобритании на западе и до бассейна р. Алдан и среднего течения р. Амур в Восточной Сибири. На севере сосна обыкновенная встречается до широт Норвегии, на юге — имеет ареалы в Турции, Монголии и Китае. На севере ареала растение поднимается на высоту до 1000 м н. у. м., на юге — 1200...2500 м [50, 51]. В пределах Российской Федерации сосна распространена от г. Мурманска на севере до Кавказских гор на юге и от Калининграда на западе до Дальнего Востока (рисунок) [52–54].

В различных местах ареала сосна обыкновенная неоднородна по следующим особенностям: морфологическим, биологическим и

эколого-физиологическим, соответственно, и по лесоводственным свойствам в целом [55].

На сегодняшний день ареал сосны обыкновенной — самый обширный по сравнению с другими древесными породами, что в свою очередь обусловлено ее интразональностью. Обширность ареала сосны обыкновенной свидетельствует о том, что данный вид проявляет сильно выраженную географическую изменчивость [55, 56].

Часть авторов отмечают [57–60], что данный вид обладает широкой экологической пластичностью. Для сосны обыкновенной выделено множество экотипов, форм, рас и подвидов. Следовательно, данную породу можно отнести к полиморфным видам.

Сосна обыкновенная считается классическим примером непрерывной географической изменчивости популяционных систем. У нее при отсутствии выраженного горного рельефа происходит клинальная (плавная) изменчивость генетической структуры, фенотипических признаков и свойств, распространяясь в субширотном и субмеридиональном направлениях за изменением макроклиматических параметров [61]. В таких случаях границы внутривидовых таксонов проводятся достаточно условно [55, 62]. Однако региональные особенности географической изменчивости и популяционной структуры вида должны обязательно учитываться при ведении лесного хозяйства.

Сосна обыкновенная имеет способность к адаптации в различных экологических условиях. Преимуществом сосны по сравнению с другими лесообразующими породами является нетребовательность к почвенным условиям. Данная порода возобновляется только семенным путем. Наиболее успешно это происходит на бедных сухих и заболоченных почвах, так как в этих условиях конкуренция практически отсутствует [52, 57, 63, 64]. Наиболее благоприятными для роста сосны являются легкие песчаные и супесчаные почвы. В отличие от других древесных пород она обладает исключительной способностью формировать леса на бедных, а также сильно заболоченных почвах [65].

Что касается более богатых почв, следует отметить наличие конкуренции со стороны травянистой растительности и лиственных древесных пород (березы и липы), что приводит к значительному ухудшению условий для роста и развития особей сосны обыкновенной или вовсе к их отсутствию. Наиболее благополучно возобновление сосны происходит на сухих бедных и на торфяных почвах с избыточным увлажнением [66–69].

Сосна успешно приспосабливается к различным условиям произрастания, но ее возобновление имеет известные сложности. Во-первых, всходы сосны подвергаются сильному влиянию заморозков. Во-вторых, подрост последующего возобновления страдает от затенения при быстром росте лиственных пород [68].

Низкая конкурентоспособность сосны обусловлена ее светолюбием на всех стадиях онтогенеза, однако по некоторым лесоводственным свойствам она может значительно превосходить иные лесообразующие породы.

Корневая система у сосны очень пластична и способна изменяться в зависимости от почвенно-грунтовых факторов [70, 71]. Одновременно с мощным стержневым корнем она способна формировать один или несколько ярусов горизонтально ветвящихся корней, что повышает ее устойчивость [72]. Однако на болотистых территориях сосна формирует поверхностную корневую систему и становится ветровальной [73].

Способность сосны обыкновенной выживать в крайне засушливых условиях обеспечивается ксероморфной организацией вида. Она имеет повышенную устойчивость к иссушению почвы. На почвах с избыточным увлажнением и на сфагновых болотах успешное развитие сосны обусловлено устойчивостью корней к недостатку кислорода [74–76].

Сосну обыкновенную за счет сочетания универсальной хозяйственной ценности, продуктивности, распространенности и широкой

экологической нормы реакции по праву относят к одной из самых ценных древесных пород [61].

Среди лесообразующих пород в Российской Федерации сосна обыкновенная по площади занимает третье место и уступает только лиственнице и березе. Сосна обыкновенная распространена на обширных территориях не только в европейской части страны, но и в Западной Сибири, в частности в Ханты-Мансийском автономном округе — Югре, Томской, Свердловской, Иркутской областях, в Забайкальском крае, где она является главной лесообразующей породой. При этом общий запас древесины сосны обыкновенной (по данным государственной инвентаризации лесов на 1 января 2021 г.) составляет 21 855,1 млн м<sup>3</sup>, или 19,5 % суммарного запаса древесины России [77].

Леса, окружающие мегаполисы, заслуживают особого внимания. В настоящее время отмечается тенденция по снижению площади лесных насаждений, однако территория Москвы и Московской области — самого густонаселенного региона Российской Федерации — остается в значительной степени покрыта лесами, здесь они занимают более 1,5 млн га. При этом доля сосновых насаждений составляет примерно 20 % всей лесопокрытой площади региона [78, 79].

Московский регион характеризуется высоким антропогенным воздействием на лесные экосистемы. Наиболее уязвимыми при техногенном развитии региона оказываются лесные массивы [80–82].

В настоящее время актуальна проблема сохранения лесных массивов, являющихся экологическими каркасами регионов [83]. Урбанизированная среда — это совокупность условий, созданных под воздействием природы и человека в границах городов и их пригородов. В условиях Московской городской агломерации большую ценность имеет эстетическое восприятие человеком ландшафта, неотъемлемой частью которого являются зеленые насаждения [84].

Для Московского региона сосновые формации имеют большое значение, так как они улучшают климат, поддерживают газовый баланс атмосферного воздуха, защищают ландшафты от разрушения и очищают воздух, а также дают разнообразную продукцию, применяемую в различных сферах деятельности человека. Последующее использование и сохранение сосновых биогеноценозов допустимо только при научно-обоснованном лесопользовании [85, 86].

Сосна отличается наилучшим ростом среди других лесообразующих пород на территории Московского региона. Значительная скорость роста в высоту осевого побега позволяет

данной породе господствовать при совместном произрастании в разновозрастных высокоплотных насаждениях. Сосна формирует основной полог на несколько метров выше других деревьев и впоследствии входит в господствующий полог насаждения [72, 87, 88].

Сосновые формации в условиях Московского региона отличаются достаточно высокой долговечностью. Они сохраняют высокую продуктивность в возрасте более 200 лет. Несмотря на комплекс негативных внешних воздействий, сосновые древостои продолжают оставаться высокобонитетными [89, 90]. В настоящее время авторы отмечают протекающую сукцессионную смену сосновых фитоценозов на широколиственные (с преобладанием липы мелколиственной (*Tilia cordata* Mill.) и клена остролистного (*Acer platanoides* L.), реже ели европейской (*Picea abies* (L.) N. Karst) [91–94]. Это в перспективе может привести к изменению средообразующих функций сосновых экосистем в Московском регионе.

Сосновые леса являются природными экосистемами, которые выполняют важные функции, в том числе и для человека. Функции лесных сообществ — это влияние на факторы окружающей среды, явления природы и компоненты биосферы, которые обусловлены характером взаимодействия с ними свойствами лесных экосистем [95].

Зарубежные и отечественные авторы отмечают значительный вклад лесных насаждений в регуляцию глобальных климатических изменений и углеродный баланс [36, 96, 97].

При количественной оценке отдельных показателей средообразующих функций сосняков (продуцирование кислорода, депонирование углерода, связывание химических загрязнителей, регулирование климата и выделение биологически активных веществ) используются данные об общей биологической продуктивности фитомассы и ее величине годичной продукции.

В.И. Рубцов [95] относит продуцирование кислорода и депонирование углерода к глобальным средообразующим функциям лесов, от которых зависит состояние климата Земли. Остальные средообразующие функции отнесены к локальным, которыми человек пользуется, находясь в лесу или рядом с ним.

В результате наблюдений О.Д. Васильевой [28] в различных физико-географических районах Московской области выявлено, что наибольшее продуцирование кислорода наблюдается в ландшафтах с низким антропогенным влиянием, в частности в пределах Верхневолжской и Мещерской низменностей. Их заболо-

ченность обуславливает относительно высокие значения запасов и депонирования углерода насаждениями. Условно-коренные сосново-еловые древостои продуцируют кислород в количестве примерно 5 т/га в год (средневзвешенное — 4,87 т/га в год), среднее депонирование углерода составляет чуть менее 2 т/га в год, а вегетационный индекс — 0,06...0,08.

Б.П. Чураковым и Е.В. Манякиной [98] была изучена биологическая продуктивность разновозрастных лесных культур сосны, в том числе созданных в рамках Киотского протокола к Рамочной конвенции ООН об изменении климата. Исследуемые лесные культуры располагались в местообитаниях, соответствующих типам сосняков: черничному, лишайниковому и разнотравному. По результатам исследования выявлено, что в среднем по трем типам леса в 5-летних культурах на 1 га накапливается 0,54 т фитомассы, где сосредоточено 0,27 т углерода. В 10-летних культурах общая фитомасса составляет 21,6 т на 1 га, где депонировано 10,8 т углерода. С улучшением лесорастительных условий увеличиваются фитомасса и депонированный углерод.

Важной средообразующей функцией соснового леса является способность к пылезадержанию. Преимущество сосны перед лиственными породами заключается в том, что она имеет возможность задерживать пыль в зимний период. Для сосновых насаждений показатель пылезадержания в среднем составляет 5–6 г/м<sup>2</sup> хвои [99]. Способность сосняков к пылезадержанию составляет примерно 4...9 т/га в год, в зависимости от класса возраста насаждения [100].

А.В. Побединский [101] отмечает, что средообразующая роль леса велика и универсальна. Проанализировав влияние средообразующих функций лесов на окружающую среду, А.В. Побединский выделил следующие группы влияния: интенсивность солнечной радиации, термический режим воздуха, влажность воздуха, экологические условия под пологом леса, температуру почвы, скорость ветра, задержание осадков, снегоотложение и снеготаяние, замерзание и оттаивание почвы в лесу.

Интенсивность солнечной радиации, которая проникает под полог древостоя, зависит от нескольких факторов: возраста, состава, строения, густоты, сомкнутости полога и др. Сосновые древостои обладают меньшей трансформирующей способностью солнечной радиации, чем еловые древостои.

Ю.Л. Цельникер [102] выявила, что доля просветов в кронах сосны обыкновенной составляет около 30 %. Наименьшее количество солнечной радиации проходит под полог хвои-

ного леса в стадии молодняка и спелом возрасте. Вместе с тем стоит отметить, что можно изменять интенсивность солнечной радиации за счет проведения различных типов рубок в насаждениях [95].

Формации сосны обыкновенной оказывают влияние на термический режим воздуха как под пологом насаждения, так и на соседних участках, что обуславливает изменения в процессах снеготаяния и формирования стока. Летом температура воздуха под пологом древостоя ниже, чем на открытых пространствах и при увеличении температуры воздуха эта разница возрастает. В зимний сезон средняя температура воздуха в хвойном лесу выше, чем вне леса. Воздействие насаждения на изменение температуры воздуха сказывается на участках, расположенных вблизи леса и на значительном расстоянии от него.

А.А. Молчанов [103], исследовав влияние строения древостоя на температуру воздуха в 65-летнем сосновом древостое на территории Московской области, пришел к выводу о том, что в сосняке с полнотой 0,9 и подлеском средней густоты температура воздуха ниже на 1,7 °С по сравнению с безлесными участками. В сосновом древостое такого же возраста и полноты, но без подлеска, температура ниже на 0,5 °С по сравнению с безлесными участками. В сосняках с густым еловым ярусом температура под пологом ниже на 2,5 °С по сравнению с безлесными участками.

Сосновые насаждения оказывают влияние на влажность воздуха, следовательно, и на экологические условия в целом. В различных лесорастительных зонах относительная влажность воздуха под пологом леса выше в среднем на 4–5 % по сравнению с открытыми участками, а абсолютная влажность воздуха выше на 0,2 % [101].

Сосняки влияют на изменение температурного режима почвы. От температуры почвы зависят протекающие в ней гидрологические процессы, плодородие. Влияние лесов на температуру почвы зависит от некоторых факторов: состава, густоты, строения, возраста и иных таксационных показателей. А.А. Молчанов [103] оценивал температуру почвы в различных типах леса на территории Московского региона в летний период, данные его исследования, отражают то, что при одинаковой сомкнутости и составе древостоя значение температуры почвы снижается при увеличении влажности почвы.

Влияние лесов на скорость ветра зависит от лесоводственно-таксационных показателей насаждения. В спелом сосновом насаждении с полнотой 0,9 и высотой 20 м ветрозащитные

свойства проявляются на расстоянии до 100 м от его границ [101]. По результатам исследования В.М. Зюбиной и В.В. Протопоповым [104], установлено, что с повышением лесистости на 10 % скорость ветра понижается на 0,2–0,3 м/с.

Влияние сосняков на осадки обуславливается сезонностью, породным составом, интенсивностью осадков, лесоводственно-таксационной характеристикой. Сосновые насаждения по количеству осадков, проникающих к поверхности почвы, находятся между еловыми и лиственными. В условиях Московского региона сосновые формации задерживают 24...27 % дождевых осадков [105]. Повышение количества осадков под влиянием сосняков обусловлено тем, что насаждение, создавая шероховатость поверхности, тормозит передвижение воздуха. Данное обстоятельство приводит к возникновению вертикальных токов, которые понижают температуру, вызывая выпадение жидких осадков. Насаждение способствует увеличению как вертикальных, так и горизонтальных осадков, за счет чего повышается его водоохранно-защитная роль [101].

Вместе с тем сосновые леса оказывают влияние на снегоотложение в пределах своих границ. Осадки в виде снега в Московском регионе имеют значительный удельный вес. А.А. Молчанов [106] пришел к выводу о том, что древостои, накапливают больше снега по сравнению с открытыми пространствами, за исключением ельников. Также по мнению А.А. Молчанова [107] оттепели в Подмоскovie снижают запас воды в снеге в пределах 34...76 мм.

Сосняки оказывают влияние не только на снегоотложение, но и на снеготаяние. В насаждениях процесс снеготаяния длится дольше, чем на безлесных территориях. Он обусловлен снижением солнечной радиации и низкой скоростью ветра в лесу [101]. По данным исследования, в Московской области продолжительность снеготаяния в сосновых насаждениях составляет 15...20 сут., а на открытых пространствах – 6...12 сут. По материалам многолетних наблюдений в Подмоскovie, получены следующие показатели: на открытой территории средняя интенсивность снеготаяния в сосновых древостоях составляет 9,1 мм/сут., а в смешанных сосново-еловых, в том числе со вторым ярусом ели, таяние снега проходит в 1,5–2 раза медленнее [103]. Также примесь сосны к лиственным древостоям снижает интенсивность снеготаяния, вследствие этого увеличивается его длительность [101]. Таким образом, указанные выше данные свидетельствуют о том, что смена сосновых формаций на лиственные повышает интенсивность

и снижает длительность снеготаяния, что, в свою очередь, отрицательно влияет на стоко-регулирующую роль леса.

Насаждения оказывают трансформирующее воздействие на замерзание и оттаивание почвы. Данный показатель имеет большое гидрологическое значение. В сложных по форме сосняках со вторым ярусом почва промерзает глубже, чем в простых сосняках. Со снижением полноты древостоя промерзание почвы уменьшается в результате повышенной мощности снежного покрова. Наибольшая глубина промерзания отмечена в средневозрастных древостоях, так как в них высота снежного покрова ниже, чем в молодняке и спелых древостоях [101]. А.А. Молчановым [103] оценена глубина промерзания почвы в разных типах леса. Выявлено, что несмотря на большую высоту снежного покрова, почва промерзла ниже в брусничном и черничном сосняках, чем в ельнике-кисличнике. Данное явление обусловлено большей влажностью и иным механическим составом почвы в ельнике. Установлено, что в сосняках Московской области, произрастающих на суглинках, почва оттаивает медленнее, чем на песчаных, и процесс длится 10...15 сут. после исчезновения снега. В сосновых древостоях со вторым ярусом из ели почва оттаивает дольше на 5...8 сут., чем в чистых сосняках [106].

Вместе с тем среди средообразующих функций сосновых лесов выделяют санитарно-гигиенические, в значительной степени определяющиеся за счет фитонцидных свойств древостоя [108]. Важное значение для санитарно-гигиенического состояния насаждений имеют выделяемые сосной обыкновенной биологически активные вещества [109].

Г.Б. Федосеев, С.С. Скворцов и Е.П. Успенская [110] понимают фитонциды как фактор среды, оказывающий влияние на состав стабильности биоценозов, влияющим в регуляции биосферы, охране среды, а также имеет высокое гигиеническое значение.

М.В. Григорьевой [111] выявлены первичные и вторичные фитонциды на основании различной интенсивности выделения и состава. Первичные фитонциды вырабатываются здоровыми экземплярами, а вторичные — в результате ранения или механического повреждения растения.

По результатам исследования фитонцидных свойств сосны обыкновенной М.В. Кочергиной [108] установлено, что в средневозрастном насаждении период максимальной фитонцидной активности (около 60 %) приходится на июль — август. Весной и осенью фитонцидность заметно ниже (25,5...31,5 %) и значительно

снижается (5,5...14,5 %) в зимний период. Фитонцидная активность сосны варьирует и в течение суток — проявляется динамика фитонцидности с максимумом в дневные часы. Также экспериментально доказано, что в молодняках и средневозрастных сосняках продуцируются наиболее активные фитонциды, а минимальные значения фитонцидности получены в перестойных сосняках.

Выявлено, что состояние жизнеспособности соснового древостоя оказывает значительное влияние на фитонцидную активность хвои. Часть авторов определяет ее по степени подавления тест-культуры [108, 112]. Фитонцидная активность хвои здорового экземпляра сосны в среднем за вегетационный период составляет 44 %. При сравнении с данной категорией фитонцидность поврежденного дерева оказалась больше на 10 % за вегетационный период и составляет 54 % [108].

М.В. Кочергина [108] отмечает, что кора, корни и шишки сосны обыкновенной также вырабатывают и продуцируют биологически активные вещества, способствующие повышению санирующего эффекта в атмосфере, почве и воде на данной территории.

Н.Г. Холодный [113] исследовал концентрацию летучих выделений под пологом сосновых древостоев и установил, что концентрация выделений составляет 2–3 мг/м<sup>3</sup> воздуха. Содержание органических продуктов в летучих выделениях с учетом фотосинтезирующей активности деревьев составляет примерно 1,5–2 кг/га в сутки. М.В. Колесниченко [114] установлено, что количество летучих выделений сосны составляет 1 мг/м<sup>2</sup> поверхности хвои.

В.В. Протопопов [38, 39], исследовавший выделение летучих веществ, отмечает, что сосняки за вегетационный период выделяют 400...550 кг/га летучих веществ. Согласно С.И. Лебедеву [115], на 1 га соснового древостоя выделяется за сутки около 5–6 кг биологически активных веществ.

Совокупность средообразующих функций, которые выполняются сосновыми насаждениями, поддерживают стабильность биосферы и обеспечивают благоприятные условия для существования всего живого, в том числе человека.

Наибольшее продуцирование кислорода наблюдается в насаждениях ландшафтов с низким антропогенным влиянием. Также заболоченность территории низменных ландшафтов обуславливает относительно высокие значения запасов и депонирования углерода насаждениями.

Сосновые экосистемы оказывают влияние на экологическую обстановку: регулируют температуру, влажность воздуха и почвы, солнечную

радиацию, твердые и жидкие осадки, снегоотложение и снеготаяние, промерзание и оттаивание почвы, водный баланс, формирование стока и гидрологический режим в целом. Вместе с тем сосняки продуцируют и выделяют биологически активные вещества, повышающие санитарно-гигиеническое состояние лесных экосистем и оказывающие санирующий эффект на воздух, воду и почву.

Сосновые леса изучаются в различных регионах Российской Федерации и за ее пределами. Однако недостаточное внимание сосновым экосистемам в условиях примыкания к мегаполису и потенциальное изменение климата, которое приводит к изменению структурной организации насаждений, что напрямую сказывается на средообразующих функциях.

При дальнейшем ведении хозяйственной деятельности в сосновых лесах, необходимо учитывать вопросы формирования устойчивых насаждений к различным факторам окружающей среды и антропогенному воздействию, так как сосновые формации выполняют множество рассмотренных средообразующих функций.

В урбанизированной среде комплексное действие негативных факторов приводит к снижению продуцирования кислорода, депонирования углерода, выделения биологически активных веществ и пылезадерживающей способности сосновых насаждений.

## Выводы

Сосна обыкновенная (*Pinus sylvestris* L.) характеризуется широкой экологической пластичностью и обширным ареалом, формируя насаждения в различных лесорастительных условиях — от сухих бедных до заболоченных почв. Это обуславливает ее высокую средообразующую роль. В условиях Московской городской агломерации сосняки занимают значительную долю лесопокрытой площади и отличаются высокой долговечностью и продуктивностью. Сохраняют устойчивость даже в условиях сильного антропогенного воздействия. Средообразующие функции сосновых экосистем напрямую зависят от породного состава, возрастной структуры, полноты и сомкнутости полога, а также от лесоводственно-таксационных характеристик древостоев. Сосняки эффективно регулируют микроклимат: снижают температуру воздуха летом, повышают ее зимой, увеличивают относительную и абсолютную влажность, влияя на комфортность среды и устойчивость экосистем. Сосновые леса существенно изменяют температурный режим почвы, параметры промерзания и оттаивания, снегонакопление и

продолжительность снеготаяния, тем самым выполняя важные водоохранные и почвозащитные функции. В сосновых насаждениях реализуется значительный потенциал продуцирования кислорода и депонирования углерода; наибольшие значения характерны для ландшафтов с низким уровнем антропогенной нагрузки и повышенной заболоченностью. Хвоя сосны обладает высокой пылезадерживающей способностью (до нескольких тонн на гектар в год), причем круглогодичное наличие хвои обеспечивает преимущество сосняков перед лиственными древостоями в очистке воздушной среды. Существенную роль играют санитарно-гигиенические функции сосновых насаждений: продуцируют фитонциды и другие биологически активные летучие вещества, формируя санирующий эффект на воздух, воду и почву, с максимумом фитонцидной активности в молодняках и средневозрастных насаждениях в летний период. Показано, что урбанизация и техносферная нагрузка приводят к снижению продуцирования кислорода, запасов углерода, фитонцидной активности и пылезадерживающей способности, а также повышают уязвимость сосновых экосистем к стрессовым факторам. Отмечена тенденция сукцессионной смены сосновых формаций на широколиственные, что потенциально изменит количество и интенсивность средообразующих функций, поэтому при планировании лесопользования в защитных и городских лесах необходимо целенаправленно сохранять и формировать устойчивые сосновые насаждения как ключевой элемент экологического каркаса.

## Список литературы

- [1] Wani A. M., Sahoo G. Forest ecosystem services and biodiversity // *Spatial modeling in forest resources management: Rural livelihood and sustainable development*, 2021, pp. 529–552.
- [2] Ge Y., Chen H., Zhang M., Li X. Area Threshold Interval of Urban Forest Patches Required to Maintain the Synergy between Biodiversity Conservation and Recreational Services: Case Study in Beijing, China // *Forests*, 2022, v. 13, p. 1848.
- [3] Takala T., Brockhaus M., Hujala T., Tanskanen M., Lehtinen A., Tikkanen J., Toppinen A. Discursive barriers to voluntary biodiversity conservation: The case of Finnish forest owners // *For. Policy Econ.*, 2022, v. 136, no. 102681.
- [4] Perez-Verdin G., Monarrez-Gonzalez J.C., Teclé A., Pompa-García M. Evaluating the Multi-Functionality of Forest Ecosystems in Northern Mexico // *Forests*, 2018, v. 9, p. 178.
- [5] Лукина Н.В., Гераськина А.П., Горнов А.В. Биоразнообразие и климаторегулирующие функции лесов: актуальные вопросы и перспективы исследований // *Вопросы лесной науки*, 2020. Т. 3. № 4. С. 1–90.

- [6] Finlayson M., Cruz R.D., Davidson N.C., Alder J. Millennium Ecosystem Assessment: Ecosystems and human well-being: wetlands and water synthesis. Washington: World Resources Institute, 2005, 68 p.
- [7] Turkelboom F., Raquez P., Dufrière M. CICES going local: Ecosystem services classification adapted for a highly populated country // *Ecosystem services*. Elsevier, 2013, pp. 223–247.
- [8] Paquette A., Messier C. The effect of biodiversity on tree productivity: from temperate to boreal forests // *Glob. Ecol. Biogeogr.*, 2011, v. 20, pp. 170–180.
- [9] Gamfeldt L., Snäll T., Bagchi R., Jonsson M., Gustafsson L., Kjellander P. Higher levels of multiple ecosystem services are found in forests with more tree species // *Nat. Commun.*, 2023, v. 4, pp. 1–8.
- [10] Pretzsch H., Biber P., Schütze G., Uhl E., Rötzer T. Forest stand growth dynamics in Central Europe have accelerated since 1870 // *Nat. Commun.*, 2014, v. 5, p. 4967.
- [11] Forrester D.I. The spatial and temporal dynamics of species interactions in mixed-species forests: from pattern to process // *For. Ecol. Manage.*, 2014, v. 312, pp. 282–292.
- [12] Grossiord C., Granier A., Ratcliffe S., Bouriaud O., Bruehlheide H., Checko E. Tree diversity does not always improve resistance of forest ecosystems to drought // *Proc. Natl Acad. Sci. U.S.A.*, 2014, v. 111, pp. 14812–14815.
- [13] Ratcliffe S., Liebergesell M., Ruiz Benito P., Madrigal González J., Muñoz Castañeda J.M., Kändler G. Modes of functional biodiversity control on tree productivity across the European continent // *Glob. Ecol. Biogeogr.*, 2016, v. 25, pp. 251–262.
- [14] Jucker T., Avăcăriței D., Bărnoaiea I., Duduman G., Bouriaud O., Coomes D.A. Climate modulates the effects of tree diversity on forest productivity // *J. Ecol.*, 2016, v. 104, pp. 388–398.
- [15] Liang J., Crowther T.W., Picard N., Wiser S., Zhou M., Alberti G. Positive biodiversity–productivity relationship predominant in global forests // *Science*, 2016, v. 354, aaf8957. DOI:10.1126/science.aaf8957
- [16] Ratcliffe S., Wirth C., Jucker T. Biodiversity and ecosystem functioning relations in European forests depend on environmental context // *Ecology letters*, 2017, v. 20, no. 11, pp. 1414–1426.
- [17] Li X., Niu J., Zhang L., Xiao Q., McPherson G.E., Van Doorn N., Yu X., Xie B., Dymond S., Li J. A study on crown interception with four dominant tree species: A direct measurement // *Hydrol. Res.*, 2016, v. 47, pp. 857–868.
- [18] Atkins J.W., Fahey R.T., Hardiman B.H., Gough C.M. Forest Canopy Structural Complexity and Light Absorption Relationships at the Subcontinental Scale // *J. Geophys. Res. Biogeosci.*, 2017, v. 123, pp. 1387–1405.
- [19] Dietz J., Hölscher D., Leuschner C. Rainfall partitioning in relation to forest structure in differently managed montane forest stands in Central Sulawesi, Indonesia // *For. Ecol. Manage.*, 2006, v. 237, pp. 170–178.
- [20] Kong, L., Xiong, K., Zhang, S. Review on driving factors of ecosystem services: Its enlightenment for the improvement of forest ecosystem functions in karst desertification control // *Forests*, 2023, v. 14, no. 3, p. 582.
- [21] Лукина Н.В. Глобальные вызовы и лесные экосистемы // *Вестник Российской академии наук*, 2020. Т. 90. № 6. С. 528–532. DOI 10.31857/S0869587320060080
- [22] Кузьмичев Е.П., Трушина И.Г., Трушина Н.И. Основные методические подходы к оценке экосистемных услуг в зарубежных странах: обзор проблемы // *Лесохозяйственная информация*, 2021, № 1. С. 144–164.
- [23] Биоразнообразие и функционирование лесных экосистем. М.: Наука, 2021. 327 с.
- [24] Kim J., Han S.H., Chang H. Quantitative assessment of climate regulating ecosystem services using carbon storage in major Korean ecosystems // *Korean J. of Environmental Biology*, 2016, v. 34, no. 1, pp. 8–17.
- [25] Mori A.S., Lertzman K.P., Gustafsson L. Biodiversity and ecosystem services in forest ecosystems: a research agenda for applied forest ecology // *J. of Applied Ecology*, 2017, v. 54, no. 1, pp. 12–27.
- [26] Brockerhoff E.G., Barbaro L., Castagneyrol B. Forest biodiversity, ecosystem functioning and the provision of ecosystem services // *Biodiversity and Conservation*, 2017, v. 26, pp. 3005–3035.
- [27] Chen Y., Liu Y., Yang S., Liu C. Impact of Land-Use Change on Ecosystem Services in the Wuling Mountains from a Transport Development Perspective // *Int. J. Environ. Res. Public Health*, 2023, v. 20, p. 1323.
- [28] Васильев О.Д. Картографирование средообразующих функций лесов и их сравнительный анализ в ландшафтах Московской области // *Вестник Московского университета. Серия География*, 2020. № 6. С. 21–31.
- [29] Чистов С.В. Использование принципа рациональности природопользования в решении крупных программ Московского региона // *Проблемы землепользования в связи с развитием малоэтажного жилищного строительства в Московском регионе*. М.: [б.и.], 1993. С. 49–54.
- [30] Дубенок Н.Н., Кузьмичев В.В., Лебедев А.В. Экологические функции насаждений в условиях мегаполиса на примере Лесной опытной дачи Тимирязевской сельскохозяйственной академии // *Экономические аспекты развития АПК и лесного хозяйства. Лесное хозяйство Союзного государства России и Белоруссии, Нижний Новгород, 26 сентября 2019 г / под ред. Н.Н. Бессчетновой*. Нижний Новгород: Изд-во Нижегородской государственной сельскохозяйственной академии, 2019. С. 150–155.
- [31] Реймерс Н.Ф. Природопользование. М.: Мысль, 1990. 639 с.
- [32] Татаркин А.И., Логинов В.Г. Методологические вопросы оценки леса как экосистемы // *Управленец*, 2014. № 6 (52). С. 4–9.
- [33] Докучаев В.В. Русские Черноземы. СПб., 1883. Т. 3. 214 с.
- [34] Сукачев В.Н. Основы лесной биогеоценологии. М.: Наука, 1964. 574 с.
- [35] Замолотчиков Д.Г., Уткин А.И., Коровин Г.Н. Конверсионные коэффициенты фитомасса / Запас в связи с дендрометрическими показателями и составом древостоев // *Лесоведение*, 2005. № 6. С. 73–81.
- [36] Васильев О.Д., Чистов С.В. Исследование и картографирование экологических функций лесов Московского региона: методика и результаты // *ИнтерКарто. ИнтерГИС*, 2018. Т. 24. № 1. С. 348–367.
- [37] Васильев О.Д., Чистов С.В. Исследование и картографирование средообразующих функций лесов Новой Москвы // *Известия высших учебных заведений. Геодезия и аэрофотосъемка*, 2016. Т. 60. № 5. С. 128–133.

- [38] Протопопов В.В. Средобразующая роль темнохвойного леса. Новосибирск: Наука, 1975. 328 с.
- [39] Протопопов В.В. Анализ экологического значения темнохвойного леса // Проблемы лесоведения в Сибири. М.: Наука, 1977. С. 25–43.
- [40] Исаев А.С. Основные направления научных исследований: защитные и социальные аспекты // Лесное хозяйство, 1990. № 3. С. 6–10.
- [41] Рудзкий А.Ф. Руководство к устройству русских лесов. СПб.: А.Ф. Дервиен, 1893. 464 с.
- [42] Орлов М.М. Очерки по организации лесного опытного дела в России. Петроград: Типография М.А. Александрова, 1915. 271 с.
- [43] Жуков А.Б., Бузыкин А.И. Пути повышения продуктивности лесов // Лесоведение, 1977. № 5. С. 3–18.
- [44] Непомнящий В.В., Завадская А.В. Рекреационное природопользование. Новосибирск: Изд-во Сибирского отделения РАН, 2020. 108 с.
- [45] Яценко И.И. Эстетическая охрана лесов и лесостроительство // Лесной журнал, 1917. № 7–8. С. 369–386.
- [46] Морозов Г.Ф. Учение о лесе. М.: Гослесбуиздат, 1949. 368 с.
- [47] Alexander S.J., Weigand J.F., Blatner K. Nontimber forest products commerce // Nontimber forest products in the United States. Lawrence. KS: University Press of Kansas, 2002, pp. 115–151.
- [48] The Contribution of Criteria and Indicators to Sustainable Forest Management: the way forward, vol. 2, (22–26 July 2002; Guatemala City, Guatemala). Rome: FAO, 2003. URL: [https://www.fao.org/4/j0077e/j0077e01.htm#P158\\_7279](https://www.fao.org/4/j0077e/j0077e01.htm#P158_7279) (дата обращения 10.10.2024).
- [49] Распоряжение Правительства РФ от 20.09.2018 № 1989-р «Об утверждении Стратегии развития лесного комплекса Российской Федерации до 2030 года». URL: <https://docs.cntd.ru/document/551187885> (дата обращения 10.10.2024).
- [50] Тахтаджян А.Л. Флористические области Земли. Л.: Наука, 1978. 247 с.
- [51] Усольцев В.А. Фитомасса и первичная продукция лесов Евразии. Екатеринбург: УрО РАН, 2010. 570 с.
- [52] Булыгин Н.Е. Дендрология. М.: Лесная пром-сть, 1985. 226 с.
- [53] Сазонова Т.А., Болондинский В.К., Придача В.Б. Эколого-физиологическая характеристика сосны обыкновенной. Институт леса Карельского НЦ РАН. Петрозаводск: Verso, 2011. 207 с.
- [54] Санников С.Н., Петрова И.В. Филогенгеография и генотаксономия популяций вида *Pinus sylvestris* L. // Экология, 2012. № 4. С. 252–260.
- [55] Правдин Л.Ф. Сосна обыкновенная. Изменчивость, внутривидовая систематика и селекция. М., 1964. 192 с.
- [56] Михайлова М.И. Состояние, рост и продуктивность экотипов сосны обыкновенной в географических лесных культурах Воронежской области: дис. ... канд. геогр. наук, 2022. 219 с.
- [57] Шиманюк А.П. Дендрология. М.: Лесная пром-сть, 1974. 264 с.
- [58] Санников С.Н., Петрова И.В., Семериков В.Л. Генотаксономический анализ популяций *Pinus sylvestris* L. на трансекте от северной до южной границы ареала // Экология, 2002. № 2. С. 97–102.
- [59] Качалов А.А. Деревья и кустарники. М.: Лесная пром-сть, 1970. 408 с.
- [60] Kuzmin S. R., Kuzmina N. A. Growth Regularities of Scots Pine Climatypes in the Provenance Trial under Different Soil Conditions // Contemporary Problems of Ecology, 2023, v. 16, no. 5, pp. 645–656.
- [61] Раевский Б.В. Селекция и семеноводство сосны обыкновенной (*Pinus sylvestris* L.) и сосны скрученной (*Pinus contorta* Dougl. ex Loud. var. *latifolia* Engelm) на северо-западе таежной зоны России: специальность 06.03.01: дис. ... д-ра с.-х. наук. Петрозаводск, 2015. 322 с.
- [62] Бобров Е.Г. Лесообразующие хвойные СССР. М.: Наука, Ленинградское отделение, 1978. 190 с.
- [63] Усольцев В.А. Фитомасса лесов Северной Евразии: База данных и география / отв. ред. С.Г. Шиятов. Екатеринбург: Изд-во УрО РАН, 2001. 708 с.
- [64] Hanner M., Almqvist C., Hornfeldt R. Timing of seed dispersal in *Pinus sylvestris* stands in central Sweden // Silva Fennica, 2002, v. 36 (4), pp. 757–765.
- [65] Киреев Д.М. Лесное ландшафтоведение. СПб.: Изд-во СПбГЛТУ, 2007. 540 с.
- [66] Лежнев Д.В., Куликова Д.Д., Полякова Г.А. Восстановительная динамика сосновых фитоценозов на вырубках в надпойменных террасах реки Москвы // Вестник Российского университета дружбы народов. Серия: Экология и безопасность жизнедеятельности, 2023. Т. 31. № 4. С. 447–467.
- [67] Глазунов Ю.Б., Полякова Г.А., Коротков С.А., Лежнев Д.В. Естественное возобновление на вырубках в Серебряноборском опытном лесничестве // Сибирский лесной журнал, 2024. № 2. С. 74–83.
- [68] Побединский А.В. Сосна. М.: Лесная пром-сть, 1979. 125 с.
- [69] Бабич Н.А., Корчагов С.А., Конюшатов О.А. Актуальные проблемы лесовосстановления на Европейском Севере России в рамках перехода к интенсивной модели ведения лесного хозяйства // ИзВУЗ Лесной журнал, 2013. № 2 (332). С. 74–83.
- [70] Куркин К.А. Критерии, факторы, типы и механизмы устойчивости фитоценозов // Ботанический журнал, 1994. Т. 79. № 1. С. 3–13.
- [71] Феклистов П.А., Евдокимов В.Н., Барзут В.М. Биологические и экологические особенности роста сосны в северной подзоне европейской тайги. Архангельск: ИПЦ АГТУ, 1997. 140 с.
- [72] Абатуров А.В., Меланхолин П.Н. Естественная динамика леса на постоянных пробных площадях в Подмоскowie. Тула: Гриф и К°, 2004. 333 с.
- [73] Новицкая Ю.Е., Чикина П.Ф., Софронова Г.И. Физиолого-биохимические основы роста и адаптации сосны на Севере. Л.: Наука, 1985. 156 с.
- [74] Ткаченко М.Е. Общее лесоводство. Л.: Гослесбуиздат, 1952. 598 с.
- [75] Клушевская Е.С., Кузнецова Н.Ф. Оценка устойчивости сосны обыкновенной к засухе по физиологическим характеристикам хвои // Лесоведение, 2016. № 3. С. 216–222.
- [76] Тихонова Н.А., Тихонова И.В. Индивидуальная изменчивость сосны обыкновенной по признакам засухоустойчивости в лесостепных борах Южной Сибири // Сибирский лесной журнал, 2016. № 5. С. 114–124.
- [77] Филипчук А.Н., Малышева Н.В., Золина Т.А., Федоров С.В., Бердов А.М., Косицын В.Н., Югов А.Н., Кинигопуло П.С. Аналитический обзор количественных и качественных характеристик лесов

- Российской Федерации: итоги первого цикла государственной инвентаризации лесов // Лесохозяйственная информация, 2022. № 1. С. 5–34.
- [78] Лежнев Д.В., Лебедев А.В. Динамика и устойчивость сосновых древостоев в урбоэкосистемах лесной опытной дачи РГАУ – МСХА имени К.А. Тимирязева // Известия Санкт-Петербургской лесотехнической академии, 2023. № 245. С. 93–111.
- [79] Луферов А.О. Ход естественного возобновления соснового подроста под пологом насаждений с проведенными рубками промежуточного пользования и постепенными рубками главного пользования // Труды БГТУ. Серия 1: Лесное хозяйство, природопользование и переработка возобновляемых ресурсов, 2020. № 1 (228). С. 39–47.
- [80] Васильев О.Д., Огуреева Г.Н., Чистов С.В. Оценка ценогического разнообразия лесного покрова и его динамики в эталонных ландшафтах Московского региона по данным дистанционного зондирования // Вестник Санкт-Петербургского университета. Науки о Земле, 2019. Т. 64 (2). С. 185–205.
- [81] Лебедев А.В., Гостев В.В. Адвентивный компонент флоры лесной опытной дачи Тимирязевской академии // Тимирязевский биологический журнал, 2023. № 1. С. 8–14.
- [82] Захаров В.П., Коротков С.А. Динамика лесов восточного Подмосковья и их использование // Материалы Международной научной конференции молодых ученых и специалистов, посвященной 150-летию со дня рождения А.Я. Миловича, г. Москва, 3–5 июня 2024 г. Сборник статей. М.: РГАУ–МСХА, 2024. Т. 1. С. 144–149.
- [83] Кравченко П.Н. Экологическая оценка территории Тверской области в интересах сохранения редких видов *in situ* на основе каркасно-геоэкологического моделирования: дис. ... канд. геогр. наук. Тверь, 2015. 181 с.
- [84] Dubenok N.N., Kuzmichev V.V., Lebedev A.V. Ecological functions of forest stands in urbanized environment of Moscow // RUDN J. of Agronomy and Animal Industries, 2019, v. 14, no. 2, pp. 154–161. DOI 10.22363/2312-797X-2019-14-2-154-161
- [85] Рысин Л.П. Леса Подмосковья. М.: Товарищество научных изданий КМК, 2012. 255 с.
- [86] Коротков С.А. Смена состава древостоев и устойчивость защитных лесов центральной части Русской равнины. М.: Доблесть эпох, 2023. 168 с.
- [87] Торгашев Р.Е., Голованов В.И. Управление природоохранно-рекреационным лесопользованием Московского столичного региона // Муниципальная академия, 2022. № 1. С. 148–160.
- [88] Lebedev A.V. Changes in the growth of Scots pine (*Pinus sylvestris* L.) stands in an urban environment in European Russia since 1862 // J. of Forestry Research, 2022, pp. 34–36.
- [89] Черненко Т.В., Пузаченко М.Ю., Беляева Н.Г., Котлов И.П., Морозова О.В. Характеристика и перспективы сохранения сосновых лесов Московской области // Лесоведение, 2019. № 5. С. 449–464.
- [90] Korotkov S., Stonozhenko L., Lezhnev D., Eregina S. Pine Plants Formation in the North-Eastern Moscow Region // II Int. Conf. «Sustainable Development: Agriculture, Veterinary Medicine and Ecology» (VMAEE-II-2023), Karshi, 21–22 april 2023 year. Vol. 3011. New York: AIP PUBLISHING, 2023, p. 20031.
- [91] Черненко Т.В., Сулова Е.Г., Морозова О.В. Биоразнообразие лесов Московского региона // Экосистемы: экология и динамика, 2020. Т. 4. № 3. С. 61–144.
- [92] Мартыненко О.В., Карминов В.Н., Щепашенко Д.Г., Онтиков П.В. Зависимость продуктивности сосновых насаждений от почвенно-грунтовых условий в Московском учебно-опытном лесничестве // Лесоведение, 2017. № 6. С. 411–417.
- [93] Лебедев А.В. Обобщенная модель распределения диаметров деревьев в сосновых древостоях // Лесной вестник / Forestry Bulletin, 2022. Т. 26. № 4. С. 53–62. DOI: 10.18698/2542-1468-2022-4-53-62
- [94] Липаткин В.А., Коротков С.А. О современных тенденциях формирования насаждений Подмосковья // Повышение эффективности лесного комплекса: Материалы Седьмой Всерос. нац. науч.-практ. конф. с междунар. участием, Петрозаводск, 25 мая 2021 г. Петрозаводск: Изд-во Петрозаводского государственного университета, 2021. С. 105–106.
- [95] Рубцов В.И. Классификация функций и роли леса // Лесоведение, 1984. № 2. С. 3–9.
- [96] Woodward F.I., Smith T.M., Emanuel V.R. A global and primary productivity and phytogeography model // Global biogeochemical cycles, 1995, v. 9, iss. 4, pp. 471–490
- [97] Schimel D.S., House J.L., Hibbard K.A. Reset patterns and mechanisms of carbon exchange by terrestrial ecosystems // Nature, 2001, v. 414, no. 8. pp. 169–178.
- [98] Чураков Б.П., Манякина Е.В. Депонирование углерода разновозрастными культурами сосны // Ульяновский медико-биологический журнал, 2012. № 1. С. 125–129.
- [99] Плужников А.А. Оценка состояния и средообразующих функций сосновых насаждений Центральной лесостепи (на примере Воронежской области): автореф. дис. ... канд. с.-х. наук. Пушкино, 2014. 21 с.
- [100] Поляков А.Н., Ипатов П.Ф., Успенский В.В. Продуктивность лесных культур. М.: Агропромиздат, 1986. 240 с.
- [101] Побединский А.В. Водоохранная и почвозащитная роль лесов. Пушкино: Всероссийский научно-исследовательский институт лесоводства и механизации лесного хозяйства, 2013. 208 с.
- [102] Цельникер Ю.Л. Световой режим и формирование фотосинтетического аппарата лесных древесных растений: дис. ... д-ра биол. наук 03.00.12. М., 1977. 332 с.
- [103] Молчанов А.А. Лес и климат. Академия наук СССР. Лаборатория лесоведения. М.: Изд-во Академии наук СССР, 1961. 279 с.
- [104] Зюбина В.И., Прогопопов В.В. Трансформация лесами климатических факторов на окружающей территории в связи с количеством сконцентрированной в них фитомассы // Водоохранно-защитное значение леса: Материалы Всесоюз. конф. 15–19 октября 1974 г. Владивосток: Изд-во Биолого-почвенного института ДВНЦ АН СССР, 1974. С. 10–11.
- [105] Молчанов А.А. Сосновые леса и влага. М.: Изд-во АН СССР, 1953. 140 с.
- [106] Молчанов А.А. Гидрологическая роль леса. М.: Изд-во АН СССР, 1960. 487 с.
- [107] Молчанов А.А. Влияние леса на окружающую среду. М.: Наука, 1973. 359 с.

- [108] Кочергина М.В. Основы лесопаркового хозяйства. Воронеж: Изд-во Воронежского государственного лесотехнического университета им. Г.Ф. Морозова, 2018. 59 с.
- [109] Плужников А.А. Оценка состояния и средообразующих функций сосновых насаждений центральной лесостепи: на примере Воронежской области: дис. ... канд. с.-х. наук 06.03.02. Воронеж, 2014. 167 с.
- [110] Федосеев Г.Б., Скворцов С.С., Успенская Е.П. Роль летучих фракций фитонцидов в медицинской практике // Тезисы докл. VIII совещ. по проблеме фитонцидов. Киев: Наукова думка, 1979. 117 с.
- [111] Григорьева М.В. Фитонцидные свойства насаждений лесопарковой части зеленой зоны города Воронежа: дис. ... канд. биол. наук 11.00.11. Воронеж, 2000. 202 с.
- [112] Слепых В.В. Природные и антропогенные факторы и фитонцидная активность древесных пород // Лесное хозяйство, 2004. № 6. С. 17–19.
- [113] Холодный Н.Г. Биологическое значение фитогенных органических веществ атмосферы // Бюллетень Московского общества испытателей природы. Отдел биологический, 1948. Т. 53. Вып. 1. С. 53–71.
- [114] Колесниченко М.В. О взаимовлиянии древесных растений посредством фитонцидов // Тезисы докл. VII совещ. по проблеме фитонцидов. Киев: Наукова думка, 1975. С. 46–47.
- [115] Лебедев С.И. Физиология растений. М.: Агропромиздат, 1988. 544 с.

## Сведения об авторе

**Лежнев Даниил Викторович** – начальник отдела НИР студентов и молодых ученых, ФГБОУ ВО «Российский государственный аграрный университет – МСХА имени К.А. Тимирязева» (РГАУ – МСХА имени К.А. Тимирязева); мл. науч. сотр. лаборатории лесоводства и биологической продуктивности, ФГБУН Институт лесоведения Российской академии наук (ИЛАН РАН), lezhnev.daniil@yandex.ru

Поступила в редакцию 03.12.2024.

Одобрено после рецензирования 12.09.2025.

Принята к публикации 25.11.2025.

## HABITAT-FORMING FUNCTIONS OF SCOTS PINE (*PINUS SYLVESTRIS* L.)

**D.V. Lezhnev**<sup>1,2</sup>

<sup>1</sup>Russian State Agrarian University – Moscow Timiryazev Agricultural Academy, 127434, Moscow, Russia

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

lezhnev.daniil@yandex.ru

The review of Russian and foreign literature devoted to the study of the habitat-forming functions of the Scots pine (*Pinus sylvestris* L.) is presented. The review focuses on the biomass accumulation and habitat conservation depending on forest-growing conditions. It is shown that the ecological and biological characteristics of the pine, as well as forestry and taxation parameters of stands and their spatial structure, determine the intensity of ecosystem functions. The influence of pine formations' structural organization on air temperature, humidity, soil temperature, wind speed, precipitation, snowfall and snowmelt, as well as dust retention and environmental conditions in urban areas, is considered. The special attention is paid to the sanitary and hygienic role of pine forests due to their phytoncidal activity. It has been shown that the maximum values of oxygen production and carbon stock are typical for pine forests in low-lying, often swampy areas with minimal human impact. In contrast, in urban and suburban areas, there is a decline in most habitat-forming indicators.

**Keywords:** Scots pine, habitat-forming functions, forest ecosystems, ecosystem services, phytoncides, environment, climate change

**Suggested citation:** Lezhnev D.V. *Sredooobrazuyushchie funktsii nasazhdeniy sosny obyknovennoy (Pinus sylvestris L.)* [Habitat-forming functions of Scots pine (*Pinus sylvestris* L.)]. *Lesnoy vestnik / Forestry Bulletin*, 2026, vol. 30, no. 1, pp. 45–61. DOI: 10.18698/2542-1468-2026-1-45-61

## References

- [1] Wani A. M., Sahoo G. Forest ecosystem services and biodiversity. Spatial modeling in forest resources management: Rural livelihood and sustainable development, 2021, pp. 529–552.
- [2] Ge Y., Chen H., Zhang M., Li X. Area Threshold Interval of Urban Forest Patches Required to Maintain the Synergy between Biodiversity Conservation and Recreational Services: Case Study in Beijing, China. *Forests*, 2022, v. 13, p. 1848.
- [3] Takala T., Brockhaus M., Hujala T., Tanskanen M., Lehtinen A., Tikkanen J., Toppinen A. Discursive barriers to voluntary biodiversity conservation: The case of Finnish forest owners. *For. Policy Econ.*, 2022, v. 136, no. 102681.
- [4] Perez-Verdin G., Monarrez-Gonzalez J.C., Teclé A., Pompa-García M. Evaluating the Multi-Functionality of Forest Ecosystems in Northern Mexico. *Forests*, 2018, v. 9, p. 178.
- [5] Lukina N.V., Geras'kina A.P., Gornov A.V. *Bioraznoobrazie i klimatoreguliruyushchie funktsii lesov: aktual'nye voprosy i perspektivy issledovaniy* [Biodiversity and climate-regulating functions of forests: current issues and research prospects]. *Voprosy lesnoy nauki* [Issues of Forest Science], 2020, v. 3, no. 4, pp. 1–90. DOI 10.31509/2658-607x-2020-3-4-1-90.
- [6] Finlayson M., Cruz R.D., Davidson N.C., Alder J. Millennium Ecosystem Assessment: Ecosystems and human well-being: wetlands and water synthesis. Washington: World Resources Institute, 2005, 68 p.
- [7] Turkelboom F., Raquez P., Dufrêne M. CICES going local: Ecosystem services classification adapted for a highly populated country. *Ecosystem services*. Elsevier, 2013, pp. 223–247.
- [8] Paquette A., Messier C. The effect of biodiversity on tree productivity: from temperate to boreal forests. *Glob. Ecol. Biogeogr.*, 2011, v. 20, pp. 170–180.
- [9] Gamfeldt L., Snäll T., Bagchi R., Jonsson M., Gustafsson L., Kjellander P. Higher levels of multiple ecosystem services are found in forests with more tree species. *Nat. Commun.*, 2023, v. 4, pp. 1–8.
- [10] Pretzsch H., Biber P., Schütze G., Uhl E., Rötzer T. Forest stand growth dynamics in Central Europe have accelerated since 1870. *Nat. Commun.*, 2014, v. 5, p. 4967.
- [11] Forrester D.I. The spatial and temporal dynamics of species interactions in mixed-species forests: from pattern to process. *For. Ecol. Manage.*, 2014, v. 312, pp. 282–292.
- [12] Grossiord C., Granier A., Ratcliffe S., Bouriaud O., Bruelheide H., Čečko E. Tree diversity does not always improve resistance of forest ecosystems to drought. *Proc. Natl Acad. Sci. U.S.A.*, 2014, v. 111, pp. 14812–14815.
- [13] Ratcliffe S., Liebergesell M., Ruiz Benito P., Madrigal González J., Muñoz Castañeda J.M., Kändler G. Modes of functional biodiversity control on tree productivity across the European continent. *Glob. Ecol. Biogeogr.*, 2016, v. 25, pp. 251–262.
- [14] Jucker T., Avăcăriței D., Bărnoaiea I., Duduman G., Bouriaud O., Coomes D.A. Climate modulates the effects of tree diversity on forest productivity. *J. Ecol.*, 2016, v. 104, pp. 388–398.
- [15] Liang J., Crowther T.W., Picard N., Wiser S., Zhou M., Alberti G. Positive biodiversity–productivity relationship predominant in global forests. *Science*, 2016, v. 354, aaf8957. DOI:10.1126/science.aaf8957
- [16] Ratcliffe S., Wirth C., Jucker T. Biodiversity and ecosystem functioning relations in European forests depend on environmental context. *Ecology letters*, 2017, v. 20, no. 11, pp. 1414–1426.
- [17] Li X., Niu J., Zhang L., Xiao Q., McPherson G.E., Van Doorn N., Yu X., Xie B., Dymond S., Li J. A study on crown interception with four dominant tree species: A direct measurement. *Hydrol. Res.*, 2016, v. 47, pp. 857–868.
- [18] Atkins J.W., Fahey R.T., Hardiman B.H., Gough C.M. Forest Canopy Structural Complexity and Light Absorption Relationships at the Subcontinental Scale. *J. Geophys. Res. Biogeosci.*, 2017, v. 123, pp. 1387–1405.
- [19] Dietz J., Hölscher D., Leuschner C. Rainfall partitioning in relation to forest structure in differently managed montane forest stands in Central Sulawesi, Indonesia. *For. Ecol. Manage.*, 2006, v. 237, pp. 170–178.
- [20] Kong, L., Xiong, K., Zhang, S. Influence on driving factors of ecosystem services: Its enlightenment for the improvement of forest ecosystem functions in karst desertification control. *Forests*, 2023, v. 14, no. 3, p. 582.
- [21] Lukina N.V. *Global'nye vyzovy i lesnye ekosistemy* [Global challenges and forest ecosystems]. *Vestnik Rossiyskoy akademii nauk* [Bulletin of the Russian Academy of Sciences], 2020, v. 90, no. 6, pp. 528–532. DOI 10.31857/S0869587320060080
- [22] Kuz'michev E.P., Trushina I.G., Trushina N.I. *Osnovnye metodicheskie podkhody k otsenke ekosistemnykh uslug v zarubezhnykh stranakh: obzor problemy* [Basic methodological approaches to the assessment of ecosystem services in foreign countries: an overview of the problem]. *Lesokhozyaystvennaya informatsiya* [Forestry information], 2021, no 1, pp. 144–164.
- [23] *Bioraznoobrazie i funkcionirovanie lesnykh ekosistem* [Biodiversity and functioning of forest ecosystems]. Moscow: Nauka, 2021, p. 327.
- [24] Kim J., Han S.H., Chang H. Quantitative assessment of climate regulating ecosystem services using carbon storage in major Korean ecosystems. *Korean J. of Environmental Biology*, 2016, v. 34, no. 1, pp. 8–17.
- [25] Mori A.S., Lertzman K.P., Gustafsson L. Biodiversity and ecosystem services in forest ecosystems: a research agenda for applied forest ecology. *J. of Applied Ecology*, 2017, v. 54, no. 1, pp. 12–27.
- [26] Brockerhoff E.G., Barbaro L., Castagneyrol B. Forest biodiversity, ecosystem functioning and the provision of ecosystem services. *Biodiversity and Conservation*, 2017, v. 26, pp. 3005–3035.
- [27] Chen Y., Liu Y., Yang S., Liu C. Impact of Land-Use Change on Ecosystem Services in the Wuling Mountains from a Transport Development Perspective. *Int. J. Environ. Res. Public Health*, 2023, v. 20, p. 1323.

- [28] Vasil'ev O.D. *Kartografirovaniye sredobrazuyushchikh funktsiy lesov i ikh sravnitel'nyy analiz v landshaftakh Moskovskoy oblasti* [Mapping of the environment-forming functions of forests and their comparative analysis in the landscapes of the Moscow region]. *Vestnik Moskovskogo universiteta. Seriya Geografiya* [Bulletin of Moscow University. Geography Series], 2020, no. 6, pp. 21–31.
- [29] Chistov S.V. *Ispol'zovaniye printsipa ratsional'nosti prirodopol'zovaniya v reshenii krupnykh programm Moskovskogo regiona* [Using the principle of rational nature management in solving large-scale programs of the Moscow region]. *Problemy zemlepol'zovaniya v svyazi s razvitiem maloetazhnogo zhilishchnogo stroitel'stva v Moskovskom regione* [Problems of land use in connection with the development of low-rise housing construction in the Moscow region]. Moscow: [b.i.], 1993, pp. 49–54.
- [30] Dubenok N.N., Kuz'michev V.V., Lebedev A.V. *Ekologicheskie funktsii nasazhdeniy v usloviyakh megapolisa na primere Lesnoy opytnoy dachi Timiryazevskoy sel'skokhozyaystvennoy akademii* [Ecological functions of plantings in a megalopolis using the example of the Forest Experimental Dacha of the Timiryazev Agricultural Academy]. *Ekonomicheskie aspekty razvitiya APK i lesnogo khozyaystva. Lesnoe khozyaystvo Soyuznogo gosudarstva Rossii i Belorussii* [Economic aspects of the development of the agro-industrial complex and forestry. Forestry of the Union State of Russia and Belarus], Nizhny Novgorod, September 26, 2019 / Ed. N.N. Besschetnova. Nizhny Novgorod: Nizhny Novgorod State Agricultural Academy, 2019, pp. 150–155.
- [31] Reymers N.F. *Prirodopol'zovaniye* [Nature management]. Moscow: Mysl, 1990, 639 p.
- [32] Tatarkin A.I., Loginov V.G. *Metodologicheskie voprosy otsenki lesa kak ekosistemy* [Methodological issues of assessing a forest as an ecosystem]. *Upravlenets*, 2014, no. 6 (52), pp. 4–9.
- [33] Dokuchaev V.V. *Russkie Chernozemy* [Russian Chernozems]. St. Petersburg, 1883, v. 3, 214 p.
- [34] Sukachev V.N. *Osnovy lesnoy biogeotsenologii* [Fundamentals of forest biogeocenology]. Moscow: Nauka, 1964, 574 p.
- [35] Zamolodchikov D.G., Utkin A.I., Korovin G.N. *Konversionnye koeffitsienty fitomassa* [Conversion coefficients of phytomass / Stock in connection with dendrometric indicators and composition of tree stands]. *Lesovedenie*, 2005, no. 6, pp. 73–81.
- [36] Vasil'ev O.D., Chistov S.V. *Issledovaniye i kartografirovaniye ekologicheskikh funktsiy lesov Moskovskogo regiona: metodika i rezul'taty* [Study and mapping of ecological functions of forests of the Moscow region: methods and results]. *InterCarto*, 2018, v. 24, no. 1, pp. 348–367.
- [37] Vasil'ev O.D., Chistov S.V. *Issledovaniye i kartografirovaniye sredobrazuyushchikh funktsiy lesov Novoy Moskvy* [Study and mapping of habitat-forming functions of forests of New Moscow]. *zvestiya vysshikh uchebnykh zavedeniy. Geodeziya i aerofotos'emka* [News of higher educational institutions. Geodesy and aerial photography], 2016, v. 60, no. 5, pp. 128–133.
- [38] Protopopov V.V. *Sredobrazuyushchaya rol' temnokhvonnogo lesa* [Habitat-forming role of dark coniferous forest]. Novosibirsk: Nauka, 1975, 328 p.
- [39] Protopopov V.V. *Analiz ekologicheskogo znacheniya temnokhvonnogo lesa* [Analysis of the ecological significance of dark coniferous forests]. *Problemy lesovedeniya v Sibiri* [Problems of forestry in Siberia]. Moscow: Nauka, 1977, pp. 25–43.
- [40] Isaev A.S. *Osnovnye napravleniya nauchnykh issledovaniy: zashchitnye i sotsial'nye aspekty* [Main directions of scientific research: protective and social aspects]. *Lesnoe khozyaystvo* [Forestry], 1990, no. 3, pp. 6–10.
- [41] Rudzkiy A.F. *Rukovodstvo k ustroystvu russkikh lesov* [Guide to the organization of Russian forests]. St. Petersburg: A.F. Devrien, 1893, 464 p.
- [42] Orlov M.M. *Ocherki po organizatsii lesnogo opytного dela v Rossii* [Essays on the organization of experimental forestry in Russia]. Petrograd: Printing house of M.A. Alexandrov, 1915, 271 p.
- [43] Zhukov A.B., Buzynkin A.I. *Puti povysheniya produktivnosti lesov* [Ways to Increase Forest Productivity]. *Lesovedenie*, 1977, no. 5, pp. 3–18.
- [44] Nepomnyashchiy V.V., Zavadskeya A.V. *Rekreatsionnoe prirodopol'zovaniye* [Recreational Nature Management]. Novosibirsk: Publishing House of the Siberian Branch of the Russian Academy of Sciences, 2020, 108 p.
- [45] Yatsenko I.I. *Esteticheskaya okhrana lesov i lesoustroystvo* [Aesthetic Protection of Forests and Forest Management]. *Russian Forestry Journal*, 1917, no. 7–8, pp. 369–386.
- [46] Morozov G.F. *Uchenie o lese* [Theory of the Forest]. Moscow: Goslesbumizdat, 1949, 368 p.
- [47] Alexander S.J., Weigand J.F., Blatner K. *Nontimber forest products commerce*. Nontimber forest products in the United States. Lawrence, KS: University Press of Kansas, 2002, pp. 115–151.
- [48] *The Contribution of Criteria and Indicators to Sustainable Forest Management: the way forward*. Vol. 2, (22–26 July 2002; Guatemala City, Guatemala). Rome: FAO, 2003. URL: [https://www.fao.org/4/j0077e/J0077E01.htm#P158\\_7279](https://www.fao.org/4/j0077e/J0077E01.htm#P158_7279) (дата обращения 10.10.2024).
- [49] *Rasporyazheniye Pravitel'stva RF ot 20.09.2018 № 1989-r «Ob utverzhdenii Strategii razvitiya lesnogo kompleksa Rossiyskoy Federatsii do 2030 goda»* [Order of the Government of the Russian Federation of September 20, 2018 No. 1989-r «On Approval of the Strategy for the Development of the Forest Complex of the Russian Federation until 2030»]. Available at: <https://docs.cntd.ru/document/551187885> (accessed 10.10.2024).
- [50] Takhtadzhyan A.L. *Floristicheskie oblasti Zemli* [Floristic regions of the Earth]. Leningrad: Science, 1978, 247 p.
- [51] Usol'tsev V.A. *Fitomassa i pervichnaya produktsiya lesov Evrazii* [Phytomass and primary production of Eurasian forests]. Ekaterinburg: Ural Branch of the Russian Academy of Sciences, 2010, 570 p.
- [52] Bulygin N.E. *Dendrologiya* [Dendrology]. Moscow: Lesnaya Promyshlennost, 1985, 226 p.
- [53] Sazonova T.A., Bolondinskiy V.K., Pridacha V.B. *Ekologo-fiziologicheskaya kharakteristika sosny obyknovennoy. Institut lesa Karel'skogo NTs RAN* [Ecological and physiological characteristics of Scots pine. Forest Institute, Karelian Scientific Center of the Russian Academy of Sciences]. Petrozavodsk: Verso, 2011, 207 p.

- [54] Sannikov S.N., Petrova I.V. *Filogenogeografiya i genotaksonomiya populyatsiy vida Pinus sylvestris L.* [Phylogenogeography and genotaxonomy of *Pinus sylvestris* L. populations]. *Ekologiya* [Ecology], 2012, no. 4, pp. 252–260.
- [55] Pravdin L.F. *Sosna obyknovennaya. Izmenchivost', vnutrividovaya sistematika i selektsiya* [Scots pine. Variability, intraspecific taxonomy and selection]. Moscow, 1964, 192 p.
- [56] Mikhaylova M.I. *Sostoyanie, rost i produktivnost' ekotipov sosny obyknovennoy v geograficheskikh lesnykh kul'turakh Voronezhskoy oblasti* [State, growth and productivity of Scots pine ecotypes in geographical forest cultures of the Voronezh region]. *Diss. Cand. Sci. (Geogr.)*, 2022, 219 p.
- [57] Shimanyuk A.P. *Dendrologiya* [Dendrology]. Moscow: Lesnaya prom-st' [Forestry], 1974, 264 p.
- [58] Sannikov S.N., Petrova I.V., Semerikov V.L. *Genofenogeograficheskiy analiz populyatsiy Pinus sylvestris L. na transekte ot severnoy do yuzhnoy granitsy areala* [Genophenogeographic analysis of *Pinus sylvestris* L. populations on a transect from the northern to the southern boundary of the range]. *Ekologiya* [Ecology], 2002, no. 2, pp. 97–102.
- [59] Kachalov A.A. *Derev'ya i kustarniki* [Trees and shrubs]. Moscow: Lesnaya prom-st' [Forestry], 1970, 408 p.
- [60] Kuzmin S. R., Kuzmina N. A. *Growth Regularities of Scots Pine Climatypes in the Provenance Trial under Different Soil Conditions* [Growth Regularities of Scots Pine Climatypes in the Provenance Trial under Different Soil Conditions]. *Contemporary Problems of Ecology* [Contemporary Problems of Ecology], 2023, v. 16, no. 5, pp. 645–656.
- [61] Raevskiy B.V. *Selektsiya i semenovodstvo sosny obyknovennoy (Pinus sylvestris L.) i sosny skruchennoy (Pinus contorta Dougl. ex Loud. var. latifolia Engelm) na Severo-Zapade taezhnoy zony Rossii* [Breeding and seed production of Scots pine (*Pinus sylvestris* L.) and lodgepole pine (*Pinus contorta* Dougl. ex Loud. var. *latifolia* Engelm) in the North-West taiga zone of Russia]. *Dis. Dr. Sci. (Agric.)*. Petrozavodsk, 2015, 322 p.
- [62] Bobrov E.G. *Lesoobrazuyushchie khvoynye SSSR* [Forest-forming conifers of the USSR]. Moscow: Nauka, Leningrad branch, 1978, 190 p.
- [63] Usol'tsev V.A. *Fitomassa lesov Severnoy Evrazii: Baza dannykh i geografiya* [Forest biomass of Northern Eurasia: database and geography]. Ed. S.G. Shiyatov. Ekaterinburg: Ural Branch of the Russian Academy of Sciences, 2001, 708 p.
- [64] Hanner M., Almqvist C., Hornfeldt R. Timing of seed dispersal in *Pinus sylvestris* stands in central Sweden. *Silva Fennica*, 2002, v. 36 (4), pp. 757–765.
- [65] Kireev D.M. *Lesnoe landshaftovedenie* [Forest landscape science]. St. Petersburg: SPbGLTU, 2007, 540 p.
- [66] Lezhnev D.V., Kulikova D.D., Polyakova G.A. *Vosstanovitel'naya dinamika sosnovykh fitotsenozov na vyрубkakh v nadpoyemnykh terrasakh reki Moskvy* [Restoration dynamics of pine phytocenoses in clearings on floodplain terraces of the Moskva River]. *Vestnik Rossiyskogo universiteta druzhby narodov. Seriya: Ekologiya i bezopasnost' zhiznedeyatel'nostim* [Bulletin of Peoples' Friendship University of Russia. Series: Ecology and Life Safety], 2023, v. 31, no. 4, pp. 447–467.
- [67] Glazunov Yu.B., Polyakova G.A., Korotkov S.A., Lezhnev D.V. *Estestvennoe vozobnovlenie na vyрубkakh v Serebryanoborskom opytном lesnichestve* [Natural regeneration in clearings in the Serebryanobor experimental forestry]. *Sibirskiy lesnoy zhurnal* [Siberian Forestry J.], 2024, no. 2, pp. 74–83.
- [68] Pobedinskiy A.V. *Sosna* [Sosna]. Moscow: Lesnaya prom-st' [Forestry], 1979, 125 p.
- [69] Babich N.A., Korchagov S.A., Konyushatov O.A. *Aktual'nye problemy lesovosstanovleniya na Evropeyskom Severe Rossii v ramkakh perekhoda k intensivnoy modeli vedeniya lesnogo khozyaystva* [Actual problems of reforestation in the European North of Russia within the framework of the transition to an intensive model of forestry]. *Russian Forestry J.*, 2013, no. 2 (332), pp. 74–83.
- [70] Kurkin K.A. *Kriterii, faktory, tipy i mekhanizmy ustoychivosti fitotsenozov* [Criteria, factors, types and mechanisms of phytocenosis stability]. *Botanicheskiy zhurnal* [Botanical J.], 1994, v. 79, no. 1, pp. 3–13.
- [71] Feklistov P.A., Evdokimov V.N., Barzut V.M. *Biologicheskie i ekologicheskie osobennosti rosta sosny v severnoy podzone evropeyskoy taygi* [Biological and ecological features of pine growth in the northern subzone of the European taiga]. Arkhangelsk: IPC AGTU, 1997, 140 p.
- [72] Abaturov A.V., Melankholin P.N. *Estestvennaya dinamika lesa na postoyannykh probnykh ploshchadyakh v Podmoskov'e* [Natural forest dynamics on permanent sample plots in the Moscow region]. Tula: Grif i K°, 2004, 333 p.
- [73] Novitskaya Yu.E., Chikina P.F., Sofronova G.I. *Fiziologo-biokhimicheskie osnovy rosta i adaptatsii sosny na Severe* [Physiological and biochemical bases of pine growth and adaptation in the North]. Leningrad: Science. Leningrad branch, 1985, 156 p.
- [74] Tkachenko M.E. *Obshchee lesovodstvo* [General forestry]. Leningrad: Goslesbumizdat, 1952, 598 p.
- [75] Klushevskaya E.S., Kuznetsova N.F. *Otsenka ustoychivosti sosny obyknovennoy k zasukhe po fiziologicheskim kharakteristikam khvoi* [Assessment of Scots pine drought resistance based on physiological characteristics of needles]. *Lesovedenie*, 2016, no. 3, pp. 216–222.
- [76] Tikhonova N.A., Tikhonova I.V. *Individual'naya izmenchivost' sosny obyknovennoy po priznakam zasukhoustoychivosti v lesostepnykh borakh Yuzhnoy Sibiri* [Individual variability of Scots pine based on drought resistance traits in forest-steppe pine forests of Southern Siberia]. *Sibirskiy lesnoy zhurnal* [Siberian Forest J.], 2016, no. 5, pp. 114–124.
- [77] Filipchuk A.N., Malysheva N.V., Zolina T.A., Fedorov S.V., Berdov A.M., Kositsyn V.N., Yugov A.N., Kinigopulo P.S. *Analiticheskiy obzor kolichestvennykh i kachestvennykh kharakteristik lesov Rossiyskoy Federatsii: itogi pervogo tsikla gosudarstvennoy inventarizatsii lesov* [Analytical review of quantitative and qualitative characteristics of forests of the Russian Federation: results of the first cycle of state forest inventory]. *Lesokhozyaystvennaya informatsiya* [Forestry information], 2022, no. 1, pp. 5–34.
- [78] Lezhnev D.V., Lebedev A.V. *Dinamika i ustoychivost' sosnovykh drevostoev v urboekosistemakh lesnoy opytной dachi RGAU – MSKHA imeni K.A. Timiryazeva* [Dynamics and stability of pine stands in urban ecosystems of the forest experimental dacha of the Russian State Agrarian University – Moscow Agricultural Academy named after K.A. Timiryazev]. *Izvestiya Sankt-Peterburgskoy lesotekhnicheskoy akademii* [Bulletin of the St. Petersburg Forest Engineering Academy], 2023, no. 245, pp. 93–111.

- [79] Lufarov A.O. *Khod estestvennogo vozobnovleniya sosnovogo podrosta pod pologom nasazhdeniy s provedennymi rubkami promezhutochnogo pol'zovaniya i postepennymi rubkami glavnogo pol'zovaniya* [The course of natural regeneration of pine undergrowth under the canopy of stands with intermediate felling and gradual final felling]. Trudy BGTU. Seriya 1: Lesnoe khozyaystvo, prirodopol'zovanie i pererabotka vozobnovlyaemykh resursov [Proceedings of BSTU. Series 1: Forestry, nature management and processing of renewable resources], 2020, no. 1 (228), pp. 39–47.
- [80] Vasil'ev O.D., Ogureeva G.N., Chistov S.V. *Otsenka tsenoticheskogo raznoobraziya lesnogo pokrova i ego dinamiki v etalonnykh landshaftakh Moskovskogo regiona po dannym distantsionnogo zondirovaniya* [Assessment of the cenotic diversity of forest cover and its dynamics in reference landscapes of the Moscow region based on remote sensing data]. Vestnik Sankt-Peterburgskogo universiteta. Nauki o Zemle [Bulletin of the St. Petersburg University. Earth Sciences], 2019, v. 64 (2), pp. 185–205.
- [81] Lebedev A.V., Gostev V.V. *Adventivnyy komponent flory lesnoy opytной dachi Timiryazevskoy akademii* [Adventive component of the flora of the forest experimental dacha of the Timiryazev Academy]. Timiryazevskiy biologicheskiy zhurnal [Timiryazev Biological J.], 2023, no. 1, pp. 8–14.
- [82] Zakharov V.P., Korotkov S.A. *Dinamika lesov vostochnogo Podmoskov'ya i ikh ispol'zovanie* [Dynamics of forests in the eastern Moscow region and their use]. Materialy Mezhdunarodnoy nauchnoy konferentsii molodykh uchenykh i spetsialistov, posvyashchennoy 150-letiyu so dnya rozhdeniya A.Ya. Milovicha [Proceedings of the International Scientific Conference of Young Scientists and Specialists dedicated to the 150th anniversary of the birth of A.Ya. Milovich], Moscow, June 3–5, 2024. Collection of articles. Vol. 1. Moscow: Russian State Agrarian University–Moscow Agricultural Academy, 2024, pp. 144–149.
- [83] Kravchenko P.N. *Ekologicheskaya otsenka territorii Tverskoy oblasti v interesakh sokhraneniya redkikh vidov in situ na osnove karkasno-geoekologicheskogo modelirovaniya* [Ecological assessment of the territory of the Tver region for the sake of conservation of rare species in situ based on frame-geoecological modeling]. Dis. Cand. Sci. (Geogr.). Tver, 2015, 181 p.
- [84] Dubenok N.N., Kuzmichev V.V., Lebedev A.V. Ecological functions of forest stands in urbanized environment of Moscow. RUDN J. of Agronomy and Animal Industries, 2019, v. 14, no. 2, pp. 154–161. DOI 10.22363/2312-797X-2019-14-2-154-161
- [85] Rysin L.P. *Lesnaya Podmoskov'ya* [Forests of the Moscow region]. Moscow: Partnership of scientific publications KMK, 2012, 255 p.
- [86] Korotkov S.A. *Smena sostava drevostoev i ustoychivost' zashchitnykh lesov tsentral'noy chasti Russkoy ravniny* [Change in the composition of tree stands and stability of protective forests of the central part of the Russian Plain]. Moscow: Doblest' epokh, 2023, 168 p.
- [87] Torgashev R.E., Golovanov V.I. *Upravlenie prirodookhranno-rekreatsionnym lesopol'zovaniem Moskovskogo stolichnogo regiona* [Management of nature conservation and recreational forest use in the Moscow metropolitan region]. Munitsipal'naya akademiya [Municipal Academy], 2022, no. 1, pp. 148–160.
- [88] Lebedev A.V. Changes in the growth of Scots pine (*Pinus sylvestris* L.) stands in an urban environment in European Russia since 1862. J. of Forestry Research, 2022, pp. 34–36.
- [89] Chernen'kova T.V., Puzachenko M.Yu., Belyaeva N.G., Kotlov I.P., Morozova O.V. *Kharakteristika i perspektivy sokhraneniya sosnovykh lesov Moskovskoy oblasti* [Characteristics and prospects for preserving pine forests in the Moscow region]. Lesovedenie [Forest Science], 2019, no. 5, pp. 449–464.
- [90] Korotkov S., Stonozhenko L., Lezhnev D., Ereghina S. Pine Plants Formation in the North-Eastern Moscow Region. II International Conference «Sustainable Development: Agriculture, Veterinary Medicine and Ecology» (VMAEE-II-2023), Karshi, 21–22 aprelya 2023 goda. Vol. 3011. New York: AIP PUBLISHING, 2023, p. 20031.
- [91] Chernen'kova T.V., Suslova E.G., Morozova O.V. *Bioraznoobraziye lesov Moskovskogo regiona* [Biodiversity of forests of the Moscow region]. Ekosistemy: ekologiya i dinamika [Ecosystems: ecology and dynamics], 2020, v. 4, no. 3, pp. 61–144.
- [92] Martynenko O.V., Karminov V.N., Shepashchenko D.G., Ontikov P.V. *Zavisimost' produktivnosti sosnovykh nasazhdeniy ot pochvenno-gruntovykh usloviy v Moskovskom uchebno-opytном lesnichestve* [Dependence of pine plantation productivity on soil and ground conditions in the Moscow educational and experimental forestry]. Lesovedenie [Forest Science], 2017, no. 6, pp. 411–417.
- [93] Lebedev A.V. *Obobshchennaya model' raspredeleniya diametrov derev'ev v sosnovykh drevostoyakh* [Generalized model of pine trees diameter distribution]. Lesnoy vestnik / Forestry Bulletin, 2022, vol. 26, no. 4, pp. 53–62. DOI: 10.18698/2542-1468-2022-4-53-62
- [94] Lipatkin V.A., Korotkov S.A. *O sovremennykh tendentsiyakh formirovaniya nasazhdeniy Podmoskov'ya* [On modern trends in the formation of plantations in the Moscow region]. Povyshenie effektivnosti lesnogo kompleksa: mater. Sed'moy Vserossiyskoy natsional'noy nauchno-prakticheskoy konferentsii s mezhdunarodnym uchastiem [Improving the efficiency of the forest complex: materials. Seventh All-Russian National Scientific and Practical Conference with International Participation], Petrozavodsk, May 25, 2021. Petrozavodsk: Petrozavodsk State University, 2021, pp. 105–106.
- [95] Rubtsov V.I. *Klassifikatsiya funktsiy i roli lesa* [Classification of functions and roles of the forest]. Lesovedenie, 1984, no. 2, pp. 3–9.
- [96] Woodward F.I., Smith T.M., Emanuel V.R. A global and primary productivity and phypogeography model. Global biogeochemical cycles, 1995, v. 9, iss. 4, pp. 471–490
- [97] Schimal D.S., House J.L., Hibbard K.A. Reset patterns and mechanisms of carbon exchange by terrestrial ecosystems. Nature, 2001, v. 414, no. 8. pp. 169–178.

- [98] Churakov B.P., Manyakina E.V. *Deponirovanie ugleroda raznovozrastnymi kul'turami sosny* [Carbon sequestration by pine crops of different ages]. *Ul'yanovskiy mediko-biologicheskii zhurnal* [Ulyanovsk Medical and Biological J.], 2012, no. 1, pp. 125–129.
- [99] Pluzhnikov A.A. *Otsenka sostoyaniya i sredoobrazuyushchikh funktsiy sosnovykh nasazhdeniy Tsentral'noy lesostepi (na primere Voronezhskoy oblasti)* [Assessment of the state and environment-forming functions of pine plantations in the Central forest-steppe (using the Voronezh region as an example)]. Author's abstract. Diss. Cand. Sci. (Agric.). Pushkino, 2014, 21 p.
- [100] Polyakov A.N., Ipatov P.F., Uspenskiy V.V. *Produktivnost' lesnykh kul'tur* [Productivity of forest crops]. Moscow: Agropromizdat, 1986, 240 p.
- [101] Pobedinskiy A.V. *Vodookhrannaya i pochvozashchitnaya rol' lesov* [Water protection and soil protection role of forests]. Pushkino: All-Russian Research Institute of Forestry and Forestry Mechanization, 2013, 208 p.
- [102] Tsel'niker Yu.L. *Svetovoy rezhim i formirovanie fotosinteticheskogo apparata lesnykh drevesnykh rasteniy* [Light regime and formation of the photosynthetic apparatus of forest woody plants]. Dis. Dr. Sci. (Biol.) 03.00.12. Moscow, 1977, 332 p.
- [103] Molchanov A.A. *Les i klimat. Akademiya nauk SSSR. Laboratoriya lesovedeniya* [Forest and climate. USSR Academy of Sciences. Laboratory of forestry]. Moscow: Publishing house of the USSR Academy of Sciences, 1961, 279 p.
- [104] Zyubina V.I., Protopopov V.V. *Transformatsiya lesami klimaticheskikh faktorov na okruzhayushchey territorii v svyazi s kolichestvom skontsentrirovannoy v nikh fitomassy* [Transformation of climatic factors in the surrounding area by forests in connection with the amount of phytomass concentrated in them]. *Vodookhranno-zashchitnoe znachenie lesa: mater. Vsesoyuz. konf. 15–19 oktyabrya 1974 g.* [Water protection and protective significance of the forest: Proc. All-Union Conf. October 15–19, 1974]. Vladivostok: Publishing House of the Biology and Soil Institute of the Far Eastern Scientific Center of the USSR Academy of Sciences, 1974, pp. 10–11.
- [105] Molchanov A.A. *Sosnovye lesa i vlaga* [Pine Forests and Moisture]. Moscow: Publishing House of the USSR Academy of Sciences, 1953, 140 p.
- [106] Molchanov A.A. *Gidrologicheskaya rol' lesa* [Hydrological Role of the Forest]. Moscow: Publishing House of the USSR Academy of Sciences, 1960, 487 p.
- [107] Molchanov A.A. *Vliyaniye lesa na okruzhayushchuyu sredu* [Impact of the Forest on the Environment]. Moscow: Nauka, 1973, 359 p.
- [108] Kochergina M.V. *Osnovy lesoparkovogo khozyaystva* [Fundamentals of Forest Park Management]. Voronezh: Voronezh State Forest Engineering University named after G.F. Morozov, 2018, 59 p.
- [109] Pluzhnikov A.A. *Otsenka sostoyaniya i sredoobrazuyushchikh funktsiy sosnovykh nasazhdeniy Tsentral'noy lesostepi: na primere Voronezhskoy oblasti* [Assessment of the state and environment-forming functions of pine plantations in the Central forest-steppe: on the example of the Voronezh region]. Dis. Cand. Sci. (Agric.) 06.03.02. Voronezh, 2014, 167 p.
- [110] Fedoseev G.B., Skvortsov S.S., Uspenskaya E.P. *Rol' letuchikh fraktsiy fitontsidov v meditsinskoj praktike* [The role of volatile fractions of phytoncides in medical practice]. *Tezisy докладов VIII soveshchaniya po probleme fitontsidov* [Abstracts of reports of the VIII meeting on the problem of phytoncides]. Kyiv: Naukova Dumka, 1979, 117 p.
- [111] Grigor'eva M.V. *Fitontsidnye svoystva nasazhdeniy lesoparkovoy chasti zelenoy zony goroda Voronezha* [Phytoncidal properties of plantings of the forest park part of the green zone of the city of Voronezh]. Dis. Cand. Sci. (Biol.) 11.00.11. Voronezh, 2000, 202 p.
- [112] Slepikh V.V. *Prirodnye i antropogennyye faktory i fitontsidnaya aktivnost' drevesnykh porod* [Natural and anthropogenic factors and phytoncidal activity of tree species]. *Lesnoe khozyaystvo* [Forestry], 2004, no. 6, pp. 17–19.
- [113] Kholodnyy N.G. *Biologicheskoe znachenie fitogennykh organicheskikh veshchestv atmosfery* [Biological significance of phytogenic organic substances of the atmosphere]. *Byulleten' Moskovskogo obshchestva ispytateley prirody. Otdel biologicheskii* [Bulletin of the Moscow Society of Naturalists. Biological Department], 1948, v. 53, iss. 1, pp. 53–71.
- [114] Kolesnichenko M.V. *O vzaimovliyaniy drevesnykh rasteniy posredstvom fitontsidov* [On the mutual influence of woody plants by means of phytoncides]. *Tezisy докладов VII soveshchaniya po probleme fitontsidov* [Abstracts of reports of the VII meeting on the problem of phytoncides]. Kyiv: Naukova Dumka, 1975, pp. 46–47.
- [115] Lebedev S.I. *Fiziologiya rasteniy* [Plant physiology]. Moscow: Agropromizdat, 1988, 544 p.

## Author's information

**Daniil Viktorovich Lezhnev** — Head of the Research Department for Students and Young Scientists, Russian State Agrarian University – Moscow Timiryazev Agricultural Academy; Jr. Scientific Associate of the Laboratories of Forestry and Biological Productivity of the Institute of Forestry Sciences, lezhnev.daniil@yandex.ru

Received 03.12.2024.

Approved after review 12.09.2025.

Accepted for publication 25.11.2025.

## ОСОБЕННОСТИ ПРОИЗРАСТАНИЯ В ГОРНОМ ДАГЕСТАНЕ ВИДОВ РОДА КАРКАС (*CELTIS* L.)

Б.М. Магомедова

ФГБУН «Горный ботанический сад Дагестанского федерального исследовательского центра Российской академии наук» (ГорБС ДФИЦ РАН), Россия, 367000, Республика Дагестан, г. Махачкала, ул. М. Гаджиева, д. 45

bary\_m@mail.ru

Рассмотрены вопросы реализации ростовых процессов у ювенильных растений рода Каркас (*Celtis* L.) в зависимости от условий Горного Дагестана. Установлено, что комплексные почвенно-климатические условия разных высотных уровней оказывают существенное влияние на изменчивость морфологических признаков семян и их ростовые показатели. Показано, что климатические и почвенные условия Цудахарской экспериментальной базы являются более благоприятными для роста видов рода Каркас (*Celtis* L.). Указано, что комплексный фактор в условиях Гунибской и Цудахарской экспериментальных баз существенно влияет (на 99,9%-м уровне значимости) на изменчивость практически всех изученных морфологических признаков листьев у семян родов Каркас (*Celtis* L.). Выявлено отсутствие различий по *t*-критерию Стьюдента между средними значениями признаков индекса формы листа у каркаса кавказского *C. caucasica* Willd., каркаса Планшона *C. planchoniana* K. У каркаса западного *C. occidentalis* L. влияние высотного градиента на изменчивость признака индекса листа достоверна на 99%-м уровне значимости. Рекомендуются виды каркаса кавказский (*C. caucasica*) и каркас западный (*C. occidentalis*) для использования в целях лесомелиорации в аридных условиях Горного Дагестана.

**Ключевые слова:** онтогенез, семена, *Celtis* L., Красная книга, Дагестан, древесный вид

**Ссылка для цитирования:** Магомедова Б.М. Особенности произрастания в Горном Дагестане видов рода Каркас (*Celtis* L.) // Лесной вестник / Forestry Bulletin, 2026. Т. 30. № 1. С. 62–73.  
DOI: 10.18698/2542-1468-2026-1-62-73

В целях борьбы с опустыниванием и деградацией земель в засушливых регионах необходимо проведение лесомелиоративных мероприятий. Ассортимент применяемых для этого древесных насаждений существенно ограничен, в частности, в связи со специфическими почвенно-климатическими условиями [1], т. е. с дефицитом влаги в период вегетации, высокими или низкими значениями температуры воздуха, которые выступают ограничивающими факторами для расширения ареала той или иной культуры. Наиболее устойчивыми древесными видами в аридных условиях считаются растения, у которых процессы водообмена резко снижаются при недостаточном водообеспечении и максимально увеличиваются в оптимальных условиях. Это группа растений, которые имеют широкий диапазон изменчивости основных физиологических показателей [2].

Прежде всего представляют интерес представители рода Каркас (*Celtis* L.), характеризующиеся такими преимуществами, как долговечность, быстрый рост, нетребовательность к почвенным

условиям, декоративность. Они рекомендуются к широкому применению для создания защитных насаждений [1]. Род Каркас обладает исключительной пластичностью, позволяющей ему приспосабливаться к чрезвычайно разнообразным экологическим условиям и произрастать в местах, непригодных для большинства древесных и кустарниковых пород. Это обуславливает его огромную ценность в горной мелиорации как дерева, эффективного в области облесения и закрепления каменистых и щебнистых склонов гор в сухих местностях с малоплодородными почвами (в частности, участков с осыпями).

Род Каркас (*Celtis* L.) включает в себя около 60 видов, распространенных в умеренном и тропическом климатических поясах [3–20]. Анализ современного распространения каркасов показал, что в культуре распространено 22 вида. В СНГ значительный коллекционный фонд каркасов собран в Ташкентском ботаническом саду имени академика Ф.Н. Русанова — 12 видов, в Батумском ботаническом саду — 9 видов и одна форма, в Никитском ботаническом саду (г. Ялта, Республика Крым) — 9 видов и в Ботаническом саду имени Э.З. Гареева (Бишкек, Кыргызстан) — 7 видов и одна форма [3].

В условиях интродукции некоторые виды образуют жизнеспособный самосев, что свидетельствует об их высокой пластичности в различных условиях произрастания. Некоторые виды даже в естественных условиях чрезвычайно гетерогенны и отличаются полиморфизмом отдельных признаков [3–20].

В различных условиях произрастания виды рода Каркас *Celtis* L. отличаются зимостойкостью, в частности каркас кавказский подмерзает в северных широтах, как отмечают некоторые авторы [20–21]. Кроме того, они достаточно засухоустойчивы и устойчивы к повреждению вредителями и болезнями [22–24]. В силу обширной облиственности кроны, красивого внешнего вида коры, долговечности, а также указанных выше зимостойкости и засухоустойчивости, род очень ценен для озеленения [3]. В научных исследованиях видам рода Каркас *Celtis* L. уделяется большое внимание. В работе [25] приведена оценка биоэкологического потенциала видового разнообразия рода Каркас *Celtis* L. и разработана методика определения его перспективности для защитного лесоразведения и озеленения. Исследованы биоэкологические особенности представителей этого рода интродуцированных, в частности в Туркменистане [26]. Изучен комплекс необходимых питательных качеств и химический состав плодов у вида Каркас южный *C. australis* [27], химический состав у вида Каркас филиппинский *C. philippinensis* [28]. Представлено [29] биоэкологическое обоснование применения видов рода *Celtis* L. в лесомелиоративных насаждениях Нижнего Поволжья. Кроме того, [30] изучены особенности организации побеговых систем вида каркас кавказский *C. caucasica* Willd., экология [31] двух популяций вида каркас тонколистный *C. tenuifolia* Nutt., произрастающих в Канаде.

Условия почвообразования в Республике Дагестан отличаются недостаточным количеством выпадающих осадков (250...300 мм), при коэффициенте увлажнения  $K$ , равном 0,3...0,4 и высокой температурой воздуха в летний сезон [32].

Одной из характерных особенностей каркаса служит способность переносить продолжительную засуху. Засухоустойчивость каркаса объясняется наличием анатомо-морфологических приспособлений, т. е. исключительно плотным расположением и чрезмерной удлинённостью клеток палисадной ткани листа, образованием большого количества цистолитов при ухудшении водного режима, мощным развитием в коре стебля одревесневших механических тканей и накоплением в древесине гемцеллюлозных отложений в виде запасных питательных веществ [33].

Засухоустойчивость этой своеобразной породы объясняется также чрезвычайно мощной развитой корневым системой, надёжно закрепляющей почву. Горизонтальная проекция корневой системы существенно превышает горизонтальную проекцию кроны, а отдельные корни отходят от стволов на расстояние до 10...12 м.

Виды каркаса имеют большое практическое значение: обладают декоративностью, применяются в пищевой, дубильной, красильной, масложировой, кормовой (для скота) отраслях [34].

Вид имеет плотную, тяжелую, зеленовато-желтую древесину. Вследствие твердости древесины его называют «железным деревом», однако она быстро разрушается, особенно, если ее надолго оставить на открытом воздухе. Промышленного значения эта древесина не имеет и используется в основном для мелких поделок, а также для изготовления фанеры золотистого цвета с очень красивой текстурой. Кору, листья, молодые веточки каркаса можно использовать для окраски тканей, в частности шелк окрашивается в кремовые и ореховые тона. Плоды каркаса хоть и мелкие, но съедобные. Жители горных районов собирают созревшие плоды, хорошо их просушивают, перемалывают в муку, и, смешивая с пшеничной мукой, используют для выпечки хлеба. Плоды применяют в качестве тонизирующего средства.

На Кавказе в целом в природе произрастают четыре вида каркаса: каркас южный *C. australis* L., каркас кавказский *C. caucasica* Willd., каркас Планшона *C. planchoniana* K., каркас Турнефора *C. tournefortii* Lam., а во флоре Дагестана встречаются два вида — каркас кавказский *C. caucasica* Willd., каркас Планшона *C. planchoniana* K., из которых каркас кавказский *C. caucasica* Willd. — редкий и уязвимый вид, занесенный в Красную книгу Республики Дагестан [35, 36].

По литературным данным [37–48], проявление адаптивных свойств к ксеротермическим факторам среды на стадии проростка и в ювенильном периоде показывает возможность использования отдельных видов Каркаса для защитного лесоразведения и озеленения.

В имеющейся коллекции Горного ботанического сада (Республика Дагестан) произрастают три вида каркаса: каркас кавказский *C. caucasica* Willd., каркас Планшона *C. planchoniana* K., каркас западный *C. occidentalis* L.

## Цель работы

Цель работы — изучение особенностей ростовых процессов древесных растений рода Каркас *Celtis* L. в засушливых условиях

(Республика Дагестан) для определения перспективности их использования в защитном лесоразведении.

## Материалы и методы

В качестве объектов исследования рассмотрены древесные виды рода Каркас *Celtis* L.: каркас кавказский *C. caucasica* Willd., каркас Планшона *C. planchoniana* K., каркас западный *C. occidentalis* L.

Изучение роста сеянцев было проведено в условиях Горного ботанического сада ДФИЦ РАН на Цудахарской экспериментальной базе (ЦЭБ), высота 1100 м н. у. м. и Гунибской экспериментальной базе (ГЭБ), высота 1750 м н. у. м., расположенных во Внутригорном Дагестане.

Гунибская экспериментальная база расположена на высоте от 1650 до 2000 м н. у. м. По рельефу и геологическому строению эта территория относится к известняковому району, образованному преимущественно меловыми и юрскими известняками и характеризуется следующими параметрами: среднегодовое количество осадков 619 мм; среднегодовая температура воздуха 6,6 °С; абсолютный минимум температуры 26,0 °С; абсолютный максимум температуры 36,0 °С; относительная влажность воздуха 65 %. В почвенном покрове преобладают субальпийские горно-луговые и черноземовидные почвы [43].

Цудахарская экспериментальная база расположена на высоте от 900 до 1100 м н. у. м. и имеет следующие параметры: среднегодовое количество осадков 440 мм; среднегодовая температура воздуха 6,9 °С; относительная влажность воздуха 72 %. В почвенном покрове преобладают известковые почвы.

Посев семян проведен по общепринятой методике осенью и весной в трех повторностях [44]. Ежемесячно с момента появления всходов измеряли длину годичного побега. К концу вегетационного периода были измерены морфологические признаки листьев: длина листовой пластинки, длина черешка, общая длина листа, максимальная ширина пластинки. Измерения проводились линейкой (в сантиметрах) с точностью до 1 мм (высота). Кроме того, определяли среднее арифметическое значение  $X$ , его ошибку  $S_x$ , коэффициент вариации  $CV$  (%) по шкале С.А. Мамаева [44]. Статистическая обработка полученных результатов выполнена с использованием программы Exsel.

Вид каркас кавказский *C. caucasica* Willd. произрастает в очень сухих или полусухих местностях. Общий ареал: Кавказ, Юго-

Западная (Турция, Иран, Ирак, Афганистан, Пакистан), Средняя и Южная Азия. На Кавказе он растет в нижнем и среднем горных поясах до высоты 1500...1600 м. Экологически довольно разнообразен, так как в своем распространении связан с различными типами растительности: пустынным, степным, фриганным, редколесным и лесным. Вид приурочен в основном к полосе нижнего предела горных лиственных лесов, образует смешанно-лиственные редколесья совместно с гемиксерофильными или ксерофильными породами (дубом, ясенем, кленом, вязом, грабом), в том числе кустарниками (боярышником, кизильником, спиреей, держи-деревом, скумпией). К почвам малотребователен. Светолюбив. Размножение семенное. На орошаемых землях растет довольно быстро. Однолетние растения достигают в среднем 65 см, 10-летние деревья имеют высоту 6–7 м. Несмотря на то, что каркас хорошо размножается сеянцами и саженцами, все-таки основной способ его разведения в горах остается за посевом на постоянное место без пересадки. Сеянцы каркаса хорошо переносят жару и не нуждаются в притенениях. Дерево вступает в генеративную стадию с 8...10 лет, образуя при этом шаровидные красновато-желтые гладкие костянки с сизоватым налетом на длинных ножках. Созревание семян наблюдается в начале осени. Листья у растения продолговатые, жесткие, ассиметричные. Живет до 100–200 лет.

Вид каркас Планшона *C. planchoniana* K. — листопадное дерево или кустарник высотой до 5 м. На Кавказе растет главным образом в безлесных областях, вертикально простираясь от 300 м до высоты 1500...1700 м, а местами и выше, обитая на сухих неплодородных каменистых и скалистых местах, как правило, единичными экземплярами или небольшими группами. Ареал вида включает в себя Юго-Восточную Европу, Юго-Западную Азию, восточную часть Кавказа, в западной части не произрастает, внесен в Красную книгу Краснодарского края [45]. К почвам не требователен, растет на сильноэродированных почвах, на каменисто-осыпных склонах, в расщелинах скалистых выступов и на крутых склонах. Климатические условия среды обитания сходны в основном с условиями произрастания вида каркас кавказский *C. caucasica* Willd. Каркасы очень светолюбивые культуры, каркас кавказский *C. caucasica* Willd. более светолюбив, чем каркас Планшона *C. planchoniana* K. Плод — костянка почти шаровидной формы, поверхность плода шероховатая, красновато-желтого цвета с сизым налетом, мякоть — сладковатая. Цветет ранней весной, вместе с распусканием

Т а б л и ц а 1

Лабораторная и полевая всхожесть семян рода Каркас *Celtis* L.Laboratory and field germination of seeds of the genus *Celtis* L.

Вид	Всхожесть, %					
	Лабораторная		Полевая			
			осень		весна	
	$\bar{x} \pm s_{\bar{x}}$	CV, %	$\bar{x} \pm s_{\bar{x}}$	CV, %	$\bar{x} \pm s_{\bar{x}}$	CV, %
Каркас кавказский <i>C. caucasica</i> Willd.	81,7 ± 4,37	9,3	42,0 ± 2,08	8,6	60,0 ± 1,73	5,0
Каркас западный <i>C. occidentalis</i> L.	51,1 ± 2,25	7,6	8,2 ± 1,32	27,9	45,1 ± 0,72	2,8
Каркас Планшона <i>C. planchoniana</i> K.	47,5 ± 1,07	3,9	19,7 ± 2,14	18,8	38,1 ± 1,33	6,0

Т а б л и ц а 2

Достоверность значений признаков листьев сеянцев рода Каркас *Celtis* L.Reliability of leaves trait values for seedlings of the genus *Celtis* L.

Вид	Длина листовой пластинки A, мм	Длина черешка C, мм	Общая длина листа AC, мм	Максимальная ширина пластинки B, мм	Индекс листа A/B
Каркас кавказский <i>C. caucasica</i> Willd.	3,28 ( <i>P</i> < 0,01)	5,82 ( <i>P</i> < 0,001)	12,03 ( <i>P</i> < 0,001)	8,02 ( <i>P</i> < 0,001)	—
Каркас западный <i>C. occidentalis</i> L.	19,02 ( <i>P</i> < 0,001)	5,47 ( <i>P</i> < 0,001)	19,71 ( <i>P</i> < 0,001)	16,13 ( <i>P</i> < 0,001)	3,43 ( <i>P</i> < 0,01)
Каркас Планшона <i>C. planchoniana</i> K.	7,62 ( <i>P</i> < 0,001)	3,45 ( <i>P</i> < 0,01)	3,177 ( <i>P</i> < 0,01)	6,03 ( <i>P</i> < 0,001)	—

\*Прочерк означает отсутствие существенного влияния фактора.

листьев — в марте — апреле, плоды созревают в сентябре — октябре.

Каркас западный *C. occidentalis* L. — листопадное дерево среднего размера. Ареал распространения вида Северная Америка, на Кавказе произрастает как интродуцированный вид. В естественных условиях встречен в зоне лесов, участвует во втором ярусе в смешанно-лиственных или сосново-лиственных лесах, развитых на хорошо дренированных лессовидных суглинках и на безлесных пространствах. Цветет в апреле — мае, одновременно с распусканием листьев, плоды созревают в сентябре — октябре. Проявляет высокую теневыносливость. Вредителями и болезнями не повреждается. Пригоден для облесения в районах с сухим или полувлажным климатом, при этом теплым или умеренно-холодным. Коренные американцы использовали отвары, приготовленные из коры для облегчения боли в горле, а древесный экстракт — при лечении желтухи [5, 6].

Семена видов каркас кавказский *Celtis caucasica* Willd. и каркас Планшона *C. plancho-*

*niana* K. были собраны из естественных мест произрастания в природе, каркас западный *C. occidentalis* L. — в г. Махачкале.

## Результаты и обсуждение

Каркасы могут размножаться как вегетативно, так и семенами. Для защитного лесоразведения наиболее эффективным считается семенное размножение.

Высевать семена каркаса можно осенью или весной. Осенние посевы проводились без подготовки семян, весенние — стратифицированными семенами. Норма высева семян составляла 28 г на 1 м, глубина заделки — 3 см. В естественных условиях в природе семенное возобновление видов каркас кавказский *C. caucasica* Willd., каркас Планшона *C. planchoniana* K. отмечено очень редко, вероятно, вследствие аридности и климата на территории и биотических факторов. В связи с этим были проведены работы по изучению всхожести семян, начальных этапов онтогенеза видов рода каркас *Celtis* L. в различных экологических условиях.

Т а б л и ц а 3

**Динамика роста сеянцев древесных видов рода Каркас *Celtis* L.  
в условиях Горного Дагестана**

**Growth dynamics of the *Celtis* L. seedlings in the conditions of Mountainous Dagestan**

Вид	Май		Июнь		Июль		Август		Сентябрь	
	Среднее значение и ошибка $\bar{x} \pm s_{\bar{x}}$	Коэффициент вариации CV, %	Среднее значение и ошибка $\bar{x} \pm s_{\bar{x}}$	Коэффициент вариации CV, %	Среднее значение и ошибка $\bar{x} \pm s_{\bar{x}}$	Коэффициент вариации CV, %	Среднее значение и ошибка $\bar{x} \pm s_{\bar{x}}$	Коэффициент вариации CV, %	Среднее значение и ошибка $\bar{x} \pm s_{\bar{x}}$	Коэффициент вариации CV, %
Каркас кавказский <i>C. caucasica</i> Willd. (ГЭБ/ЦЭБ)	1,9 ± 0,05	8,8	2,3 ± 0,09	11,6	7,9 ± 0,25	10,0	12,3 ± 0,73	18,7	23,2 ± 1,20	16,4
	2,9 ± 0,14	15,3	7,2 ± 0,53	23,4	31,4 ± 1,27	12,8	47,6 ± 2,10	13,9	68,4 ± 4,2	19,4
Каркас западный <i>C. occidentalis</i> L. (ГЭБ/ЦЭБ)	2,6 ± 0,11	13,2	3,4 ± 0,13	12,2	8,8 ± 0,27	9,7	12,4 ± 0,62	15,7	23,7 ± 1,18	15,7
	5,6 ± 0,16	9,0	8,3 ± 0,48	18,3	30,2 ± 0,77	8,04	53,2 ± 0,73	4,4	74,8 ± 1,58	6,7
Каркас Планшона <i>C. planchoniana</i> К. (ГЭБ/ЦЭБ)	1,12 ± 0,05	13,2	1,9 ± 0,07	10,7	5,4 ± 0,23	13,4	6,0 ± 0,24	12,8	7,1 ± 0,34	15,1
	1,9 ± 0,04	6,9	4,3 ± 0,32	23,5	8,2 ± 0,76	29,4	14,2 ± 0,77	17,3	19,1 ± 1,19	19,7

Т а б л и ц а 4

**Морфологические признаки листьев сеянцев видов рода Каркас *Celtis* L.  
в условиях Горного Дагестана**

**Leaves morphological characteristics of *Celtis* L. seedlings in the conditions of Mountainous Dagestan**

Вид	Длина листовой пластинки A, мм		Длина черешка C, мм		Общая длина листа AC, мм		Максимальная ширина пластинки B, мм		Индекс листа A/B	
		CV, %		CV, %		CV, %		CV, %		CV, %
Каркас кавказский <i>C. caucasica</i> Willd. (ГЭБ/ЦЭБ)	56,3 ± 1,90	8,9	4,4 ± 0,30	17,8	60,7 ± 2,1	9,2	36,0 ± 1,69	12,4	1,6 ± 0,03	5,6
	90,6 ± 2,55	8,9	7,2 ± 0,39	17,1	97,8 ± 2,64	8,6	56,5 ± 2,39	13,4	1,6 ± 0,04	8,4
Каркас западный <i>C. occidentalis</i> L. (ГЭБ/ЦЭБ)	66,2 ± 1,33	6,4	4,5 ± 0,17	11,7	70,7 ± 1,41	6,3	39,1 ± 0,98	7,9	1,7 ± 0,02	3,8
	111,3 ± 2,13	6,1	6 ± 0,21	11,1	117,3 ± 2,09	5,6	66,7 ± 1,21	5,7	1,7 ± 0,02	4,1
Каркас Планшона <i>C. planchoniana</i> К. (ГЭБ/ЦЭБ)	18,6 ± 0,80	12,2	1,7 ± 0,21	35,2	20,3 ± 0,89	12,4	11,4 ± 0,46	11,5	1,6 ± 0,04	7,6
	31,6 ± 1,73	17,4	2,8 ± 0,25	28,7	34,3 ± 1,93	17,8	19,1 ± 1,46	24,2	1,68 ± 0,07	13,2

У видов каркас кавказский *C. caucasica* Willd., каркас Планшона *C. planchoniana* К. и каркас западный *C. occidentalis* L. весенний посев стратифицированных семян показал более

высокие результаты по сравнению с осенним (табл. 1). Как полевая, так и лабораторная всхожесть у каркаса кавказского *C. caucasica* Willd. были самыми высокими из изучаемых видов



Рис. 1. Сеянцы каркаса кавказского *C. caucasica* Willd.  
Fig. 1. *Celtis caucasica* Willd. seedlings



Рис. 2. Сеянцы каркаса Планшона *C. planchoniana* K.  
Fig. 2. *Celtis planchoniana* K. seedlings

рода Каркас *Celtis* L. (80 %), кроме того, они характеризовались надземным прорастанием.

Начальные темпы роста в условиях обоих экспериментальных баз демонстрируют низкие значения в первый месяц развития; в следующие месяцы можно наблюдать более высокие темпы роста в условиях ЦЭБ по сравнению с ГЭБ. Видимо, комплексные почвенно-климатические условия ЦЭБ (1100 м н. у. м.) для сеянцев видов рода Каркас *Celtis* L. являются более благоприятными. С увеличением высоты над уровнем моря (ГЭБ, 1750 м н. у. м.) природные условия, в частности низкая температура, имеет определяющее значение для вегетации (табл. 2). Можно сделать вывод о том, что климатические и почвенные условия ЦЭБ являются более благоприятными для роста видов рода Каркас *Celtis* L.

Семядоли по форме у видов прямоугольные, у каркаса Планшона *C. planchoniana* K. меньше, чем у двух других. Также только у этого вида первые листья, которые появляются в начале мая, с верхней стороны голые, с нижней — опушенные, в особенности по жилкам, а у остальных видов опушение наблюдается с обеих сторон.



Рис. 3. Сеянцы каркаса западного *C. occidentalis* L.  
Fig. 3. *Celtis occidentalis* L. seedlings

Интродукция древесных растений позволяет выявить закономерности произрастания древесных растений в новой среде и сохранения их в условиях культуры, а также определить возможное рациональное использование растительных ресурсов [45–48].

Природные условия горных районов оказывают существенное влияние на изменчивость изучаемых показателей листа. На высоте 1100 м н. у. м. данные параметры выше в 1,5 раза (табл. 3).

Установлено, что комплексный фактор в условиях ГЭБ и ЦЭБ сильно сказывается на изменчивости практически всех изученных морфологических признаков листьев у сеянцев рода Каркас *Celtis* L. (см. табл. 1, 2). Как видно из табл. 4, на 99 % является достоверным влияние на такие признаки, как длина черешка и общая длина листа у каркаса Планшона *C. planchoniana* K., длина листовой пластинки у каркаса кавказского *C. caucasica* Willd.

По *t*-критерию Стьюдента нет различий у признаков индекса формы листа у каркаса Планшона *C. planchoniana* K., каркаса кавказского *C. caucasica* Willd., в отличие от каркаса западного *C. occidentalis* L., у которого влияние факторов достоверно на 99%-м уровне значимости. Изучаемые признаки в целом имеют средний уровень изменчивости по шкале А.С. Мамаева [40]. Условия произрастания более всего влияют на изменчивость такого признака, как длина черешка у каркаса Планшона *C. planchoniana* K. (рис. 1–3).

Проявление адаптивных свойств к ксеротермическим факторам среды на стадии проростка и в ювенильном периоде показывают возможность использования отдельных растительных организмов для защитного лесоразведения и озеленения, в том числе для рассмотрения видов рода Каркас *Celtis* L.

## Выводы

Проведенные исследования позволили выявить высотную дифференциацию ростовых процессов у сеянцев трех видов рода Каркас (каркас кавказский *C. caucasica* Willd., каркас Планшона *C. planchoniana* K., каркас западный *C. occidentalis* L.) в условиях Горного Дагестана. Комплекс условий Цудахарской экспериментальной базы (высота 1100 м н. у. м) является существенно более благоприятным для начального роста и развития сеянцев всех изученных видов каркас *Celtis* L. что подтверждается достоверно более высокими показателями длины годичного побега и большинства морфометрических параметров листьев.

Установлено статистически значимое влияние комплексного фактора среды (высотный градиент) на изменчивость морфологических признаков листьев. Для большинства изученных параметров (длина листовой пластинки, общая длина листа, ширина пластинки) это влияние является высокодостоверным ( $P < 0,001$ ).

Выявлены видовые различия в адаптивной стратегии: каркас западный *C. occidentalis* L. показал наибольшую фенотипическую пластичность, продемонстрировав достоверные различия (на 99%-м уровне значимости) даже в таком стабильном признаке, как индекс формы листа. Каркас кавказский *C. caucasica* Willd., каркас Планшона *C. planchoniana* K. оказались более консервативными в отношении формы листа, не выявив достоверных различий по данному признаку между высотными уровнями, что может указывать на их генетически закрепленную устойчивость в данных условиях.

В результате оценки репродуктивных и ростовых характеристик для целей защитного лесоразведения в аридных условиях Горного Дагестана рекомендованы к использованию: каркас кавказский *C. caucasica* Willd., как аборигенный, наиболее адаптированный вид, обладающий наивысшей устойчивостью; каркас западный *C. occidentalis* L., как перспективный интродуцент с высокой адаптивной способностью и интенсивным ростом в оптимальных условиях.

Наиболее эффективным агротехническим приемом для размножения всех изученных видов является весенний посев стратифицированными семенами.

Таким образом, виды рода Каркас *Celtis* L. обладают значительным потенциалом для использования в восстановительной экологии и озеленении горных регионов с аридным климатом, а каркас кавказский и каркас западный определены в качестве наиболее перспективных таксонов для проведения лесомелиоративных мероприятий в Республике Дагестан. Дальнейшие исследования в этом направлении позволят получить более фундаментальные результаты, направленные на борьбу с опустыниванием на аридных территориях.

## Список литературы

- [1] Цембелев М.А., Семенютина А. В. Биоэкология видов рода *Celtis* L. в Нижнем Поволжье. Волгоград: Изд-во ФНЦ агроэкологии РАН, 2019. 144 с.
- [2] Маттис Г.Я., Крючков С.Н. Лесоразведение в засушливых условиях. Волгоград: Изд-во ВНИИАЛМИ, 2003. 292 с.
- [3] Дендрофлора Кавказа / под ред. В.З. Гулисашвили. Тбилиси: Изд-во АН СССР, 1961. Т. 2. 329 с.

- [4] Reichman O.J. Forest // Konza Prairie: A tallgrass natural history. University of Kansas: Lawrence KS, 1987, pp. 115–124.
- [5] Stickney Peter F. Seral origin of species originating in northern Rocky Mountain forests / U.S. Department of Agriculture, Forest Service, Intermountain Research Station, Fire Sciences Laboratory, Missoula, 1989, 10 p.
- [6] El-Alfy T.S. M., El-Gohary H.M.A., Sokkar N.M., Abd El-Tawab S., Al-Mahdy D.A.M. Botanical and genetic characteristics of *Celtis australis* L. and *Celtis occidentalis* L. grown in Egypt // Bulletin of Faculty of Pharmacy, Cairo University, 2011, v. 49, no. 1, pp. 37–57.
- [7] Demir F., Doğan H., Özcan M., Hacisferoğullari H. Nutritional and physical properties of hackberry (*Celtis australis* L.) // J. of Food Engineering, 2002, v. 54, no. 3, pp. 241–247.
- [8] Kim D.K., Lim J.P., Kim J.W., Park H.W., Eun J.S. Antitumor and antiinflammatory constituents from *Celtis sinensis* // Archives of Pharmacal Research, 2005, v. 28, pp. 39–43.
- [9] Berg C.C., Dahlberg S.V. A revision of *Celtis subg. Mertensia* (Ulmaceae) // Brittonia, 2001, v. 53, pp. 66–81.
- [10] Adedapo A.A., Jimoh F.O., Afolayan A.J., Masika P.J. Antioxidant Properties of the Methanol Extracts of the Leaves and Stems of *Celtis africana* // Records of Natural Products, 2009, v. 3, pp. 23–31.
- [11] Al-Taweel A.M., Perveen S., El-Shafae A.M., Fawzy G.A., Malik A., Afza N., Latif M. Bioactive phenolic amides from *Celtis africana* // Molecules, 2012, v. 17, no. 3, pp. 2675–2682.
- [12] El-Alfy T.S., El-Gohary H., Sokkar N.M., Hosny M., Al-Mahdy D.A. A new flavonoid C-glycoside from *Celtis australis* L. and *Celtis occidentalis* L. leaves and potential antioxidant and cytotoxic activities // Scientia pharmaceutica, 2011, v. 79, no. 4, pp. 963–975.
- [13] Acquaviva R., Sorrenti V., Santangelo R., Cardile V., Tomasello B., Malfa G., Di Giacomo C. Effects of an extract of *Celtis aetnensis* (Tornab.) Strobl twigs on human colon cancer cell cultures // Oncology Reports, 2016, v. 36, no. 4, pp. 2298–2304.
- [14] Sepahvand T., Etemad V., Matinizade M., Shirvany A. Symbiosis of AMF with growth modulation and antioxidant capacity of Caucasian Hackberry (*Celtis caucasica* L.) seedlings under drought stress // Central Asian J. of Environmental Science and Technology Innovation, 2021, v. 2, no. 1, pp. 20–35.
- [15] Semwal R.B., Semwal D.K. Analgesic and anti-inflammatory activities of extracts and fatty acids from *Celtis australis* L // The Natural Products J., 2012, v. 2, no. 4, pp. 323–327.
- [16] Cowan M.R., Gabel M.L., Jahren A.H., Tieszen L.L. Growth and biomineralization of *Celtis occidentalis* (Ulmaceae) pericarps // American Midland Naturalist, 1997, pp. 266–273.
- [17] Krajicek J.E., Williams R.D. *Celtis occidentalis* L. Hackberry // Silvics of North America, 1990, v. 2, pp. 262–265.
- [18] Brunetti C., Tattini M., Guidi L., Velikova V., Ferrini F., Fini A. An integrated overview of physiological and biochemical responses of *Celtis australis* to drought stress // Urban forestry & Urban greening, 2019, v. 46, p. 126480.
- [19] Spitaler R., Gurschler S., Ellmerer E., Schubert B., Sgarbossa M., Zidorn C. Flavonoids from *Celtis australis* (Cannabaceae) // Biochemical Systematics and Ecology, 2009, v. 37, no. 2, pp. 120–121.
- [20] Ota A., Višnjevec A. M., Vidrih R., Prgomet Ž., Nečemer M., Hribar J., Ulrih N.P. Nutritional, antioxidative, and antimicrobial analysis of the Mediterranean hackberry (*Celtis australis* L.) // Food science & nutrition, 2017, v. 5, no. 1, pp. 160–170.
- [21] Колесников А.И. Декоративная дендрология. М.: Лесная пром-сть, 1974. 704 с.
- [22] Атрохин В.Г., Калуцкий К.К., Тюриков Ф.Т. Древесные породы мира. Т. 3 / Древесные породы СССР. М.: Лесная пром-сть, 1982. 264 с.
- [23] Мамедова К.А. Рост и развитие некоторых видов каркаса на Апшероне // Бюл. ГБС АН РФ, 1992. Вып. 164. С. 18–21.
- [24] Мавжудов А.А. Представители рода *Celtis* L. в условиях Ташкента // Узбекский биологический журнал, 1963. № 3. С. 32–37.
- [25] Семенютина А.В., Петров В.И., Подковыров И.Ю. Методика определения перспективности интродукции видов *Ulmus* L. и *Celtis* L. для защитного лесоразведения и озеленения // Современная наука: Актуальные проблемы теории и практики. Серия: Естественные и технические науки, 2015. № 7–8. С. 56–69.
- [26] Гуйджев Б.Х. Биоэкологические особенности представителей рода *Celtis* L., интродуцированных в Туркменистане: автореф. дис. ... канд. биол. наук. Ашхабад, 1994. 24 с.
- [27] Demir F., Dogan H., Ozcan M., Hacisferoğullari H. Nutritional and physical properties of hackberry (*Celtis australis* L.) // J. of Food Engineering, 2002, t. 54, no. 3, pp. 241–247.
- [28] Hwang B.Y., Chai H.B., Kardono L.B.S., Riswan S., Farnsworth N.R., Cordell G.A., Pezzuto J.M., Douglas Kinghorn A. Cytotoxic triterpenes from the twigs of *Celtis philippinensis* // Phytochemistry, 2003, t. 62, no. 2, pp. 197–201.
- [29] Цембелев М.А. Биоэкологическое обоснование применения видов рода *Celtis* L. в лесомелиоративных насаждениях нижнего Поволжья: автореф. дис. ... канд. с.-х. наук. Волгоград, 2006. 24 с.
- [30] Азова О.В. Особенности организации побеговых систем *Magnolia kobus* DC., *Celtis caucasica* Willd., *Ligustrum vulgare* L.: автореф. дис. ... канд. биол. наук. СПб., 2003, 17 с.
- [31] Dunster K.J. The ecology of two northern marginal disjunct populations of *Celtis tenuifolia* Nutt. in Ontario, Canada: Ph. D. dis., University of Toronto, Toronto, Ontario, 1992, 191 p.
- [32] Залибеков З.Г., Мамаев С.А., Котенко М.Е., Мусалаева П.Д. Системный анализ функционирования засоленных почв и особенности их использования в аридных условиях // Аридные экосистемы, 2024. Т. 30. № 3(100). С. 37–48.
- [33] Семенютина А.В. Лесомелиорация и обогащение дендрофлоры аридных регионов России: автореф. дис. ... д-ра с.-х. наук. Волгоград, 2005. 46 с.
- [34] Красная книга Краснодарского края. Растения и грибы / Отв. ред. С.А. Литвинская. Краснодар: Изд-во Администрации Краснодарского края, 2017. 850 с.
- [35] Тахтаджян А.Л. Конспект флоры Кавказа: В 3 т. Т. 3 (2). СПб.; М.: Товарищество научных изданий КМК, 2012. 623 с.
- [36] Красная книга Республики Дагестан // отв. ред. Г.М. Абдурахманов. Махачкала: ИПЭ РД, 2009. 552 с.

- [37] Хужахметова А.Ш., Семенютина В.А., Лазарев С.Е., Цой М.В., Мельник К.А. Характеристика и особенности ростовых процессов древесных растений в засушливом регионе // Вестник Казанского государственного аграрного университета, 2021. Т. 16. № 2(62). С. 60–64.
- [38] Семенютина А.В., Петров В.И., Подковыров И.Ю. Методика определения перспективности интродукции видов *Ulmus* L. и *Celtis* L. для защитного лесоразведения и озеленения // Современная наука: Актуальные проблемы теории и практики. Серия: Естественные и технические науки, 2015. № 7–8. С. 56–69.
- [39] Asadi F., Etemad V., Moradi G., Sepahvand A. Effect of different irrigation and shade treatments on seedling production of *Celtis caucasica* Willd // Iranian J. of Forest, 2018, t. 10, no. 1, pp. 67–77.
- [40] Kaparbay R.E., Tolonova A.D., Almabek D.M., Ivashchenko A.A., Abidkulova K.T., Arynov B.B. Monitoring of rare floristic elements of the Northern Tien-Shan mountain forest // Experimental Biology, 2023, v. 94, no. 1. DOI:10.26577/eb.2023.v94.i1.02
- [41] Mokhizadeh V.M., Moshki A., Ravanbakhsh H., Molashahi M., Kianian M.K. Seedlings response of *Cercis siliquastrum* L., *Celtis caucasica* Wild., *Elaeagnus angustifolia* L. and *Amygdalus scoparia* Spach to moisture storage treatments in the arid region of Semnan // Iranian J. of Forest, 2024, v. 16, no. 2, pp. 185–195.
- [42] Asadi F., Etemad V., Moradi G., Sepahvand A. Effect of irrigation and shade on biomass, leaf area and viability of *Celtis caucasica* Willd. Seedlings // Forest Research and Development, 2018, v. 4, no. 3, pp. 331–345.
- [43] Акаев Б.А., Атаев З.В., Гаджиев Б.С. Физическая география Дагестана. М.: Школа, 1996. 384 с.
- [44] Николаева М.Г., Разумова М.В., Гладкова В.Н. Справочник по проращиванию покоящихся семян. Л.: Наука, 1985. 400 с.
- [45] Мамаев С.А. Формы внутривидовой изменчивости древесных растений (на примере сем. Pinaceae на Урале). М.: Наука, 1973. 284 с.
- [46] Махнев А.К. О внутривидовой и географической изменчивости и морфогенезе листьев *Betula verrucosa* Ehrh. и *Betula pubescens* Ehrh. на Среднем Урале // Закономерности формообразования и дифференциации вида у древесных растений. Свердловск: Редакционно-издательский совет Уральского филиала академии наук СССР, 1969. С. 39–68.
- [47] Givnish T.J. Ecological aspects of plant morphology: leaf form in relation to environment // Acta Biotheoretica, 1978, v. 27, pp. 83–142.
- [48] Givnish T.J. Leaf and canopy adaptations in tropical forests // Physiological ecology of plants of the wet tropics / eds. E. Medina, H.A. Mooney, C. Vasquez-Yanes. Mexico, 1984, pp. 51–84.

## Сведения об авторе

**Магомедова Барият Магомедтагировна** — канд. биол. наук, ст. науч. сотр. лаборатории интродукции и генетических ресурсов древесных растений, ФГБУН «Горный ботанический сад Дагестанского федерального исследовательского центра Российской академии наук» (ГорБС ДФИЦ РАН), bary\_m@mail.ru

Поступила в редакцию 22.08.2024.

Одобрено после рецензирования 28.02.2025.

Принята к публикации 11.09.2025.

## GENUS *CELTIS* L. GROWTH FEATURES IN MOUNTAIN DAGESTAN

**В.М. Magomedova**

Mountain Botanical Garden of the Dagestan Federal Research Center of the Russian Academy of Sciences, 45,  
M. Gadjiev st., 367000, Makhachkala, Republic Dagestan, Russia

bary\_m@mail.ru

The growth processes of the genus *Celtis* L. juvenile plants are examined depending on the conditions of Mountainous Dagestan. It is established that the complex soil and climatic conditions at different elevations have a significant impact on the variability of seedling morphological traits and their growth performance. It is shown that the climatic and soil conditions at the Tsudakhar experimental base are more favorable for the species of the genus *Celtis* L. It is indicated that the complex factor in the conditions of the Gunib and Tsudakhar experimental bases significantly affects (at the 99,9 % significance level) the variability of almost all the studied morphological traits of leaves in seedlings of the genera *Celtis* L. No differences were found in Student's *t*-test between the mean values of the leaf shape index traits in the *C. caucasica* Willd. and the *C. planchoniana* K. For the *C. occidentalis* L., the effect of the altitudinal gradient on the variability of the leaf index trait is reliable at the 99 % significance level. The species *C. caucasica* and *C. occidentalis* are recommended for forest restoration in the arid conditions of Mountainous Dagestan.

**Keywords:** ontogeny, seedlings, *Celtis* L., the Red Book, Dagestan, woody species

**Suggested citation:** Magomedova B.M. *Osobennosti proizrastaniya v Gornom Dagestane vidov roda Karkas (Celtis L.)* [Genus *Celtis* L. growth features in Mountain Dagestan]. *Lesnoy vestnik / Forestry Bulletin*, 2026, vol. 30, no. 1, pp. 62–73. DOI: 10.18698/2542-1468-2026-1-62-73

## References

- [1] Tsembelev M. A., Semenyutina A. V. *Bioekologiya vidov roda Celtis L. v Nizhnem Povolzh'e* [Bioecology of species of the genus *Celtis* L. in the Lower Volga region]. Volgograd: Federal Scientific Center of Agroecology, Russian Academy of Sciences, 2019, 144 p.
- [2] Mattis G. Ya., Kryuchkov S.N. *Lesorazvedenie v zasushlivykh usloviyakh* [Afforestation in arid conditions]. Volgograd: VNIALMI, 2003, 292 p.
- [3] *Dendroflora Kavkaza* [Dendroflora of the Caucasus]. Ed. V.Z. Gulisashvili. Tbilisi: Publishing house of the USSR Academy of Sciences, 1961, v. 2, 329 p.
- [4] Reichman O.J. Forest. Konza Prairie: A tallgrass natural history. University of Kansas. Lawrence KS, 1987, pp. 115–124.
- [5] Stickney Peter F. Seral origin of species originating in northern Rocky Mountain forests. U.S. Department of Agriculture, Forest Service, Intermountain Research Station, Fire Sciences Laboratory, Missoula, 1989, 10 p.
- [6] El-Alfy T.S. M., El-Gohary H.M.A., Sokkar N.M., Abd El-Tawab S., Al-Mahdy D.A.M. Botanical and genetic characteristics of *Celtis australis* L. and *Celtis occidentalis* L. grown in Egypt. *Bulletin of Faculty of Pharmacy, Cairo University*, 2011, v. 49, no. 1, pp. 37–57.
- [7] Demir F., Doğan H., Özcan M., Haciseferoğullari H. Nutritional and physical properties of hackberry (*Celtis australis* L.). *J. of Food Engineering*, 2002, v. 54, no. 3, pp. 241–247.
- [8] Kim D.K., Lim J.P., Kim J.W., Park H.W., Eun J.S. Antitumor and antiinflammatory constituents from *Celtis sinensis*. *Archives of Pharmacal Research*, 2005, v. 28, pp. 39–43.
- [9] Berg C.C., Dahlberg S.V. A revision of *Celtis* subg. *Mertensia* (Ulmaceae). *Brittonia*, 2001, v. 53, pp. 66–81.
- [10] Adedapo A.A., Jimoh F.O., Afolayan A.J., Masika P.J. Antioxidant Properties of the Methanol Extracts of the Leaves and Stems of *Celtis africana*. *Records of Natural Products*, 2009, v. 3, pp. 23–31.
- [11] Al-Taweel A.M., Perveen S., El-Shafae A.M., Fawzy G.A., Malik A., Afza N., Latif M. Bioactive phenolic amides from *Celtis africana*. *Molecules*, 2012, v. 17, no. 3, pp. 2675–2682.
- [12] El-Alfy T.S., El-Gohary H., Sokkar N.M., Hosny M., Al-Mahdy D.A. A new flavonoid C-glycoside from *Celtis australis* L. and *Celtis occidentalis* L. leaves and potential antioxidant and cytotoxic activities. *Scientia pharmaceutica*, 2011, v. 79, no. 4, pp. 963–975.
- [13] Acquaviva R., Sorrenti V., Santangelo R., Cardile V., Tomasello B., Malfa G., Di Giacomo C. Effects of an extract of *Celtis aetnensis* (Tornab.) Strobl twigs on human colon cancer cell cultures. *Oncology Reports*, 2016, v. 36, no. 4, pp. 2298–2304.
- [14] Sepahvand T., Etemad V., Matinzade M., Shirvany A. Symbiosis of AMF with growth modulation and antioxidant capacity of Caucasian Hackberry (*Celtis Caucasica* L.) seedlings under drought stress. *Central Asian J. of Environmental Science and Technology Innovation*, 2021, v. 2, no. 1, pp. 20–35.
- [15] Semwal R.B., Semwal D.K. Analgesic and anti-inflammatory activities of extracts and fatty acids from *Celtis australis* L. *The Natural Products J.*, 2012, v. 2, no. 4, pp. 323–327.
- [16] Cowan M.R., Gabel M.L., Jahren A.H., Tieszen L.L. Growth and biomineralization of *Celtis occidentalis* (Ulmaceae) pericarps. *American Midland Naturalist*, 1997, pp. 266–273.

- [17] Krajicek J. E., Williams R. D. *Celtis occidentalis* L. Hackberry. Silvics of North America, 1990, v. 2, pp. 262–265.
- [18] Brunetti C., Tattini M., Guidi L., Velikova V., Ferrini F., Fini A. An integrated overview of physiological and biochemical responses of *Celtis australis* to drought stress. Urban forestry & urban greening, 2019, v. 46, p. 126480.
- [19] Spitaler R., Gurschler S., Ellmerer E., Schubert B., Sgarbossa M., Zidorn C. Flavonoids from *Celtis australis* (Cannabaceae). Biochemical Systematics and Ecology, 2009, v. 37, no. 2, pp. 120–121.
- [20] Ota A., Višnjevec A. M., Vidrih R., Prgommet Ž., Nečemer M., Hribar J., Ulrih N.P. Nutritional, antioxidative, and antimicrobial analysis of the Mediterranean hackberry (*Celtis australis* L.). Food science & nutrition, 2017, v. 5, no. 1, pp. 160–170.
- [21] Kolesnikov A.I. *Dekorativnaya dendrologiya* [Decorative dendrology]. Moscow: Lesnaya prom-st' [Forestry Industry], 1974, 704 p.
- [22] Atrokhin V.G., Kalutskiy K.K., Tyurikov F.T. *Drevesnye porody mira* [Wood species of the world, vol. 3]. Drevesnye porody SSSR [Wood species of the USSR]. Moscow: Lesnaya prom-st' [Forestry Industry], 1982, 264 p.
- [23] Mamedova K.A. Mamedova K.A. *Rost i razvitie nekotorykh vidov karkasa na Apsheron* [Growth and development of some types of framewood on Absheron]. Byul. GBS AN RF [Bulletin of the Main Botanical Garden of the Russian Academy of Sciences], 1992, iss. 164, pp. 18–21.
- [24] Mavzhudov A.A. *Predstaviteli roda Celtis L. v usloviyakh Tashkenta* [Representatives of the genus Celtis L. in Tashkent]. Uzbekskiy biologicheskiy zhurnal [Uzbek Biological J.], 1963, no. 3, pp. 32–37.
- [25] Semenyutina A.V., Petrov V.I., Podkovyrov I.Yu. *Metodika opredeleniya perspektivnosti introduksii vidov Ulmus L. i Celtis L. dlya zashchitnogo lesorazvedeniya i ozeleneniya* [Methodology for determining the prospects of introducing Ulmus L. and Celtis L. species for protective afforestation and landscaping]. Sovremennaya nauka: Aktual'nye problemy teorii i praktiki. Seriya: Estestvennye i tekhnicheskie nauki [Modern Science: Actual Problems of Theory and Practice. Series: Natural and Technical Sciences], 2015, no. 7–8, pp. 56–69.
- [26] Guydzhev B.Kh. *Bioekologicheskie osobennosti predstaviteley roda Celtis L., introdutsirovannykh v Turkmenistane* [Bioecological characteristics of representatives of the genus Celtis L. introduced in Turkmenistan: author's abstract]. Diss. Cand. Sci. (Biol.). Ashgabat, 1994, 24 p.
- [27] Demir F., Dogan H., Ozcan M., Haciseferogullari H. Nutritional and physical properties of hackberry (*Celtis australis* L.). J. of Food Engineering, 2002, t. 54, no. 3, pp. 241–247.
- [28] Hwang B.Y., Chai H.B., Kardono L.B.S., Riswan S., Farnsworth N.R., Cordell G.A., Pezzuto J.M., Douglas Kinghorn A. Cytotoxic triterpenes from the twigs of *Celtis philippinensis*. Phytochemistry, 2003, t. 62, no. 2, pp. 197–201.
- [29] Tsembelev M.A. *Bioekologicheskoe obosnovanie primeneniya vidov roda Celtis L. v lesomeliorativnykh nasazhdeniyakh nizhnego Povolzh'ya* [Bioecological justification for the use of species of the genus Celtis L. in forest reclamation plantations of the lower Volga region]. Author's abstract. Diss. Cand. Sci. (Agric.). Volgograd, 2006, 24 p.
- [30] Azova O.V. *Osobennosti organizatsii pobegovykh sistem Magnolia kobus DC., Celtis caucasica Willd., Ligustrum vulgare L.* [Features of the organization of shoot systems of Magnolia kobus DC., Celtis caucasica Willd., Ligustrum vulgare L.]. Author's abstract. Diss. Cand. Sci. (Biol.). St. Petersburg, 2003, 17 p.
- [31] Dunster K.J. The ecology of two northern marginal disjunct populations of *Celtis tenuifolia* Nutt. in Ontario, Canada. Ph.D. dissertation, University of Toronto, Toronto, Ontario, 1992, 191 p.
- [32] Zalibekov Z.G., Mamaev S.A., Kotenko M.E., Musalaeva P.D. *Sistemnyy analiz funktsionirovaniya zasolennykh pochv i osobennosti ikh ispol'zovaniya v aridnykh usloviyakh* [Systems analysis of the functioning of saline soils and features of their use in arid conditions]. Aridnye ekosistemy [Arid ecosystems], 2024, v. 30, no. 3 (100), pp. 37–48.
- [33] Semenyutina A.V. *Lesomelioratsiya i obogashchenie dendroflory aridnykh regionov Rossii* [Forest reclamation and enrichment of dendroflora of arid regions of Russia]. Author's abstract. Diss. Dr. Sci. (Agric.). Volgograd, 2005, 46 p.
- [34] *Krasnaya kniga Krasnodarskogo kraja. Rasteniya i griby* [Red Data Book of Krasnodar Krai. Plants and fungi]. Ed. S.A. Litvinskaya. Krasnodar: Adm. of Krasnodar Krai, 2017, 850 p.
- [35] Takhtadzhyan A.L. *Konspekt flory Kavkaza* [Abstract of the flora of the Caucasus]. In 3 volumes. St. Petersburg, Moscow: Partnership of scientific publications KMK, 2012, v. 3 (2), 623 p.
- [36] *Krasnaya kniga Respubliki Dagestan* [Red Data Book of the Republic of Dagestan]. Ed. G.M. Abdurakhmanov. Makhachkala: IPE RD, 2009, 552 p.
- [37] Khuzhakhmetova A.Sh., Semenyutina V.A., Lazarev S.E., Tsoy M.V., Mel'nik K.A. *Kharakteristika i osobennosti rostovykh protsessov drevesnykh rasteniy v zasushlivom regione* [Characteristics and features of growth processes of woody plants in an arid region]. Vestnik Kazanskogo gosudarstvennogo agrarnogo universiteta [Bulletin of Kazan State Agrarian University], 2021, v. 16, no. 2(62), pp. 60–64.
- [38] Semenyutina A.V., Petrov V.I., Podkovyrov I.Yu. *Metodika opredeleniya perspektivnosti introduksii vidov Ulmus L. i Celtis L. dlya zashchitnogo lesorazvedeniya i ozeleneniya* [Methodology for determining the prospects of introducing Ulmus L. and Celtis L. species for protective afforestation and landscaping]. Sovremennaya nauka: aktual'nye problemy teorii i praktiki. Seriya estestvennye i tekhnicheskie nauki [Modern science: current problems of theory and practice. Series of natural and technical sciences], 2015, no. 7–8, pp. 56–69.
- [39] Asadi F., Etamad V., Moradi G., Sepahvand A. Effect of different irrigation and shade treatments on seedling production of *Celtis caucasica* Willd. Iranian J. of Forest, 2018, t. 10, no. 1, pp. 67–77.
- [40] Kaparbay R.E., Tolenova A.D., Almbek D.M., Ivashchenko A.A., Abidkulova K.T., Arynov B.B. Monitoring of rare floristic elements of the Northern Tien-Shan mountain forest. Experimental Biology, 2023, v. 94, no. 1. DOI:10.26577/eb.2023.v94.i1.02
- [41] Mokhizadeh V.M., Moshki A., Ravanbakhsh H., Mollashahi M., Kianian M.K. Seedlings response of *Cercis siliguastrium* L., *Celtis caucasica* Willd., *Elaeagnus angustifolia* L. and *Amygdalus scoparia* Spach to moisture storage treatments in the arid region of Semnan. Iranian J. of Forest, 2024, v. 16, no. 2, pp. 185–195.

- [42] Asadi F., Etemad V., Moradi G., Sepahvand A. Effect of irrigation and shade on biomass, leaf area and viability of *Celtis caucasica* Willd. Seedlings. *Forest Research and Development*, 2018, v. 4, no. 3, pp. 331–345.
- [43] Akaev B.A., Ataev Z.V., Gadzhiev B.S. *Fizicheskaya geografiya Dagestana* [Physical geography of Dagestan]. Moscow: Shkola, 1996, 384 p.
- [44] Nikolaeva M.G., Razumova M.V., Gladkova V.N. *Spravochnik po prorashchivaniyu pokoyashchikhsya semyan* [Handbook of dormant seed germination]. Leningrad: Nauka, 1985, 400 p.
- [45] Mamaev S.A. *Formy vnutrividovoy izmenchivosti drevesnykh rasteniy (na primere sem. Pinaceae na Urale)* [Forms of intraspecific variability of woody plants (using the Pinaceae family in the Urals as an example)]. Moscow: Nauka, 1973, 284 p.
- [46] Makhnev A.K. *O vnutripopulyatsionnoy i geograficheskoy izmenchivosti i morfogeneze list'ev Betula verrucosa Ehrh. i Betula pubescens Ehrh. na Srednem Urale* [On intrapopulation and geographic variability and morphogenesis of *Betula verrucosa* Ehrh. leaves. and *Betula pubescens* Ehrh. in the Middle Urals]. *Zakonomernosti formoobrazovaniya i differentsiatsii vida u drevesnykh rasteniy* [Patterns of morphogenesis and species differentiation in woody plants]. Sverdlovsk: Editorial and Publishing Council of the Ural Branch of the USSR Academy of Sciences, 1969, pp. 39–68.
- [47] Givnish T.J. Ecological aspects of plant morphology: leaf form in relation to environment // *Acta Biotheoretica*, 1978, v. 27, pp. 83–142.
- [48] Givnish T.J. Leaf and canopy adaptations in tropical forests // *Physiological ecology of plants of the wet tropics*. Eds. E. Medina, H.A. Mooney, C. Vasquez-Yanes. Mexico, 1984, pp. 51–84.

## Author's information

**Magomedova Bariyat Magomedtagirovna** — Cand. Sci. (Biology), the Scientific Researcher, the Laboratory of introduction and genetic resources of woody plants, Mountain Botanical Garden Dagestan Federal Research Center of Russian Academy of Sciences, bary\_m@mail.ru

Received 22.08.2024.

Approved after review 28.02.2025.

Accepted for publication 11.09.2025.

## СОВРЕМЕННОЕ СОСТОЯНИЕ ЗЕЛеноЙ ИНФРАСТРУКТУРЫ ГОРОДА ТЮМЕНИ

Д.В. Жучков<sup>1</sup>✉, В.А. Глазунов<sup>2</sup>, А.С. Третьякова<sup>3</sup>,  
Д.М. Фетисов<sup>1</sup>, А.В. Хриченков<sup>4</sup>, А.Г. Бурцев<sup>4</sup>

<sup>1</sup>ФГБУН «Институт комплексного анализа региональных проблем Дальневосточного отделения Российской академии наук (ИКАРП ДВО РАН), Россия, 679016, ЕАО, г. Биробиджан, ул. Шолом-Алейхема, д. 4

<sup>2</sup>ФГБУН «Тюменский научный центр Сибирского отделения Российской академии наук» (ТюмНЦ СО РАН), Россия, 625026, г. Тюмень, ул. Малыгина, д. 86

<sup>3</sup>ФГБУН «Ботанический сад Уральского отделения Российской академии наук» (БС УрО РАН), Россия, 620144, г. Екатеринбург, ул. 8 Марта, 202а

<sup>4</sup>Общество с ограниченной ответственностью «Брусника». Специализированный застройщик», Россия, 620026, г. Екатеринбург, ул. Гоголя, д. 18

dmitriy.zhuchkov.2000@mail.ru

На основе результатов расчета нормализованного относительного индекса растительности (NDVI) проведен анализ современного состояния зеленой инфраструктуры города Тюмени. Создана векторная карта функционального зонирования города, на которой выделено 6 зон: жилая, общественно-деловая, рекреационная, промышленная, специального назначения и сельскохозяйственная. Для всех зон определены уровень озеленения и доля древесных насаждений. Установлено, что значения NDVI 0.2 и более являются граничными для выделения зеленых насаждений города, NDVI 0.75 и более — для древесной растительности. Выявлено, что распределение зеленых насаждений по территории города неравномерное: доля древесных насаждений достигает максимума (50% и выше) в рекреационной зоне, на которой расположены природные и природоподобные ландшафты; в жилой части города этот показатель минимальный. Определено, что 22 % территории г. Тюмени покрыто древесными насаждениями. Для улучшения экологической обстановки и формирования комфортной городской среды рекомендуется проведение работ по расширению озелененных пространств, особенно в районах новой застройки и общественно-деловой зоне города.

**Ключевые слова:** зеленая инфраструктура, уровень озеленения, доля древесных насаждений, зеленые насаждения, дистанционное зондирование, NDVI, Тюмень

**Ссылка для цитирования:** Жучков Д.В., Глазунов В.А., Третьякова А.С., Фетисов Д.М., Хриченков А.В., Бурцев А.Г. Современное состояние зеленой инфраструктуры города Тюмени // Лесной вестник / Forestry Bulletin, 2026. Т. 30. № 1. С. 74–88. DOI: 10.18698/2542-1468-2026-1-74-88

Урбанизация — ведущая современная тенденция развития общества, которая проявляется в увеличении городских площадей, сопровождается экологическими проблемами, связанными с преобразованием растительного покрова, разрушением среды обитания живых организмов [1, 2], изменением потоков энергии, локальным повышением температуры [3–6], нарушением водных и углеродных циклов [7–9].

Наиболее эффективным способом смягчения негативных последствий урбанизации является развитие растительного покрова в пределах городской территории. Растения улучшают качество воздуха, очищают его от пыли и загрязняющих веществ, поглощают выбросы диоксида углерода (CO<sub>2</sub>), способствуют снижению шума, регулируют температурный режим,

сток ливневых вод [10–15]. Зеленые насаждения оказывают благоприятное воздействие на психологическое и физическое здоровье человека [16–19]. Городскую растительность можно использовать в качестве эффективного инструмента для создания устойчивой и комфортной среды обитания для человека. Наличие развитой зеленой инфраструктуры, к которой относятся имеющиеся и сохраненные природные территории и городское озеленение, вновь созданное и поддерживаемое человеком, обуславливает успешное функционирование городских экосистем. В связи с этим изучению городских зеленых насаждений уделяется огромное внимание [20–29].

В настоящее время для рационального планирования и управления городским озеленением назрела острая необходимость в данных о пространственной структуре городской растительности и ее изменении во времени.

Наиболее полные данные получают с помощью полевых исследований, однако в случае крупных городских масштабов, исключительным источником данных о городском растительном покрове являются геоинформационные системы (ГИС), функционирующие на основе данных дистанционного зондирования Земли (ДЗЗ) [30–36]. В зависимости от цели исследования используются различные индексы, связанные с ДЗЗ. Наиболее простым и информативным является нормализованный относительный индекс растительности — Normalized Difference Vegetation Index (NDVI) [37, 38]. NDVI применяется для идентификации и оценки состояния растительности в городской местности [32–41] и анализа пространственно-временных изменений растительного покрова [30, 42, 43].

Несмотря на огромный интерес к использованию методов ДЗЗ в мире, в России подобные исследования не имеют широкого распространения [31–36].

## Цель работы

Цель работы — комплексная оценка современного состояния зеленой инфраструктуры города Тюмени с помощью методов дистанционного зондирования Земли и выявление основных проблем и направлений для ее развития.

## Материалы и методы

**Описание района работ.** Тюмень — административный центр Тюменской области, один из активно развивающихся научных, культурных, образовательных и инвестиционно привлекательных городов России и Западной Сибири. В последние годы город занимает ведущие позиции по объему жилищного строительства. Площадь городского округа Тюмень составляет 698,48 км<sup>2</sup>. По состоянию на 2024 г. в городе проживает 861,1 тыс. жителей [26].

Тюмень располагается в умеренном поясе в пределах юго-западной части Западно-Сибирской равнины, у восточной границы Туринской равнины, высота н. у. м. составляет 50...120 м. Климат континентальный, среднегодовая температура воздуха +0,3 С, средняя температура января –17,8 С, июля +17,2 °С. Средняя продолжительность вегетационного периода составляет 120...125 дней. Годовая сумма осадков 457 мм [44].

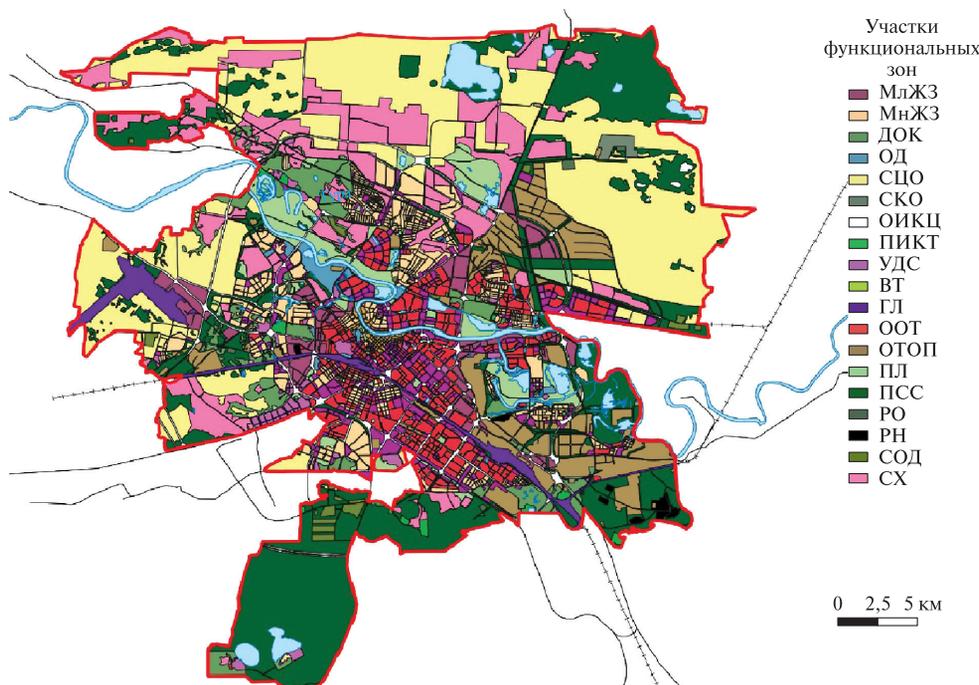
Ландшафт города равнинный с чередованием холмистых и ровных участков. Гидрографическая сеть представлена р. Турой и ее притоками — Бабарынккой, Ключами, Тюменкой. Относительно широко в черте города рас-

пространены озера, большинство из которых являются старицами р. Туры. Пойма р. Туры протягивается через центральную часть города, достигает ширины от 3 до 4 км. В пойме хорошо выражены надпойменные террасы высотой до 20...30 м и более над урезом воды [45]. Для Тюмени характерна близость грунтовых вод к поверхности почв.

Почвенный покров представлен преимущественно дерново-подзолистыми, серыми лесными, торфяно-болотными, лугово-болотными почвами, выщелоченными черноземами, а также слабоподзоленные песчаные почвы. На пустырях, под постройками и различными объектами городской инфраструктуры почвы в различной степени антропогенно трансформированы [44, 46].

По ботанико-географическому районированию Тюмень расположена в подзоне мелколиственных лесов, или подтайге. Подзона характеризуется преобладанием березовых и осиново-березовых лесов. На территории города широко распространены представители злаково-разнотравной растительности лугов (иногда заболоченных). В южной части города произрастают массивы сосновых лесов, как правило, преобразованные в вследствие антропогенной деятельности. В пойме р. Туры, которая часто подвергается паводкам, в основном представлена травянисто-кустарниковая растительность. В северной части города располагается Тарманский озерно-болотный комплекс с преобладанием в понижениях рельефа осоковых лугов. На озелененных территориях в пределах городской застройки практически все виды древесно-кустарниковой растительности являются искусственными насаждениями [47].

**Расчет вегетационного индекса.** Для исследования городской системы озеленения были использованы мультиспектральные космические данные продукта Sentinel-2A, предоставленные с сайта геокосмической информации [48]. При отборе снимков ключевыми критериями служили минимальная облачность и период максимального развития вегетационной массы. Временным интервалом для исследования выбран июль 2024 г. (месяц пика вегетации). Было доступно 23 космоснимка территории Тюмени с разным уровнем облачности — 0 до 88 %, из которых отобрали снимки с минимальными значениями облачности (<10 %). Данные, полученные с помощью продукта Sentinel-2A, имеют разрешение 10 м и каждый пиксель на космическом изображении соответствует размеру 10×10 м на местности. Такая детализация позволяет точно дифференцировать различные типы поверхности: лес, водные объекты, почвы,



**Рис. 1.** Функциональное зонирование г. Тюмени [53]: МлЖЗ — малоэтажная жилая застройка; МнЖЗ — многоэтажная жилая застройка; ДОК — объекты делового, общественного и коммерческого назначения; ОД — общественно-деловые объекты; СЦО — специализированные центры обслуживания; СКО — спортивные комплексы; ОИКЦ — объекты историко-культурного центра; ПИКТ — промышленные, инженерные, коммунальные и транспортные объекты; УДС — улично-дорожная сеть; ВТ — внешний транспорт; ГЛ — городские леса; ООТ — объекты отдыха и туризма; ОТОП — озелененные территории общего пользования; ПЛ — природный ландшафт; ПСС — полигоны для складирования снега; РО — режимные объекты; РН — ритуального назначения; СОД — садовые и дачные объекты; СХ — сельскохозяйственные объекты

**Fig. 1.** Functional zoning of Tyumen [53]: MLZHZ — low-rise residential buildings; MNZHZ — multi-storey residential buildings; DOCK — business, public and commercial facilities; ML — public and business facilities; NSC — specialized service centers; SKO — sports complexes; DECC — historical and cultural center facilities; PICT — industrial, engineering, municipal and transport facilities; UDS — street and road network; VT — external transport; GL — urban forests; OOT — recreation and tourism facilities; OOT — green areas of common use; PL — natural landscape; PSS — landfills for storing snow; RO — high-security facilities; PH — ritual purposes; SOD — garden and suburban; CX — agricultural

дороги и застроенные территории, что особенно важно при анализе зеленой инфраструктуры города [32, 35, 49].

В процессе обработки космических данных был выполнен NDVI в геоинформационной системе QGIS 3.36. С помощью этого индекса проведен анализ распространения и текущего состояния системы озеленения Тюмени. NDVI рассчитывается как отношение разности между ближней инфракрасной и красной отражательной способностью к их сумме. Этот показатель позволяет оценить степень развития растительного покрова [50]. Общая формула для расчета индекса имеет вид

$$NDVI = \frac{NIR - Red}{NIR + RED},$$

где NIR — отражение солнечного света в ближнем инфракрасном диапазоне;

RED — отражение солнечного света в красном диапазоне спектра [51, 52].

Диапазон значений NDVI изменяется от -1 до +1. Наличие растительности фиксируется его положительными значениями. Высокие значения соответствуют областям с густой растительностью.

**Выделение функциональных зон города.**

Разработана детализированная векторная карта функционального зонирования территории городского округа Тюмень (рис. 1). На ее основе оценены показатели уровня озеленения и доли древесного покрова. Для повышения точности анализа городские функциональные зоны были разделены на отдельные выделы.

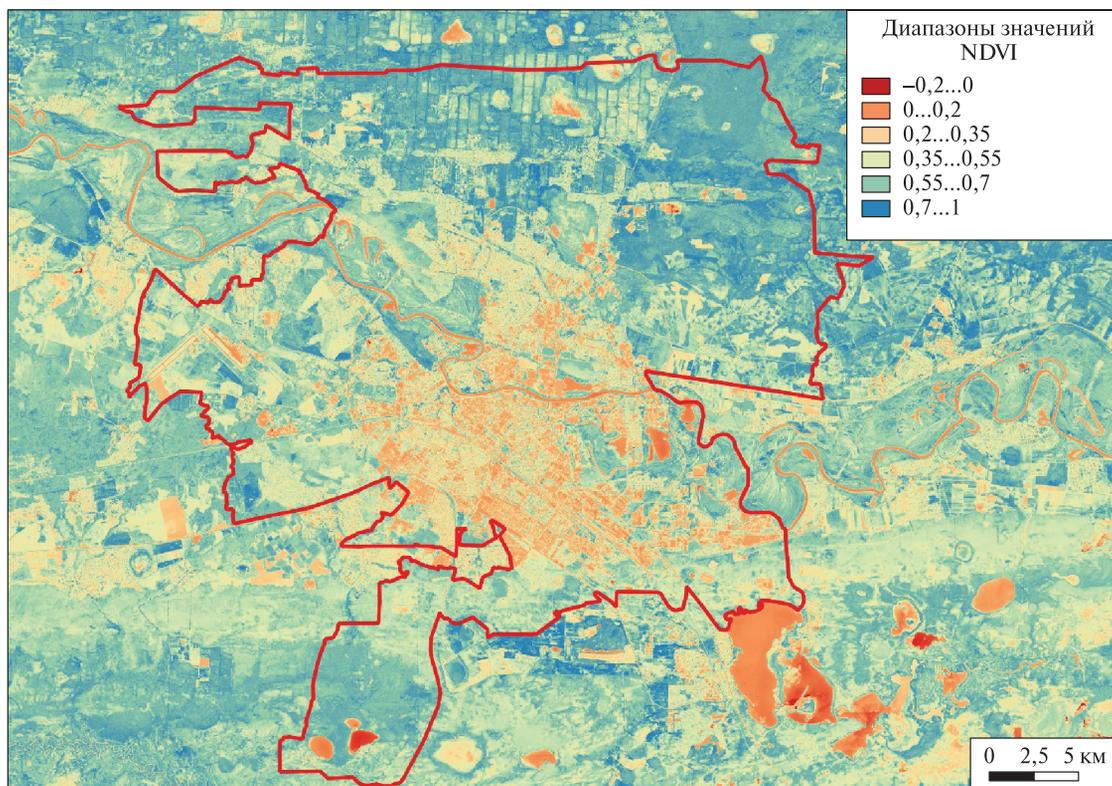


Рис. 2. Карта территории городского округа Тюмень, классифицированной на основе ранжирования значений NDVI

Fig. 2. Tyumen territory map based on the ranking of NDVI values

В результате выполненных работ отрисовано 3065 выдела (см. рис. 1), объединенные в шесть основных функциональных зон города: жилую, общественно-деловую, рекреационную, промышленную, специального назначения и сельскохозяйственную.

**Оценка уровня озеленения и доли представленности древесных насаждений.** Расчет уровня озеленения и доли представленности древесных насаждений осуществлен в геоинформационной системе QGIS 3.36 с помощью специализированных модулей. Под показателем «уровень озеленения» в настоящей работе следует понимать соотношение количества пикселей, отображающих растительность, к общему числу пикселей в пределах функционального выдела. Были учтены все типы растительности — травянистой, кустарниковой, древесной, которая произрастает в пределах города. Аналогичный подход применен для анализа показателя «доля древесных насаждений». В этом случае были учтены все древесные насаждения, включая одиночные деревья, рядовые посадки, групповые насаждения и лесопарковые зоны.

В основе анализа рассчитанных показателей лежали данные растрового слоя карты (рассчи-

танный вегетационный индекс) и векторного слоя (функциональное зонирование). В модуле «Зональная статистика» были определены средние, минимальные и максимальные значения NDVI для каждой функциональной зоны города. Далее с помощью «Калькулятора растров» были получены карты NDVI со значениями от 0,2 до 1,0 (вся растительность) и от 0,7 до 1 (исключительно древесная растительность). В модуле «Зональная гистограмма» получены необходимые итоговые значения для расчета показателей. В завершение с помощью инструмента «Калькулятор полей» были определены уровень озеленения (%) и доля древесных насаждений (%) по функциональным зонам Тюмени. Анализ полученных результатов проводился с шагом 10 % (от 0 до 100 %), что целесообразно для анализа больших городов и распределения объектов зеленой инфраструктуры [31].

## Результаты и обсуждение

**Анализ значений NDVI.** На основе ранжирования значений NDVI для Тюмени установлено, что его значения находятся в пределах от  $-0,2$  до  $+0,96$  (рис. 2).

## Оценка современного состояния зеленой инфраструктуры (г. Тюмень)

## Assessment of the current state of the Tyumen city's green infrastructure

Функциональная зона	Площадь, км <sup>2</sup>	Уровень озеленения, %	Доля древесных насаждений, %
Жилая зона, всего	85,5	45	5
в том числе			
зона малоэтажной застройки		51	6
зона многоэтажной застройки		39	4
Общественно-деловая зона, всего	61,6	50	10
в том числе			
историко-культурный центр		20	5
специализированные центры обслуживания		67	12
общественные, деловые и коммерческие объекты		34	6
спортивные комплексы и сооружения		61	16
Зона производственной, инженерной и транспортной инфраструктуры, всего	97,5	57	9
в том числе			
зона внешнего транспорта		67	5
улично-дорожная сеть		45	7
производственные, коммунальные, инженерные и складские объекты		60	15
Рекреационная зона, всего	207,4	83	37
в том числе			
городские леса		95	52
озелененные территории общего пользования		70	39
природные ландшафты		92	50
объекты отдыха и туризма		74	7
Зона специального назначения, всего	8,65	63	17
в том числе			
зона полигонов для складирования снега		47	6
режимные объекты		46	6
зона ритуального назначения		95	38
Сельскохозяйственная зона, всего	176,2	87	22
в том числе			
территории сельскохозяйственного назначения		93	30
территории садоводческих хозяйств		82	15
<b>Всего по городу*</b>	<b>636,85</b>	<b>64</b>	<b>16</b>

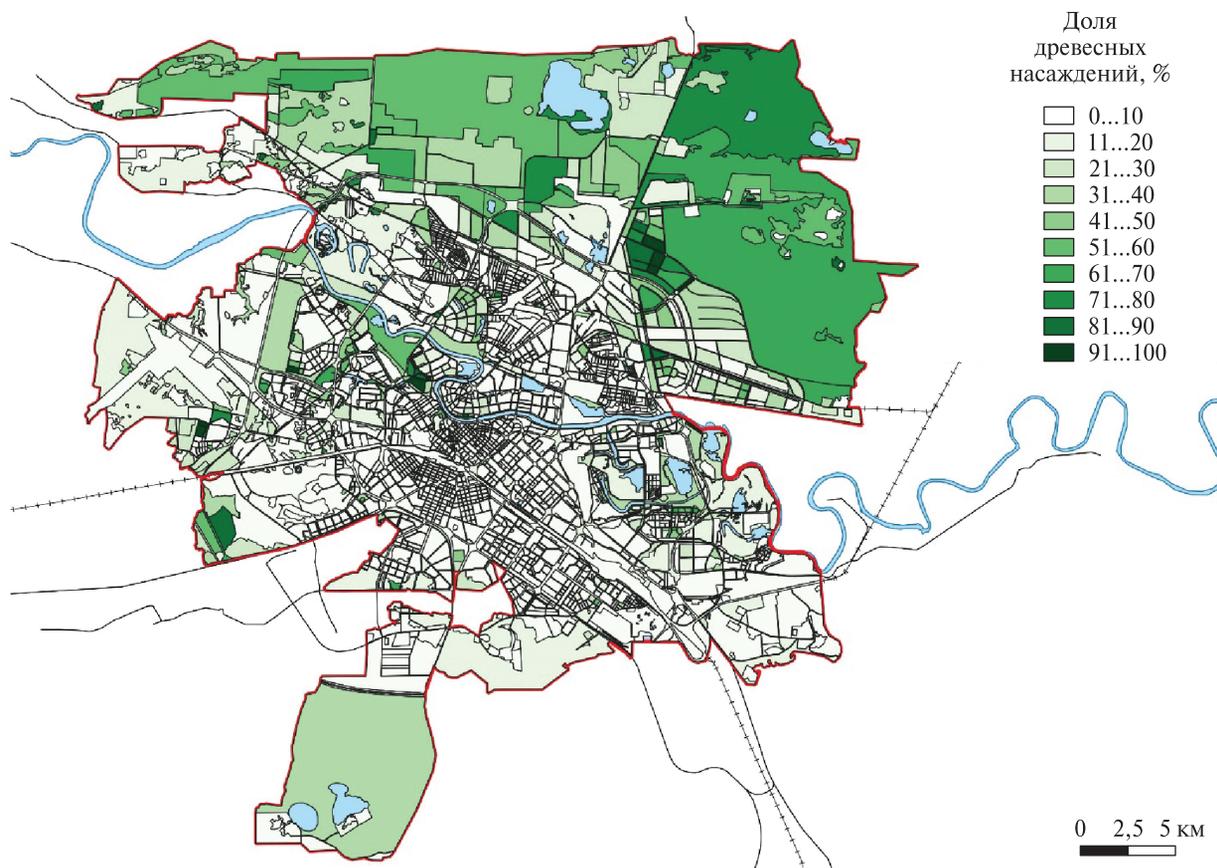
\*Общие данные приведены без учета площади водных объектов и некоторых территорий, не отнесенных к функциональному зонированию.

Ранее зарубежными и отечественными коллегам [31, 32, 35, 36, 39, 40] было показано, что городские территории, имеющие значение NDVI ниже 0,2, характеризуются как участки без растительности. Для Тюмени получены схожие результаты. На карте красным цветом обозначены участки города со значением NDVI в пределах от -0,2 до 0, что указывает на полное отсутствие растительного покрова. Отрицательные значения NDVI характерны для участков с различными водными объектами, например р. Тура и ее пойменные водоемы.

Городские территории (на карте показаны оранжевым цветом), которым соответствуют значения NDVI 0...0,2, характеризуются сильно разреженным растительным покровом и высокой долей непроницаемых искусствен-

ных покрытий, таких как бетон и асфальт, например: тротуары, автомобильные дороги, асфальтированные площадки, промышленные предприятия, многоэтажные жилые дома, торгово-развлекательные центры, песчаные карьеры и т. п. Площадь таких непроницаемых участков в Тюмени составляет 415 км<sup>2</sup> (59,5 %).

Большая доля непроницаемых участков сосредоточена в центральной и юго-восточной частях города, где располагается застройка с переменной этажностью и новая высокоплотная жилая застройка (см. рис. 2). Например, новые районы многоэтажной жилой застройки (Ново-Патрушево, Тюменская слобода, Плеханово, новые микрорайоны в Заречной части и другие). Территория многих жилых комплексов на 85 % состоит из искусственных поверхностей



**Рис. 3.** Доля древесных насаждений на территории городского округа Тюмень  
**Fig. 3.** The proportion of tree plantations in Tyumen

и только 15 % приходится на газоны у жилых зданий с травянистой растительностью и недавно высаженными кустарниками и деревьями. Ранее было показано [26], что именно эти участки Тюмени создают тепловой стресс для населения в летний период и требуют «охлаждающего эффекта». Если учесть, что здесь проживает около 87 % населения города, становится очевидной необходимость увеличения плотности растений в густонаселенных районах города.

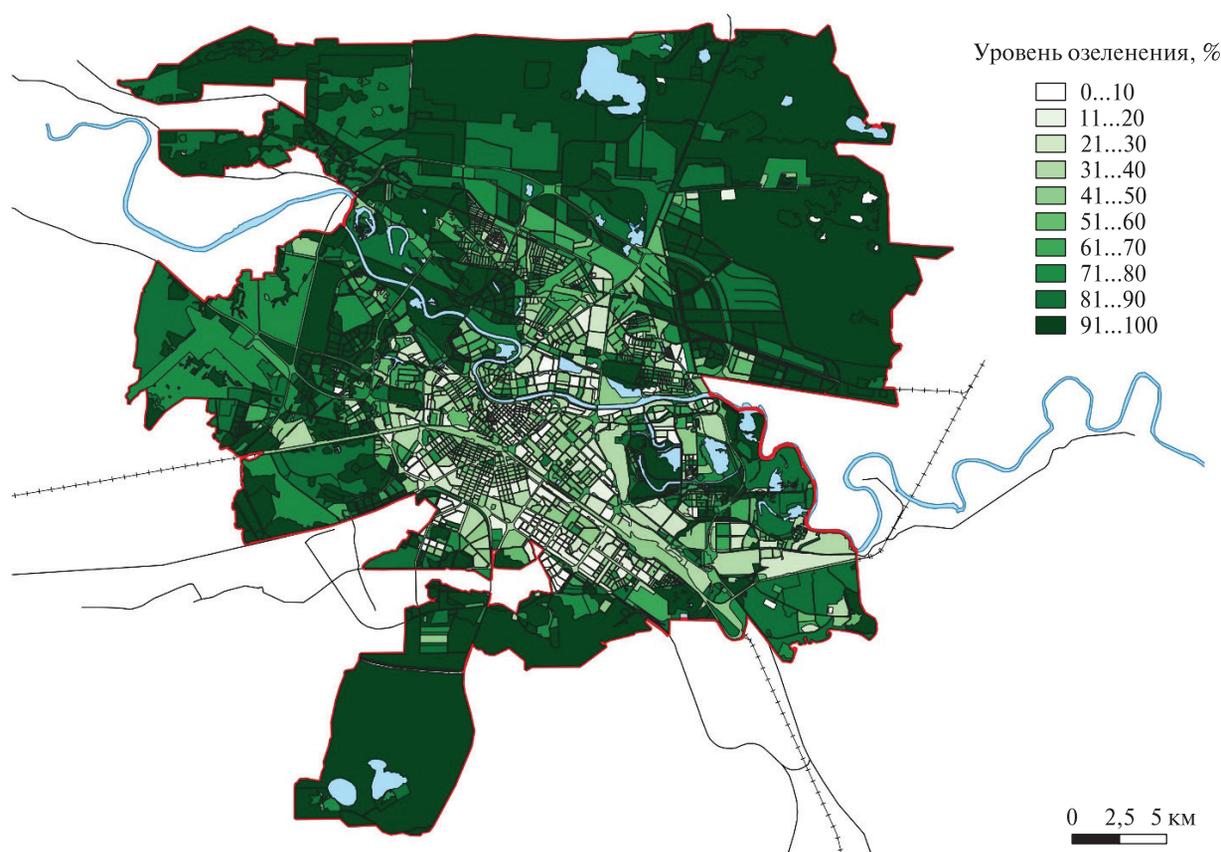
Неоднократно было показано, что именно городские участки с непроницаемыми поверхностями характеризуются повышенными значениями температуры и приводят к возникновению эффекта городского теплового острова [26, 54], который представляет опасность для здоровья населения. К примеру, он влияет на вертикальное перемешивание загрязнителей воздуха и определяет их дневную концентрацию, что приводит к респираторным заболеваниям [41] и может вызывать тепловой стресс организма, характеризующийся нарушением физиологических процессов терморегуляции [11].

Значения NDVI в пределах от 0 до 0,1 имеют также участки с расположенными в их пределах

неглубокими озерами (оз. Алебашево), прудами (Южный, Чистый, Дамбовский, Школьный и т. д.) и промышленными карьерами.

Районам города с малоэтажной жилой застройкой (коттеджи и частный сектор) в микрорайонах Нефтяник, Парфеново и садовым и дачным товариществам (Геолог-3, Автотранспортник-2, Солнышко и др.) характерны значения NDVI 0,2...0,35. Застройка здесь менее плотная, доля непроницаемых поверхностей ниже, соответственно, выше площадь озелененных пространств: придорожные газоны и древесно-кустарниковых насаждений (преимущественно из тополя, клена, березы, липы, яблони) вдали домов и улиц, а также во дворах. Диапазон более высоких значений NDVI 0,2...0,55 отмечен для некоторых участков с разреженным травянистым покровом, например, с луговой растительностью в пойме р. Туры и на городской набережной.

Территории небольших скверов, зеленых зон у жилых и общественных зданий, а также участки вдоль крупных автомобильных дорог имеют диапазон значений NDVI 0,35...0,55. Здесь развит растительный покров из травяни-



**Рис. 4.** Дифференцированная картограмма значений уровня озелененности городского округа Тюмень  
**Fig. 4.** Differentiated cartography of the landscaping in the city of Tyumen

стых растений в сочетании с редкими деревьями и кустарниками.

Значения NDVI выше 0,5 характерны для городских территорий с хорошо развитым растительным покровом [39, 40]. Участки ландшафтов с луговой и кустарниковой растительностью, которым соответствуют значения вегетационного индекса от 0,55 до 0,7, показаны зеленым цветом (см. рис. 2), например влажные луга и заросли кустарников в пойме р. Туры. Городские территории с максимальными значениями NDVI 0,7...1 окрашены синим цветом (см. рис. 2) — это участки с древесными насаждениями.

**Анализ уровня древесных насаждений по функциональным зонам.** Доля древесных насаждений достигает самых высоких показателей в рекреационной функциональной зоне (таблица, рис. 3). Это природные и природоподобные ландшафты: участки городских сосновых и березовых лесов, парки — Лесопарк им. Ю.А. Гагарина, Гилёвская роща, Плехановский бор, Верхний бор и др., скверы — Сквер Нефтяников, Сквер Сибирский и др., Памятник природы регионального значения «Тополя».

В зонах специального назначения участие древесных растений выше, в частности на участках ритуального назначения (Текутьевское кладбище) и сельскохозяйственной зоне с благоустроенными территориями, покрытыми древесно-кустарниковой растительностью, которые расположены в северо-восточной части города.

В селитебной части города доля площадей, занятых древесными насаждениями, не превышает 20 %. Участки с деревьями отмечены на участках торгово-развлекательных и спортивных объектов, вдоль автомобильных дорог (Тобольский проспект, Текутьевский бульвар, ул. Береговая, Сиреневая и др.).

Самая низкая представленность древесных насаждений отмечается в зоне жилой застройки (см. таблицу, рис. 3). При этом доля древесной растительности выше в зоне малоэтажной застройки 1960–1980 гг. и ниже — в районах 12–16-этажной застройки 2000–2020 гг. Кварталы с новой многоэтажной застройкой занимают большую площадь города. Особенно активно застраиваются высокие террасы правобережья и заболоченные низкие террасы левобережья

р. Туры. В новых кварталах зеленая инфраструктура только начала формироваться и редкие посаженные деревья не успели разрастись.

В целом в Тюмени только 22 % площади занято древесными насаждениями. Соответственно, почти 80 % территории города (558,8 км<sup>2</sup>) характеризуются низким уровнем участия древесных растений — менее 30 % (см. таблицу, рис. 3). Особенно остро дефицит деревьев наблюдается в кварталах с новой многоэтажной застройкой. В то же время именно на древесные растения приходится широкий спектр экосистемных услуг. Соответственно, при планировании очень важно уделить пристальное внимание более масштабному внедрению древесных растений в городское озеленение.

#### **Характеристика уровня озеленения города.**

Озелененность функциональных зон напрямую связана с NDVI. Чем выше его значение, тем выше больше степень озеленения, и наоборот. С помощью общего количества пикселей со значениями NDVI, соответствующими растительности, построена дифференцированная картосхема озелененности (рис. 4). В целом низким уровнем озеленения характеризуются центральная застроенная часть города, а по направлению к окраинам уровень озеленения повышается, достигая максимальных значений.

Самый высокий уровень озеленения — 60...100 % характерен для рекреационной и сельскохозяйственной функциональных зон. В пределах рекреационной зоны максимальные значения озелененности отмечены на участках природных ландшафтов и городских лесопарков — 92 и 95 % соответственно. На озелененных территориях общего пользования и в туристических зонах уровень озеленения снижается (70 и 74 % соответственно), что отражает наличие искусственных поверхностей и сокращение растительного покрова. Примечательно, что одни из самых высоких показателей озеленения обнаружены в зоне специального назначения на территориях городских кладбищ (см. таблицу).

В селитебной части города (80 км<sup>2</sup>, или 55 % площади) уровень озеленения не превышает 50 %. В жилой зоне процент озеленения территории ниже средних значений по городу. В частности, в зоне многоэтажной застройки он составляет 39 %, а в историко-культурном центре города, где сосредоточена туристическая инфраструктура — только 20 % (см. таблицу).

## **Выводы**

Анализ уровня озеленения г. Тюмени с помощью методов ДЗЗ показал крайне неравномерное распределение зеленых насаждений по

территории города. Высокий уровень озеленения характерен для периферийных районов города, где сохраняются участки природных ландшафтов. Селитебная часть города испытывает острый недостаток зеленых насаждений. Зоны жилой застройки, общественно-деловая, производственной и инженерной инфраструктуры характеризуются самым низким уровнем озеленения. В центральной части города в районах жилой застройки отсутствуют крупные лесопарки (ядра экологического каркаса), и они не связаны между собой. Система коридоров (пешеходные аллеи, бульвары), связывающая между собой узлы экологического каркаса (небольшие парки, скверы) развита слабо или отсутствует.

Еще одна особенность зеленой инфраструктуры г. Тюмени — недостаток древесных насаждений: почти 80 % территории города (558,8 км<sup>2</sup>) характеризуется низким уровнем участия древесных растений — менее 30 %. Особенно остро дефицит деревьев наблюдается в кварталах с новой многоэтажной застройкой. Отчасти это можно объяснить тем, что в новых кварталах зеленые насаждения только начинают формироваться, имеют небольшой возраст и не успели разрастись. Обширные участки городской набережной у р. Туры лишены древесной растительности по объективным причинам.

Обширная площадь, занимаемая непроницаемыми искусственными поверхностями (около 60 %), и недостаток древесных насаждений, которыми занято только 22 % площади города, отрицательно сказываются на состоянии окружающей среды, особенно в условиях глобальных климатических изменений.

Для улучшения экологической обстановки и формирования комфортной среды для населения необходимо увеличение как общей площади озелененных пространств, так и доли древесных насаждений. С этой целью, в программы развития города следует включать разработку и реализацию мероприятий по следующим направлениям:

- отведение площадей и создание крупных лесопарковых комплексов, в первую очередь в зонах массового жилищного строительства;
- интеграция долины р. Туры и ее притоков в систему зеленых коридоров экологического каркаса;
- увеличение доли древесных насаждений вдоль линейных объектов — защитных полос вдоль железных дорог и автомагистралей, формирование озелененных пешеходных аллей и бульваров;
- повышение общего уровня озеленения зон жилой застройки и производственного назначения, в том числе за счет точечного озеленения

и формирования нестандартных зеленых пространств (мобильных объектов, террас жилых домов и общественных зданий, дренажных систем, живых изгородей и т. п.).

В качестве одного из мероприятий можно предложить разработку правил благоустройства улиц, общественных пространств, дворов. Подобные работы проведены в г. Екатеринбурге [55]. Отличительной особенностью новых стандартов благоустройства должна стать идея обеспечения равновесия природных и антропогенных элементов города, устойчивости городских экосистем, сохранения биологического разнообразия на городской территории и повышения качества жизни населения. Особое внимание следует уделить набережным, поскольку сегодня их благоустройство представлено гранитными парапетами и мощением, в связи с чем возникают тепловые острова и участки с повышенной ветровой нагрузкой, непригодные для использования в рекреационных целях.

*Работа выполнена в рамках государственного задания Института комплексного анализа региональных проблем ДВО РАН, тема № 1021062311241-6-1.6.20;1.6.22;1.6.15;1.15.12 (FWUG2024-0005); Института проблем освоения Севера Тюменского научного центра СО РАН, тема № 1025031300145-5-1.5.1 (FWRZ-2026-0022); Ботанического сада УрО РАН, тема № 123112700111-4. Работа выполнена при поддержке ООО «Брусника» в рамках направления деятельности НИОКР «Устойчивый ландшафт. Расширенные возможности озеленения».*

## Список литературы

- [1] McKinney M.L. Urbanization as a major cause of biotic homogenization // *Biological Conservation*, 2006, v. 127, pp. 247–260.
- [2] McKinney M.L. Urbanization, biodiversity, and conservation. The impacts of urbanization on native species are poorly studied, but educating a highly urbanized human population about these impacts can greatly improve species conservation in all ecosystems // *Bioscience*, 2002, v. 52 (10), pp. 883–890.
- [3] Oke T.R. The energetic basis of the urban heat island // *Quarterly J. of the Royal Meteorological Society*, 1982, v. 108(455), pp. 1–24.
- [4] Oke T.R. The heat island of the urban boundary layer: characteristics, causes and effects / Cermak JE (ed) // *Windclimate in cities Netherlands: Kluwer Academic Publishers*, 1995, pp. 81–107.
- [5] Jenerette G.D., Harlan S.L., Brazel A., Jones N., Larsen L., Stefanov W.L. Regional relationships between surface temperature, vegetation, and human settlement in a rapidly urbanizing ecosystem // *Landscape Ecology*, 2007, v. 22, pp. 353–365.
- [6] Connors J.P., Galletti C.S., Chow W.T.L. Landscape configuration and urban heat island effects: assessing the relationship between landscape characteristics and land surface temperature in Phoenix, Arizona // *Landscape Ecology*, 2013, v. 28 (2), pp. 271–283.
- [7] Gober P. Desert urbanization and the challenges of water sustainability // *Current Opinion in Environmental Sustainability*, 2010, v. 2 (3), pp. 144–150.
- [8] Ziter C. The biodiversity-ecosystem service relationship in urban areas: a quantitative review // *Oikos*, 2016, v. 125(6), pp. 761–768.
- [9] Schwarz N., Moretti M., Bugalho M.N., Davies Z.G., Haase D., Hack J., et al. Understanding biodiversity-ecosystem service relationships in urban areas: A comprehensive literature review // *Ecosystem services*, 2017, v. 27(A), pp. 161–171.
- [10] Аналитическая записка: Устойчивое городское и пригородное лесное хозяйство, основанное на природных принципах: комплексное и инклюзивное решение в интересах «зеленого» восстановления и устойчивых, здоровых и жизнестойких городов. URL: <https://unecce.org/info/publications/pub/373690> (дата обращения 19.09.2024).
- [11] Forman R.T.T. *Urban ecology: science of cities*. UK: Cambridge University Press, 2014, 480 p.
- [12] Морозова Г.Ю., Дебеляя И.Д. Зеленая инфраструктура как фактор обеспечения устойчивого развития Хабаровска // *Экономика региона*, 2018. Т. 14. № 2. С. 562–574.
- [13] 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.
- [14] Brack C.L. Pollution mitigation and carbon sequestration by an urban forest // *Environmental Pollution*, 2002, v. 116, pp. 195–200.
- [15] Alberti M. The effects of urban patterns on ecosystem function // *International Regional Science Review*, 2005, v. 28(2), pp. 168–192.
- [16] Westphal L.M. *Social Aspects of Urban Forestry: Urban Greening and Social Benefits: A Study of Empowerment Outcomes* // *Arboriculture & Urban Forestry*, 2003, v. 29(3), pp. 137–147.
- [17] Dadvand P. Green spaces and cognitive development in primary schoolchildren // *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 2015, v. 112, no. 26, pp. 7937–7942.
- [18] 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)*, 2021, pp. 66–72.
- [19] Ревич Б.А. Значение зеленых пространств для защиты здоровья населения городов // *Анализ риска здоровью*, 2023. № 2. С. 168–185.
- [20] Kuhn N. Intentions for the unintentional spontaneous vegetation as the basis for innovative planting design in urban areas // *J. of Landscape Architecture*, 2006, v. 1, no. 2, pp. 46–53.
- [21] Ignatieva M., Meurk C., Stewart G. Low Impact Urban Design and Development (LIUDD): matching urban design and urban ecology // *Landscape Review*, 2008, v. 12, no. 2, pp. 61–73.

- [22] Алексейчук Я.Д., Керимова Н.А. Современные направления озеленения общественных интерьеров // *Ландшафтная архитектура, строительство и обработка древесины: Материалы науч.-техн. конф. СПбГЛТУ по итогам НИР 2017 г. ИЛАСи-ОД, Санкт-Петербург, 15–16 февраля 2018 г / под ред. И.А. Мельничук. Санкт-Петербург: Изд-во Санкт-Петербургского политехнического университета Петра Великого, 2018. С. 72–74.*
- [23] Климанова О.А., Колбовский Е.Ю., Илларионова О.А. Экологический каркас крупнейших городов Российской Федерации: современная структура, территориальное планирование и проблемы развития // *Вестник Санкт-Петербургского университета. Науки о Земле, 2018. Т. 63. № 2. С. 127–146.*
- [24] Морозова Г.Ю., Дебеляя И.Д. Анализ проблем озеленения современного города (на примере Хабаровска) // *Вестник Дальневосточного отделения Российской академии наук, 2018. № 4. С. 38–48.*
- [25] Калманова В.Б. Анализ формирования зеленого каркаса в планировочной структуре г. Биробиджана // *Региональные проблемы, 2019. Т. 22. № 3. С. 70–77.*
- [26] Экосистемные услуги России: Прототип национального доклада. Т. 3. Зеленая инфраструктура и экосистемные услуги крупнейших городов России. М.: Изд-во Центра охраны дикой природы, 2021. 112 с.
- [27] Макаренко В.П., Фетисов Д.М., Жучков Д.В. Изучение растительного покрова малых и средних городов России: современное состояние // *Региональные проблемы, 2022. Т. 25. № 1. С. 3–15.*
- [28] Глазунов В.А., Третьякова А.С., Чижов Е.А. Флористическое разнообразие современного экологического каркаса г. Тюмени // *Биосфера, 2023. Т. 15. № 4. С. 335–342.*
- [29] Shikhova N. S. Functional Efficiency of the Woody Vegetation Species Composition in Urban Green Spaces // *Russian J. of Ecology, 2023, v. 54, no. 6, pp. 693–703.*
- [30] Lu Y., Coops N. C., Hermosilla T. Estimating urban vegetation fraction across 25 cities in pan-Pacific using Landsat time series data // *ISPRS J. of Photogrammetry and Remote Sensing, 2017, v. 126, pp. 11–24.*
- [31] Кравчук Л.А., Яновский А.А., Баженова Н.М., Пац А.Ч. Дифференцированная оценка зеленой инфраструктуры г. Минска с использованием данных дистанционного зондирования Земли // *Природопользование, 2019. № 2. С. 152–167.*
- [32] Фетисов Д.М., Жучков Д.В., Горюхин М.В. Оценка уровня озеленения города Биробиджана с применением мультиспектральных данных // *Биосфера, 2021. Т. 13. № 4. С. 170–179.*
- [33] Abutaleb K., Mudede M.F., Nkongolo N., Newete S.W. Estimating urban greenness index using remote sensing data: A case study of an affluent vs poor suburbs in the city of Johannesburg // *The Egyptian J. of Remote Sensing and Space Sciences, 2021, v. 24, pp. 343–351.*
- [34] Хужахметова А.Ш., Воронина В.П., Лазарев С.Е. Оценка пространственной структуры древесно-кустарниковых насаждений города Волгограда по данным мультиспектральных космических снимков // *Известия Нижневолжского агроуниверситетского комплекса: Наука и высшее профессиональное образование, 2022. № 3(67). С. 218–232.*
- [35] Жучков Д.В., Фетисов Д.М. Оценка современного состояния растительного покрова г. Облучье по мультиспектральным данным // *Региональные проблемы, 2024. Т. 27. № 1. С. 112–124.*
- [36] Соколов А.С. Распределение вегетационного индекса NDVI на территории Гомеля // *Известия Гомельского государственного университета им. Ф. Скорины, 2024. № 3(144). С. 52–55.*
- [37] Ceballos-Silva A., López-Blanco J. Delineation of suitable areas for crops using a Multi Criteria Evaluation approach and land use/cover mapping: a case study in Central Mexico // *Agricultural Systems, 2003, v. 77(2), pp. 117–136.*
- [38] Anitha V., Prabha D. Role of NDVI in Assessing Surface Urban Heat Island phenomenon: A Case Study of Alappuzha District, Kerala // *J. of Materials and Environmental Science, 2024, v. 15(9), pp. 1331–1346.*
- [39] Hashim H., Abd Latif Z., Adnan N.A. Urban vegetation classification with NDVI threshold value method with very high resolution (VHR) pleiades imagery // *The International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences, 2019, v. XLII-4/W16, pp. 237–240.*
- [40] Aryal J., Sitaula C., Aryal S. NDVI Threshold-Based Urban Green Space Mapping from Sentinel-2A at the Local Governmental Area (LGA) Level of Victoria, Australia // *Land, 2022, v. 11(3), p. 351.*
- [41] Lee G., Kim G., Min G., Jung S., Hwang J., Cho S. Vegetation Classification in Urban Areas by Combining UAV-Based NDVI and Thermal Infrared Image // *Applied Sciences, 2023, v. 13(1), p. 515.*
- [42] Esau I., Miles V.V., Davy R., Miles M.W., Kurchatova A. Trends in normalized difference vegetation index (NDVI) associated with urban development in northern West Siberia // *Atmospheric Chemistry and Physics, 2016, v. 16, pp. 9563–9577.*
- [43] Kandel S., Gyawali B., Sandifer J., Shrestha S., Upadhaya S. Assessment of Urban Heat Islands (UHIs) Using Satellite-Derived Normalized Difference Vegetation Index (NDVI), and Land Surface Temperature (LST) in Three Metropolitan Cities of Nepal // *Banko Janakari, 2022, v. 32, no. 2, pp. 37–51.*
- [44] Гусейнов А.Н. Экология города Тюмени: состояние, проблемы. Тюмень: Слово, 2001. 176 с.
- [45] Старков В.Г., Тюлькова Л.А. Геологическая история и минеральные богатства Тюменской земли. Тюмень: ИПП «Тюмень», 1996. 192 с.
- [46] Тюмень начала XXI века. Тюмень: Изд-во ИПОС СО РАН, 2002. 335 с.
- [47] Глазунов В.А., Хозяинова Н.В., Хозяинова Е.Ю. Флора города Тюмени // *Фиторазнообразие Восточной Европы, 2020. Т. XIV. № 4. С. 420–497.*
- [48] Copernicus Browser. URL: <https://606.su/cvxR>. (дата обращения 01.08.2024).
- [49] Kuc G., Chormański J. Sentinel-2 imagery for mapping and monitoring imperviousness in urban areas // *Int. Arch. Photogrammetry Remote Sens. Spatial Informat Sci, 2019, (XLII-1/W2), pp. 43–47.*
- [50] Dissanayake D.M.S.L.B., Morimoto T., Ranagalage M., Murayama Y. Land-use/land-cover changes and their impact on surface urban heat islands: Case study of Kandy City, Sri Lanka // *Climate, 2019, v. 7(8), p. 99.*
- [51] Tucker C.J. Red and photographic infrared linear combinations for monitoring vegetation // *Remote sensing of Environment, 1979, v. 8(2), pp. 127–150.*

- [52] Townshend J.R., Justice C.O. Analysis of the dynamics of African vegetation using the normalized difference vegetation index // *International J. of remote sensing*, 1986, v. 7(11), pp. 1435–1445.
- [53] Приложение 1 к Постановлению Администрации города Тюмени от 30.09.2024 № 151-пк «О внесении изменений в постановление Администрации города Тюмени от 28.06.2021 № 124-пк» // Администрация города Тюмени. Официальный портал. URL: <https://www.tyumen-city.ru/> (дата обращения 30.08.2024).
- [54] Carpio M., González Á., González M., Verichev K. Influence of pavements on the urban heat island phenomenon: A scientific evolution analysis // *Energy and Buildings*, 2020, v. 226, p. 110379.
- [55] 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

## Сведения об авторах

**Жучков Дмитрий Витальевич** <sup>✉</sup> — мл. науч. сотр., аспирант, ФГБУН «Институт комплексного анализа региональных проблем Дальневосточного отделения Российской академии наук (ИКАРП ДВО РАН), [dmitriy.zhuchkov.2000@mail.ru](mailto:dmitriy.zhuchkov.2000@mail.ru)

**Глазунов Валерий Александрович** — канд. биол. наук, ст. науч. сотр., ФГБУН «Тюменский научный центр Сибирского отделения Российской академии наук» (ТюмНЦ СО РАН), [v\\_gl@inbox.ru](mailto:v_gl@inbox.ru)

**Третьякова Алена Сергеевна** — д-р биол. наук, директор ФГБУН «Ботанический сад Уральского отделения Российской академии наук» (БС УрО РАН), [as.tretyakova1@yandex.ru](mailto:as.tretyakova1@yandex.ru)

**Фетисов Денис Михайлович** — канд. геогр. наук, ст. науч. сотр., директор ФГБУН «Институт комплексного анализа региональных проблем Дальневосточного отделения Российской академии наук (ИКАРП ДВО РАН), [dmf.mail@yandex.ru](mailto:dmf.mail@yandex.ru)

**Бурцев Александр Геннадьевич** — руководитель отдела научных исследований подразделения НИОКР, Общество с ограниченной ответственностью «Брусника». Специализированный застройщик», [a.burtsev@brusnika.ru](mailto:a.burtsev@brusnika.ru)

**Хриченков Алексей Владимирович** — руководитель подразделения НИОКР, Общество с ограниченной ответственностью «Брусника». Специализированный застройщик», [khrichenkov@brusnika.ru](mailto:khrichenkov@brusnika.ru)

Поступила в редакцию 20.03.2025.

Одобрено после рецензирования 06.05.2025.

Принята к публикации 28.11.2025.

## CURRENT STATE OF GREEN INFRASTRUCTURE IN TYUMEN

D.V. Zhuchkov<sup>1</sup>✉, V.A. Glazunov<sup>2</sup>, A.S. Tretyakova<sup>3</sup>,  
D.M. Fetisov<sup>1</sup>, A.V. Khrichenkov<sup>4</sup>, A.G. Burtsev<sup>4</sup>

<sup>1</sup>Institute for Complex Analysis of Regional Problems, Far Eastern Branch, Russian Academy of Sciences (ICARP FEB RAS), 4, Sholom Aleichem st., 679016, EAO, Birobidzhan, Russia

<sup>2</sup>Tyumen Scientific Centre SB RAS, 86, Malygina st., 625026, Tyumen, Russia

<sup>3</sup>Botanical Garden of the Ural Branch of the RAS, 202a, 8 Marta st., 620144, Yekaterinburg, Russia

<sup>4</sup>The R&D department of LLC «Brysnika», 18 Gogol st., 620026, Yekaterinburg, Russia

dmitriy.zhuchkov.2000@mail.ru

Research on green infrastructure in cities is becoming particularly relevant against the background of an increasing number of cities and the urban population. In order to achieve sustainable development of urbanized territories and create a favorable environment, there is a need to obtain data on the structure and condition of urban vegetation. However, the use of traditional research methods makes this task difficult. The article analyzes the current state of the green infrastructure based on the data of remote sensing of the Earth using the example of a large city of Tyumen. The analysis of the spatial distribution of urban vegetation across the city is based on the results of the calculation of the normalized vegetation index (NDVI) based on Sentinel-2A satellite images. It was found that NDVI values of 0,2 or more are the boundary values for highlighting the green spaces of the city, NDVI 0,75 or more for woody vegetation. NDVI values less than 0,2 characterize the impenetrable surfaces of the city (paved areas, building sites, sand pits, etc.), the area of which in Tyumen is more than 59 %. The indicators «proportion of tree stands» and «level of landscaping» were analyzed for the rendered sections of the functional zones of the city. It is revealed that the distribution of green spaces across the city is uneven. The proportion of tree stands reaches its maximum (50 % and above) in the recreational area, where natural and nature-like landscapes are located, while in the residential part of the city this indicator, on the contrary, is minimal. It is estimated that 22 % of the territory of Tyumen is covered with tree plantations. An assessment of the landscaping of functional areas of the city revealed a similar pattern: a high level of landscaping (60 % and above) is typical for peripheral areas of the city, while there is a clear lack of greenery in residential and public-business buildings. Consequently, in order to improve the environmental situation and create a comfortable urban environment, it is necessary to expand the green spaces, especially in neighborhoods with new buildings and in areas of the city's public and business zone.

**Keywords:** green infrastructure, level of landscaping, proportion of tree stands, green spaces, remote sensing, NDVI, Tyumen

**Suggested citation:** Zhuchkov D.V., Glazunov V.A., Tretyakova A.S., Fetisov D.M., Khrichenkov A.V., Burtsev A.G. *Sovremennoe sostoyanie zelenoy infrastruktury goroda Tyumeni* [Current state of green infrastructure in Tyumen]. *Lesnoy vestnik / Forestry Bulletin*, 2026, vol. 30, no. 1, pp. 74–88.

DOI: 10.18698/2542-1468-2026-1-74-88

### References

- [1] McKinney M.L. Urbanization as a major cause of biotic homogenization. *Biological Conservation*, 2006, v. 127, pp. 247–260.
- [2] McKinney M.L. Urbanization, biodiversity, and conservation. The impacts of urbanization on native species are poorly studied, but educating a highly urbanized human population about these impacts can greatly improve species conservation in all ecosystems. *Bioscience*, 2002, v. 52 (10), pp. 883–890.
- [3] Oke T.R. The energetic basis of the urban heat island. *Quarterly J. of the Royal Meteorological Society*, 1982, v. 108(455), pp. 1–24.
- [4] Oke T.R. The heat island of the urban boundary layer: characteristics, causes and effects. Cermak JE (ed) *Windclimate in cities*. Netherlands: Kluwer Academic Publishers, 1995, pp. 81–107.
- [5] Jenerette G.D., Harlan S.L., Brazel A., Jones N., Larsen L, Stefanov W.L. Regional relationships between surface temperature, vegetation, and human settlement in a rapidly urbanizing ecosystem. *Landscape Ecology*, 2007, v. 22, pp. 353–365.
- [6] Connors J.P., Galletti C.S., Chow W.T.L. Landscape configuration and urban heat island effects: assessing the relationship between landscape characteristics and land surface temperature in Phoenix, Arizona. *Landscape Ecology*, 2013, v. 28 (2), pp. 271–283.
- [7] Gober P. Desert urbanization and the challenges of water sustainability. *Current Opinion in Environmental Sustainability*, 2010, v. 2 (3), pp. 144–150.
- [8] Ziter C. The biodiversity-ecosystem service relationship in urban areas: a quantitative review. *Oikos*, 2016, v. 125(6), pp. 761–768.
- [9] Schwarz N., Moretti M., Bugalho M.N., Davies Z.G., Haase D., Hack J., et al. Understanding biodiversity-ecosystem service relationships in urban areas: A comprehensive literature review. *Ecosystem services*, 2017, v. 27(A), pp. 161–171.

- [10] *Analiticheskaya zapiska: Ustoychivoe gorodskoe i prigradnoye lesnoye khozyaystvo, osnovannoye na prirodnykh printsipakh: kompleksnoye i inkluzivnoye reshenie v interesakh «zelenogo» vosstanovleniya i ustoychivyykh, zdorovykh i zhiznestoykikh gorodov* [Analytical note: Sustainable urban and suburban forestry based on natural principles is a comprehensive and inclusive solution for the benefit of green recovery and sustainable, healthy and resilient cities]. Available at: <https://unece.org/info/publications/pub/373690> (accessed 19.09.2024).
- [11] Forman R.T.T. *Urban ecology: science of cities*. UK: Cambridge University Press, 2014, 480 p.
- [12] Morozova G.Yu., Debelaya I.D. *Zelenaya infrastruktura kak faktor obespecheniya ustoychivogo razvitiya Khabarovska* [Green infrastructure as a factor in ensuring the sustainable development of Khabarovsk]. *Ekonomika regiona* [Economy of the region], 2018, v. 14, no. 2, pp. 562–574.
- [13] 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.
- [14] Brack C.L. Pollution mitigation and carbon sequestration by an urban forest. *Environmental Pollution*, 2002, v. 116, pp. 195–200.
- [15] Alberti M. The effects of urban patterns on ecosystem function. *International Regional Science Review*, 2005, v. 28(2), pp. 168–192.
- [16] Westphal L.M. Social Aspects of Urban Forestry: Urban Greening and Social Benefits: A Study of Empowerment Outcomes. *Arboriculture & Urban Forestry*, 2003, v. 29(3), pp. 137–147.
- [17] Dadvand P. Green spaces and cognitive development in primary schoolchildren. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 2015, v. 112, no. 26, pp. 7937–7942.
- [18] Çakar H., Gülğün B., Yazıcı K. The importance of green areas for human health. *Proceeding Book of International Symposium for Environmental Science and Engineering Research (ISESER 2021)*, 2021, pp. 66–72.
- [19] Revich B.A. *Znachenie zelenykh prostranstv dlya zashchity zdorov'ya naseleniya gorodov* [The importance of green spaces for protecting the health of urban populations]. *Analiz riska zdorov'yu* [Health risk analysis], 2023, no. 2, pp. 168–185.
- [20] Kuhn N. Intentions for the unintentional spontaneous vegetation as the basis for innovative planting design in urban areas. *J. of Landscape Architecture*, 2006, v. 1, no. 2, pp. 46–53.
- [21] Ignatieva M., Meurk C., Stewart G. Low Impact Urban Design and Development (LIUDD): matching urban design and urban ecology. *Landscape Review*, 2008, v. 12, no. 2, pp. 61–73.
- [22] Alekseychuk Ya.D., Kerimova N.A. *Sovremennyye napravleniya ozeleneniya obshchestvennykh inter'erov* [Modern trends in landscaping public interiors]. *Landshaftnaya arkhitektura, stroitel'stvo i obrabotka drevesiny: mater. nauchno-tekhnicheskoy konferentsii SPbGLTU po itogam NIR 2017 goda ILASiOD* [Landscape architecture, construction and wood processing: materials of the scientific and technical conference of SPbGLTU on the results of R&D in 2017, ILASiOD], St. Petersburg, February 15–16, 2018. Ed I.A. Melnichuk. St. Petersburg: Peter the Great St. Petersburg Polytechnic University, 2018, pp. 72–74.
- [23] Klimanova O.A., Kolbovskiy E.Yu., Illarionova O.A. *Ekologicheskyy karkas krupneyshikh gorodov Rossiyskoy Federatsii: sovremennaya struktura, territorial'noye planirovaniye i problemy razvitiya* [Ecological framework of the largest cities of the Russian Federation: modern structure, territorial planning and development problems]. *Vestnik Sankt-Peterburgskogo universiteta. Nauki o Zemle* [Bulletin of St. Petersburg University: Earth Science], 2018, v. 63, no. 2, pp. 127–146.
- [24] Morozova G.Yu., Debelaya I.D. *Analiz problem ozeleneniya sovremennogo goroda (na primere Khabarovska)* [Analysis of the problems of greening a modern city (using the example of Khabarovsk)]. *Vestnik DVO RAN* [Bulletin of the Far Eastern Branch of the Russian Academy of Sciences], 2018, no. 4, pp. 38–48.
- [25] Kalmanova V.B. *Analiz formirovaniya zelenogo karkasa v planirovochnoy strukture g. Birobidzhana* [Analysis of the problems of greening a modern city (using the example of Khabarovsk)]. *Regional'nye problemy* [Regional issues], 2019, v. 22, no. 3, pp. 70–77.
- [26] *Ekosistemnye uslugi Rossii: Prototip natsional'nogo doklada. T. 3. Zelenaya infrastruktura i ekosistemnye uslugi krupneyshikh gorodov Rossii* [Ecosystem services in Russia: Prototype of the national report. Vol. 3. Green infrastructure and ecosystem services of Russia's largest cities]. Moscow: Izd-vo Tsentra okhrany dikoy prirody [Publishing House of the Wildlife Conservation Center], 2021, 112 p.
- [27] Makarenko V.P., Fetisov D.M., Zhuchkov D.V. *Izuchenie rastitel'nogo pokrova malyykh i srednikh gorodov Rossii: sovremennoye sostoyaniye* [Study of vegetation cover of small and medium-sized cities in Russia: current state]. *Regional'nye problemy* [Regional problems], 2022, v. 25, no. 1, pp. 3–15.
- [28] Glazunov V.A., Tret'yakova A.S., Chizhov E.A. *Floristicheskoye raznoobrazie sovremennogo ekologicheskogo karkasa g. Tyumeni* [Floristic diversity of the modern ecological framework of Tyumen]. *Biosfera* [Biosphere], 2023, v. 15, no. 4, pp. 335–342.
- [29] Shikhova N. S. Functional Efficiency of the Woody Vegetation Species Composition in Urban Green Spaces. *Russian J. of Ecology*, 2023, v. 54, no. 6, pp. 693–703.
- [30] Lu Y., Coops N. C., Hermsilla T. Estimating urban vegetation fraction across 25 cities in pan-Pacific using Landsat time series data. *ISPRS J. of Photogrammetry and Remote Sensing*, 2017, v. 126, pp. 11–24.
- [31] Kravchuk L.A., Yanovskiy A.A., Bazhenova N.M., Pats A.Ch. *Differentsirovannaya otsenka zelenoy infrastruktury g. Minska s ispol'zovaniem dannykh distantsionnogo zondirovaniya Zemli* [Differentiated assessment of the green infrastructure of Minsk using Earth remote sensing data]. *Prirodopol'zovanie* [Environmental management], 2019, no. 2, pp. 152–167.
- [32] Fetisov D.M., Zhuchkov D.V., Goryukhin M.V. *Otsenka urovnya ozeleneniya goroda Birobidzhana s primeneniem mul'tispektral'nykh dannykh* [Assessment of the greening level of the city of Birobidzhan using multispectral data]. *Biosfera* [The Biosphere], 2023, v. 15, no. 4, pp. 335–342.

- [33] Abutaleb K., Mudede M.F., Nkongolo N., Newete S.W. Estimating urban greenness index using remote sensing data: A case study of an affluent vs poor suburbs in the city of Johannesburg. *The Egyptian J. of Remote Sensing and Space Sciences*, 2021, v. 24, pp. 343–351.
- [34] Khuzhakhmetova A.Sh., Voronina V.P., Lazarev S.E. *Otsenka prostranstvennoy struktury drevnesno-kustarnikovykh nasazhdeniy goroda Volgograda po dannym mul'tispektral'nykh kosmicheskikh snimkov* [Assessment of the spatial structure of tree and shrub plantings in the city of Volgograd based on multispectral satellite images]. *Izvestiya Nizhnevolzhskogo agrouniversitetskogo kompleksa: Nauka i vysshee professional'noe obrazovanie* [Izvestia of the Nizhnevolzhsky Agrouniversity Complex: Science and higher professional education], 2022, no. 3(67), pp. 218–232.
- [35] Zhuchkov D.V., Fetisov D.M. *Otsenka sovremennogo sostoyaniya rastitel'nogo pokrova g. Obluch'e po mul'tispektral'nym dannym* [Distribution of the NDVI vegetation index in the territory of Gomel]. *Regional'nye problemy* [Regional problems], 2024, no. 3(144), pp. 52–55.
- [36] Sokolov A.S. *Raspredelenie vegetatsionnogo indeksa NDVI na territorii Gomelya* [Assessment of the current state of vegetation cover in the city of Obluchye based on multispectral data]. *Izvestiya Gomel'skogo gosudarstvennogo universiteta im. F. Skoriny* [Proceedings of Gomel State University named after F. Skorina], 2024, v. 27, no. 1, pp. 112–124.
- [37] Ceballos-Silva A., López-Blanco J. Delineation of suitable areas for crops using a Multi Criteria Evaluation approach and land use/cover mapping: a case study in Central Mexico. *Agricultural Systems*, 2003, v. 77(2), pp. 117–136.
- [38] Anitha V., Prabha D. Role of NDVI in Assessing Surface Urban Heat Island phenomenon: A Case Study of Alappuzha District, Kerala. *J. of Materials and Environmental Science*, 2024, v. 15(9), pp. 1331–1346.
- [39] Hashim H., Abd Latif Z., Adnan N.A. Urban vegetation classification with NDVI threshold value method with very high resolution (VHR) pleiades imagery. *The International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences*, 2019, v. XLII-4/W16, pp. 237–240.
- [40] Aryal J., Sitaula C., Aryal S. NDVI Threshold-Based Urban Green Space Mapping from Sentinel-2A at the Local Governmental Area (LGA) Level of Victoria, Australia. *Land*, 2022, v. 11(3), p. 351.
- [41] Lee G., Kim G., Min G., Kim M., Jung S., Hwang J., Cho S. Vegetation Classification in Urban Areas by Combining UAV-Based NDVI and Thermal Infrared Image. *Applied Sciences*, 2023, v. 13(1), p. 515.
- [42] Esau I., Miles V.V., Davy R., Miles M.W., Kurchatova A. Trends in normalized difference vegetation index (NDVI) associated with urban development in northern West Siberia. *Atmospheric Chemistry and Physics*, 2016, v. 16, pp. 9563–9577.
- [43] Kandel S., Gyawali B., Sandifer J., Shrestha S., Upadhaya S. Assessment of Urban Heat Islands (UHIs) Using Satellite-Derived Normalized Difference Vegetation Index (NDVI), and Land Surface Temperature (LST) in Three Metropolitan Cities of Nepal. *Banko Janakari*, 2022, v. 32, no. 2, pp. 37–51.
- [44] Guseynov A.N. *Ekologiya goroda Tyumeni: sostoyanie, problemy* [Ecology of the city of Tyumen: state, problems]. Tyumen': Slovo, 2001, 176 p.
- [45] Starkov V.G., Tyul'kova L.A. *Geologicheskaya istoriya i mineral'nye bogatstva Tyumenskoy zemli* [Geological history and mineral resources of the Tyumen land]. Tyumen': IPP «Tyumen'», 1996, 192 p.
- [46] Tyumen' nachala XXI veka [Tyumen at the beginning of the 21st century]. Tyumen': Izd-vo IPOS SO RAN, 2002, 335 p.
- [47] Glazunov V.A., Khozyainova N.V., Khozyainova E.Yu. *Flora goroda Tyumeni* [Flora of the city of Tyumen]. *Fitoraznoobrazie Vostochnoy Evropy* [Phytodiversity of Eastern Europe], 2020, v. XIV, no. 4, pp. 420–497.
- [48] Copernicus Browser. Available at: <https://606.su/cvxR>. (accessed 01.08.2024).
- [49] Kuc G., Chormański J. Sentinel-2 imagery for mapping and monitoring imperviousness in urban areas. *Int. Arch. Photogrammetry Remote Sens. Spatial Informat Sci*, 2019, (XLII-1/W2), pp. 43–47.
- [50] Dissanayake D.M.S.L.B., Morimoto T., Ranagalage M., Murayama Y. Land-use/land-cover changes and their impact on surface urban heat islands: Case study of Kandy City, Sri Lanka. *Climate*, 2019, v. 7(8), p. 99.
- [51] Tucker C.J. Red and photographic infrared linear combinations for monitoring vegetation. *Remote sensing of Environment*, 1979, v. 8(2), pp. 127–150.
- [52] Townshend J.R., Justice C.O. Analysis of the dynamics of African vegetation using the normalized difference vegetation index. *International J. of remote sensing*, 1986, v. 7(11), pp. 1435–1445.
- [53] *Prilozhenie 1 k Postanovleniyu Administratsii goroda Tyumeni ot 30.09.2024 № 151-pk «O vnesenii izmeneniy v postanovlenie Administratsii goroda Tyumeni ot 28.06.2021 № 124-pk»* [Appendix 1 to the Resolution of the Tyumen City Administration dated 30.09.2024 No. 151-pc «On Amendments to the Resolution of the Tyumen City Administration dated 28.06.2021 No. 124-pc»]. *Administratsiya goroda Tyumeni*. Available at: <https://www.tyumen-city.ru/> (accessed 30.08.2024).
- [54] Carpio M., González Á., González M., Verichev K. Influence of pavements on the urban heat island phenomenon: A scientific evolution analysis. *Energy and Buildings*, 2020, v. 226, p. 110379.
- [55] 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

*The work was carried out within the framework of the state assignment of the Institute for Comprehensive Analysis of Regional Problems of the Far Eastern Branch of the Russian Academy of Sciences, topic No. 1021062311241-6-1.6.20; 1.6.22; 1.6.15; 1.15.12 (FWUG2024-0005); the Institute of Northern Development Problems of the Tyumen Scientific Center of the Siberian Branch of the Russian Academy of Sciences, topic No. 1025031300145-5-1.5.1 (FWRZ-2026-0022); the Botanical Garden of the Ural Branch of the Russian Academy of Sciences, topic No. 123112700111-4. The work was carried out with the support of Brusnika LLC within the framework of the R & D activity line «Sustainable Landscape. Expanded Possibilities of Greening».*

## Authors' information

**Zhuchkov Dmitriy Vital'evich** ✉ — a Junior Researcher at the Institute for Complex Analysis of Regional Problems of the Far Eastern Branch of the Russian Academy of Sciences, [dmitry.zhuchkov.2000@mail.ru](mailto:dmitry.zhuchkov.2000@mail.ru)

**Glazunov Valeriy Aleksandrovich** — Cand. Sci. (Biology). Senior Researcher at the Tyumen Scientific Center SB RAS, [v\\_gl@inbox.ru](mailto:v_gl@inbox.ru)

**Tret'yakova Alena Sergeevna** — Dr. Sci. (Biology), Director of the Botanical Garden of the Ural Branch of the Russian Academy of Sciences, [as.tretyakova1@yandex.ru](mailto:as.tretyakova1@yandex.ru)

**Fetisov Denis Mikhaylovich** — Cand. Sci. (Geography), Senior Researcher, Director of Institute for Complex Analysis of Regional Problems of the Far Eastern Branch of the Russian Academy of Sciences, [dmf.mail@yandex.ru](mailto:dmf.mail@yandex.ru)

**Burtsev Aleksandr Gennad'evich** — Head of the Scientific Research Department of the R&D Department of LLC «Brysnika», [a.burtsev@brusnika.ru](mailto:a.burtsev@brusnika.ru)

**Khrichenkov Aleksey Vladimirovich** — Head of the The R&D Department of LLC «Brysnika», [khrichenkov@brusnika.ru](mailto:khrichenkov@brusnika.ru)

Received 20.03.2025.

Approved after review 06.05.2025.

Accepted for publication 28.11.2025.

---

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

## КОЛИЧЕСТВЕННОЕ ОПРЕДЕЛЕНИЕ ДУБИЛЬНЫХ ВЕЩЕСТВ В ЭКСТРАКТАХ КОРЫ ХВОЙНЫХ ПОРОД ДРЕВЕСИНЫ

Г.Л. Олиференко<sup>1</sup>✉, А.Н. Иванкин<sup>1</sup>, А.В. Устюгов<sup>2</sup>

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

<sup>2</sup>ФГБОУ ВО «МИРЭА — Российский технологический университет» (РТУ МИРЭА), Россия, 119454, г. Москва, Проспект Вернадского, д. 78

oliferenko2@inbox.ru

Представлены материалы изучения условий экстракции дубильных веществ (таннинов) из коры хвойных пород древесины — сосны и ели. Установлены оптимальные условия получения водных экстрактов таннинов, которые рекомендуются для использования в качестве ингибиторов коррозии. Показано, что для достижения наибольшей степени извлечения таннинов из коры водой необходимо придерживаться следующих норм: степень измельчения сырья 3...5 мм, температура 90...95 °С, гидромодуль 1:10, продолжительность экстрагирования 60...90 мин. Разработана методика количественного фотометрического определения таннинов в водных экстрактах коры древесины, основанная на измерении оптической плотности окрашенных продуктов взаимодействия таннинов с хлоридом железа (III). Выполнено исследование указанной цветной реакции таннинов с точки зрения возможности ее использования для количественных фотометрических измерений, в частности, определены оптимальные условия проведения реакции для получения устойчивого во времени продукта реакции, выявлена область длин волн максимального поглощения окрашенного соединения (400...440 нм), установлен диапазон концентраций, для которого зависимость оптической плотности от концентрации таннинов носит линейный характер (от 0,02 до 0,4 мг/мл). Предложена методика, не требующая применения малодоступных реактивов и отличающаяся меньшей трудоемкостью по сравнению с известными гравиметрическим и титриметрическим методами определения таннинов.

**Ключевые слова:** дубильные вещества (таннины), кора древесины, экстракция, количественное определение таннинов

**Ссылка для цитирования:** Олиференко Г.Л., Иванкин А.Н., Устюгов А.В. Количественное определение дубильных веществ в экстрактах коры хвойных пород древесины // Лесной вестник / Forestry Bulletin, 2026. Т. 30. № 1. С. 89–101. DOI: 10.18698/2542-1468-2026-1-89-101

Древесина представляет собой уникальный постоянно возобновляемый источник химического сырья, значение которого в комплексной химической переработке непрерывно возрастает [1, 2].

Экстрактивные методы являются важным направлением переработки биомассы дерева. Они направлены на извлечение из древесины и древесных отходов — коры, хвои и других частей дерева — органических веществ, растворимых в различных растворителях [1, 3, 4]. Экстракция («extractio» — извлечение) — это процесс разделения смеси жидких или твердых веществ с помощью избирательных (селективных) растворителей (экстрагентов) [5].

Особо значимым ресурсом, из которого можно получать целевые продукты, является кора древесины [6, 7]. Утилизация коры имеет

большое экологическое и экономическое значение для предприятий химической переработки древесины. Окорка проводится на целлюлозно-бумажных предприятиях в ходе подготовки сырья. Ежегодные ресурсы коры достигают 15...18 млн м<sup>3</sup>, значительная часть коры не находит сбыта и вывозится из свалки [1, 2].

Экстрактивные вещества коры чрезвычайно разнообразны — это спирты, фенолы, альдегиды, кетоны, карбоновые кислоты, амиды, лактоны, лигнаны, хиноны, производные альфа- и гамма-пирона, воски и жиры, терпены и смоляные кислоты, глюкозиды, флавоноиды, алкалоиды, дубильные вещества, белки и другие органические соединения [6, 8].

Важнейшим компонентом экстрактивных веществ коры являются дубильные вещества (таннины) [8–10]. Таннины — это группа водорастворимых соединений ароматического характера с большим количеством фенольных гидроксильных групп и с молекулярной массой

от 500 до 20 000 дальтон. По общепринятой классификации танины подразделяют на гидролизуемые и конденсированные [1, 8]. Гидролизуемые танины представляют собой сложные эфиры моносахаридов, преимущественно глюкозы, и фенолкарбоновых кислот (галловой, дигалловой, эллаговой и др.). Гидролизуемые танины подразделяют на галлотанины, которые при гидролизе дают галловую кислоту, и эллаготанины, дающие при гидролизе кроме галловой эллаговую кислоту или биогенетически родственные ей кислоты [1, 11]. Конденсированные танины не способны к гидролизу с образованием более простых соединений. К ним относят разнообразные по строению полигидроксифенольные соединения, являющиеся производными флаванолов, флавандиолов-3,4 и гидроксистильбенов [1, 11].

Танины обладают характерными вяжущими свойствами, способны образовывать прочные связи с белками, превращая сырую кожу животных в дубленую. Сущность процесса дубления заключается в образовании прочных водородных связей между фенольными гидроксильными группами дубильных веществ и молекулами белка коллагена [8]. В результате возникает прочная поперечно-связанная структура — кожа, устойчивая к воздействию тепла, влаги, микроорганизмов, ферментов, т. е. не поддающаяся гниению.

Дубильные вещества применяются также в фармацевтической промышленности для изготовления вяжущих составов, способных осаждать алкалоиды, гликозиды и тяжелые металлы, выполняя функцию противоядий, а также в пищевой промышленности — в производстве чая, виноделии, коньячном производстве и т. д. [8].

Помимо этих известных применений экстракты коры древесины, содержащие танины, рекомендуются использовать в качестве природных ингибиторов коррозии стали в различных коррозионных средах [12–19]. Считается, что экстракты танинов образуют защитные пленки на железных и стальных поверхностях и предохраняют металл от коррозии [20].

В качестве объектов исследования обычно используют кору сосны и кору ели, поскольку известно, что по содержанию экстрактивных веществ, растворимых как в воде, так и в органических растворителях, эти хвойные породы значительно превосходят лиственные [6, 8].

В химической технологии переработки древесины используют в основном экстракцию из твердых пористых веществ водой, водными растворами кислот и щелочей (процессы выщелачивания) или органическими растворителями [21].

Экстракция как технологический процесс отличается некоторой сложностью и включает

в себя абсорбцию, диффузию, растворение, десорбцию, в результате чего происходит перенос определенной массы извлекаемого вещества из сырья в раствор. Процесс извлечения из растительного сырья осложняется прежде всего вследствие наличия клеточной оболочки, которая является основным препятствием при проникновении растворителя внутрь клетки и для выхода экстрактивных веществ наружу [22].

В процессе экстракции танинов из сырья с клеточной структурой можно выделить три стадии [22, 23].

*Первая стадия:* пропитывание сухого растительного материала экстрагентом, или капиллярная пропитка. Пропитывание происходит путем проникновения экстрагента в сырье и смачивания веществ, находящихся в сырье, за счет капиллярных сил. По каналам, образованным кусочками измельченного растительного материала, по межклеточным ходам и ультрамикропорам экстрагент проникает внутрь клетки, заполняет клеточное пространство и вытесняет воздух, что имеет очень важное значение, поскольку увеличивается площадь контакта с сырьем.

*Вторая стадия:* растворение компонентов растительной клетки. При проникновении экстрагента в клетку образуется концентрированный раствор растворимых в этом экстрагенте веществ, т. е. первичный сок. Растворение компонентов растительной клетки происходит при проникновении в нее растворителя, который вступает во взаимодействие со всеми компонентами клеточных мембран и клеточного содержимого. В результате такого взаимодействия хорошо растворимые вещества десорбируются и растворяются в экстрагенте, а остальные — набухают или пептизируются. Наибольшее набухание растительного сырья вызывает вода. При использовании в качестве экстрагента спирта степень набухания сырья зависит от концентрации спирта. Чем выше концентрация спирта, тем степень набухания меньше, следовательно, меньше раскрываются поры и труднее происходит процесс экстракции.

*Третья стадия:* переход растворенных веществ в экстрагент. Массообмен — это процесс перехода вещества из одной фазы в другую, а в случае производства экстракционных препаратов — переход вещества из растительного материала в экстрагент, т. е. из твердой фазы в жидкую через пористые клеточные стенки.

По мере увеличения концентрации экстрактивных веществ в жидкой фазе скорость обратного процесса возрастает. В некоторый момент времени наступает состояние динамического равновесия, тогда массообмен прекращается.

Таким образом, переход вещества возможен только из фазы с большей концентрацией в фазу с меньшей концентрацией, т. е. при наличии разности концентраций, которая является основной движущей силой процесса массопередачи.

Процесс экстракции зависит от некоторых факторов, в частности, от степени измельчения сырья (размер частиц), разности концентраций, температуры, вязкости экстрагента, продолжительности экстрагирования и др. Факторов, влияющих на полноту и скорость экстрагирования, довольно много [22, 23].

Диффузионный процесс, основанный на непосредственном контакте экстрагента с содержимым клеток, осложняется наличием слоя, отделяющего действующие вещества клетки от экстрагента, который не содержит ценные вещества (эпидермис, пробка, кора) [21, 22]. Для облегчения диффузионного процесса сырье должно быть измельчено, желателен до минимально возможного размера частиц, что обеспечит значительное увеличение поверхности соприкосновения между частицами сырья и экстрагента.

Согласно закону диффузии, количество извлеченного вещества тем больше, чем обширнее поверхность соприкосновения [22]. Следовало бы добиваться более тонкого измельчения, однако это не всегда оправдано. При чрезмерно тонком измельчении сырье может слеживаться. Кроме того, увеличивается количество разорванных клеток, что влечет за собой вымывание из клеток белков, пектинов и других высокомолекулярных соединений, в результате чего вытяжки получаются мутными. Поэтому необходимо придерживаться оптимальных размеров измельчения крупного сырья. Например, листья, цветы, травы следует измельчать до 3...5 мм, стебли, корни, кору — до 1...3 мм, плоды и семена — до 0,3...0,5 мм [22, 24]. При этом в исходном материале будет сохраняться клеточная структура и будут преобладать диффузионные процессы, экстрагирование замедлится, хотя полученная вытяжка будет содержать меньше механических примесей и легче очищаться.

Поскольку разность концентраций является движущей силой диффузионного процесса, необходимо во время экстракции стремиться к максимальному перепаду концентраций [20, 23]. Достаточно высокую разность концентраций на границе раздела фаз можно поддерживать за счет перемешивания массы, более частой смены экстрагента (например, с помощью ремацерации), проведением противоточного процесса и др.

Процесс экстракции ускоряет повышение температуры [22–26]. Однако в условиях производств подогрев применяют только при экстракции водой. В случае использования в качестве экстрагента спирта или эфира процесс экстракции проводят, как правило, при комнатной и более низкой температуре, так как повышение температуры может привести к увеличению потери экстрагента.

С уменьшением вязкости экстрагента увеличивается коэффициент диффузии, и, следовательно, менее вязкие жидкости способствуют более быстрому экстрагированию [22, 24], поэтому в случае применения вязких экстрагентов, таких как растительные масла, для ускорения процесса экстрагирования используется подогрев.

При увеличении времени экстрагирования количество извлеченных веществ будет повышаться [22]. Однако необходимо стремиться к тому, чтобы полнота извлечения была достигнута в кратчайший срок. Для этого необходимо максимально использовать все факторы, которые обеспечат интенсификацию процесса. Помимо вышеперечисленных факторов, влияющих на полноту и скорость экстрагирования, определенное значение имеют и такие свойства растительного сырья, как пористость и порозность [22]. Пористость сырья — это размер пустот внутри растительной ткани. Чем она выше, тем больше образуется внутреннего сока при набухании. Порозность — это размер пустот между кусочками измельченного материала. От пористости и порозности зависит скорость смачивания и набухания материала. Скорость набухания возрастает при предварительном вакуумировании сырья, а также при повышении давления и температуры.

Для того чтобы обеспечить полноту извлечения действующих веществ и максимальную скорость экстрагирования, экстрагент должен отвечать следующим требованиям [22, 26]:

- растворять максимальное количество целевых веществ и минимальное — балластных веществ;
- быть селективным (избирательным);
- легко проникать (диффундировать) через стенки клетки;
- быть химически индифферентным, т. е. растворитель не должен взаимодействовать с экстрагируемыми веществами;
- быть летучим, иметь низкую температуру кипения;
- быть пожаро- и взрывобезопасным;
- быть доступным, дешевым;
- препятствовать развитию микроорганизмов, грибов, плесени.

Выбор экстрагента зависит от физико-химических свойств извлекаемого вещества, в том числе от степени гидрофильности [22, 26]. Для экстрагирования полярных веществ используют полярные растворители: воду, глицерин; в случае экстракции неполярных веществ — уксусную кислоту, хлороформ, эфир этиловый и другие органические растворители [22, 26]. Идеального растворителя для экстракции растительного сырья, отвечающего всем вышеперечисленным требованиям, пока не существует. Комбинируя известные экстрагенты, можно получать такие растворители, которые будут обеспечивать избирательную экстракцию определенного вещества или комплекса веществ, химическую или физиологическую индифферентность, пожаробезопасность, стабильность, устойчивость к микрофлоре и другие свойства.

При изучении сложных процессов, происходящих при получении растительных экстрактов, необходимо применение методов химического анализа (химико-аналитический контроль). Химический анализ древесины и продуктов переработки древесного сырья, как известно, является важнейшей областью исследований в связи с проблемой утилизации биомассы дерева [21].

Вследствие сложной природы таннинов, выделяемых из растительных источников, достаточно совершенные методы их количественного определения отсутствуют [21]. Как вещества фенольной природы дубильные вещества (таннины) легко окисляются перманганатом калия в кислой среде и другими окислителями, образуют окрашенные комплексы с солями тяжелых металлов, трехвалентного железа, с бромной водой.

Известны различные методы количественного определения дубильных веществ, которые подразделяются на несколько основных групп: гравиметрические, титриметрические, физико-химические (фотометрические, хроматографические), спектроскопии комбинационного рассеяния [27–31].

**Гравиметрические методы** основаны на количественном осаждении дубильных веществ желатином, ионами тяжелых металлов или адсорбцией кожным (гольевым) порошком.

Для технических целей во всем мире стандартным является гравиметрический метод с применением гольевого порошка — весовой единый метод (ВЕМ) [32]. В его основу заложено свойство таннинов адсорбироваться хромовым кожным порошком или гольевым порошком. Гольевой порошок готовят из голья — шкур животных, прошедших обработку по удалению волосяного покрова, эпидермиса,

мездры (подкожной клетчатки) и посторонних веществ.

Следует отметить, что метод определения таннинов с помощью кожного или гольевого порошка обладает существенными недостатками по причине трудоемкости. Кроме того, он недостаточно точен, поскольку кожный порошок может частично адсорбировать полисахариды, полиурониды и низкомолекулярные фенольные соединения.

Надежность метода с применением гольевого порошка становится тем меньше, чем больше снижается количество определяемого вещества [20]. Производство гольевого порошка в настоящее время в России прекращено [33].

Выдвинуты рекомендации по замене кожного порошка синтетическим адсорбентом — полиамидным порошком, например поликапрамидом [21]. Полагают, что метод определения содержания таннинов с синтетическим адсорбентом более точен [20]. Показана возможность замены гольевого порошка на коллаген при определении таннинов по ВЕМ [33].

Гравиметрический метод определения конденсированных таннинов с формальдегидом основан на реакции их конденсации с формальдегидом в кислой среде [20, 21]. Фенолы гидролизуются таннинов типа пирокатехина и пирогаллола в эту реакцию не вступают. Поскольку в процесс кислотной конденсации с формальдегидом наряду с конденсированными таннинами также вступают фенолы типа флороглюцина или резорцина, получаются завышенные результаты анализа, которые фактически являются мерой общего содержания многоатомных фенолов [20].

**Титриметрические методы** основаны на способности таннинов вступать в реакции окисления, осаждения и комплексообразования. Классическим титриметрическим методом является окислительно-восстановительное титрование пробы растительного экстракта водным раствором перманганата калия с использованием в качестве индикатора индигосульфокислоты [21, 27, 34]. При этом происходит окисление фенольных гидроксильных групп таннинов. Однако данный метод весьма неспецифичен, так как способствует окислению всех соединений фенольной природы, содержащихся в растении и не имеющих отношения к группе дубильных веществ, и дает завышенные результаты [21].

**Желатиновый метод** основан на способности дубильных веществ образовывать нерастворимые комплексы с белками. Сущность метода заключается в титровании дубильных экстрактов водным раствором желатина определенной

концентрации [33]. При этом в осадок выпадают желатинотаннаты. Водные извлечения из сырья титруют 1%-м раствором желатина, в точке эквивалентности комплексы — желатинотаннаты — растворяются в избытке реактива. Титр устанавливают по чистому таннину. Точку эквивалентности определяют путем отбора наименьшего объема титрованного раствора, вызывающего полное осаждение дубильных веществ. Метод наиболее точный, поскольку позволяет определить количество истинных дубильных веществ, тем не менее у него имеются такие недостатки, как длительность определения и трудность установления точки эквивалентности.

Широкое распространение получило комплексонометрическое титрование [27]. В данном методе дубильные вещества осаждают с использованием 0,1 М раствора сульфата цинка в аммиачном буферном растворе, осадок количественно переносят в колбу для титрования, растворяют в 30%-й уксусной кислоте. Затем в полученный раствор вносят 5%-й гидрокарбонат натрия и 1%-й ксиленоловый оранжевый в качестве индикатора. Полученную смесь оттитровывают 0,01 М раствором комплексона-III до появления лимонно-желтого окрашивания.

**Физико-химические методы.** В производственном контроле продолжительность анализа имеет важное значение. Повышения экспрессности определений можно достигнуть при использовании физико-химических методов анализа, в которых наблюдают за изменениями физических свойств анализируемой системы, происходящих в результате химической реакции с помощью приборов.

В частности, благодаря наличию в структуре таннинов бензольных колец и сильных хромофоров их можно определять с помощью спектрофотометрических и фотоколориметрических методов, основанных на измерении поглощения электромагнитного излучения оптического диапазона длин волн [27, 35].

В спектрофотометрическом методе проводят измерение УФ-поглощения водно-спиртовых растворов таннинов при длинах волн 280 и 203 нм [21, 27, 36].

Фотоколориметрический метод анализа основан на поглощении полихроматического (немонохроматического) излучения, т. е. пучка лучей с близкими длинами волны в видимой области спектра. Фотоколориметрию используют для анализа окрашенных растворов [35].

Водные растворы таннинов имеют светло-желтую окраску, что позволяет проводить прямое определение таннинов в экстрактах

фотоколориметрическим методом, в данном случае, основанном на измерении оптической плотности экстракта при длине волны 400 нм [21]. Фотоколориметрический метод прямого определения таннинов является наиболее быстрым, однако дает завышенные результаты, так как анализируемые экстракты содержат красители.

Фотоколориметрический метод, основанный на образовании таннинами желтого окрашивания с водным раствором молибденовокислого аммония, используется для определения таннинов в винах, производимых из растительных материалов [31].

Для определения дубильных веществ фотоколориметрическим методом также широко используют реактивы Фолина, Фолина — Денека и Фолина — Чокальто и их различные модификации [27, 31]. Определение основано на измерении интенсивности поглощения образующихся комплексных соединений синего цвета в среде насыщенного карбоната натрия. К недостаткам этих методов следует отнести неустойчивость окраски комплексов во времени и невысокую точность.

Известны фотоколориметрические методы определения дубильных веществ, основанные на их способности образовывать окрашенные соединения с солями железа (III), фосфорно-вольфрамовой кислотой [37–39].

Предложен фотоколориметрический метод определения дубильных веществ, в основе которого лежит измерение оптической плотности окрашенных продуктов взаимодействия таннинов с железом-тарtratным реактивом в присутствии фосфатного буфера с pH = 8,2. Максимум светопоглощения раствора окрашенного соединения наблюдается при длине волны 545 нм [40–41].

В хроматографических методах для разделения и определения таннинов чаще всего используют колонки, наполненные поликапрамидом или другими адсорбентами с последующим элюированием, а также методы тонкослойной или бумажной хроматографии [21].

Популярностью пользуется метод высокоэффективной жидкостной хроматографии (ВЭЖХ), который позволяет за достаточно короткое время выявить наличие большого количества вторичных метаболитов растительного сырья и определить их природу. Метод ВЭЖХ обладает высокой воспроизводимостью [42–44].

В рутинном анализе таннинов используется жидкостная хроматография со спектрофотометрическим детектором с диодной матрицей, а также с масс-спектрометрическим детектором [27].

Хроматографические методы отличаются длительностью, трудоемкостью, при их использовании часто требуется применение малодоступных реагентов. Современные хроматографические методы предусматривают применение дорогостоящей аппаратуры.

Метод спектроскопии комбинационного рассеяния или рамановская спектроскопия [27]. Рамановская спектроскопия является инновационным неdestructивным методом, перспективы использования которого еще мало изучены. Данный метод позволяет проводить исследования в образцах различной природы, в том числе анализ извлечений из растительного сырья. Таким образом, был установлен состав полифенольных соединений экстракта коры сосны при создании двухкомпонентной грунтовки на основе эпоксиполиамидной смолы. Наиболее информативным оказалось исследование данным методом образования комплексов железа (III) и таннинов [45]. Вследствие возможности идентификации железо-таннатных комплексов метод спектроскопии комбинационного рассеяния широко используется в целях исследования антикоррозийного эффекта дубильных веществ природного и синтетического происхождения [46]. В работах [45, 46] приведены данные о том, что 1%-е растворы дубильных веществ ускоряют процесс коррозии металла за счет разложения с выделением в водную среду свободных кислот, а также за счет низкого сродства ионов железа к малой концентрации молекул таннинов в среде. А 3%-е и 5%-е растворы таннинов, напротив, оказывают ингибирующее влияние на коррозионные процессы благодаря образованию таннатов железа, выступающих в качестве электроизоляторов [45, 46].

## Цель работы

Цель работы — установление оптимальных условий экстракции таннинов из коры хвойных пород древесины и разработка методики количественного определения таннинов в получаемых экстрактах.

## Материалы и методы

**Изучение экстракции таннинов из древесных отходов (коры древесины).** В качестве объектов исследования использовали кору сосны и кору ели. При подборе оптимальных условий экстракции дубильных веществ из коры сосны и коры ели изучали следующие факторы:

- 1) тип экстрагента;
- 2) степень измельчения сырья;
- 3) условия нагревания;

- 4) продолжительность экстрагирования;
- 5) соотношение масс сырья и экстрагента (гидромодуль);
- 6) кратность экстракции.

1. Анализ литературных источников показал, что основными экстрагентами из растительного сырья для таннинов являются вода, водно-ацетоновые, водно-этанольные или водно-метанольные смеси [27, 40]. Выбор растворителя в конкретном случае зависит от вида сырья. Отмечено [24], что наиболее полное извлечение из растительного сырья дубильных веществ происходит при использовании в качестве экстрагента воды. В частности, при использовании в качестве экстрагента водно-этанольных смесей (20...96 % этанола) степень извлечения таннинов из сырья снижается [1].

Считали целесообразным использовать в качестве экстрагента воду, что обусловлено высоким содержанием в коре веществ, экстрагируемых водой [8, 21]. Также нами было установлено, что добавление этанола к экстрактам снижало их устойчивость при хранении, что нежелательно при их использовании, например, в качестве ингибиторов коррозии.

2. Одним из факторов, ускоряющих экстрагирование, является измельчение сырья, так как при этом увеличивается поверхность раздела фаз. Для приготовления экстрактов кору сушили и измельчали до размеров частиц 3...5 мм. Установлено, что при данной степени измельчения выделение таннинов при экстрагировании является максимальным. Следует иметь в виду, что слой мелких частиц может стать довольно плотным, что ухудшает контакт частиц с окружающей жидкостью [23].

3. При изучении оптимальной температуры экстракции использовали следующие режимы обработки образцов коры водой: при комнатной температуре (25 °С), нагревание при 90...95 °С, нагревание на кипящей водяной бане с обратным холодильником. Показано, что лучше всего таннины извлекаются из образцов коры при нагревании их с экстрагентом ниже температуры кипения воды, т. е. при 90...95 °С. Предполагается, что при более высокой температуре танины начинают разрушаться [12].

4. Для выявления оптимального времени экстракции проводили извлечение таннинов из коры в течение 15, 30, 45, 60, 90, 120 мин. Установлено, что для наиболее полного извлечения дубильных веществ из коры древесины целесообразно использовать экстракцию в течение 60...90 мин. Уменьшение содержания таннинов в экстрактах при длительном экстрагировании можно объяснить тем, что они могут обратно адсорбироваться в кору [1].

5. При выборе соотношения масс сырья и экстрагента (гидромодуль) изучали следующие варианты: 1:10, 1:20, 1:50, 3:20. Установлено, что оптимальное извлечение дубильных веществ при температуре 90...95 °С достигается для гидромодуля 1:10. Дальнейшее увеличение массы сырья по отношению к массе реагента не представляется целесообразным вследствие понижения эффективности экстрагирования. Одна из причин этого заключается в снижении разности концентраций на границе раздела фаз, которая является основной движущей силой процесса массопередачи при проведении экстракции.

6. Проведено изучение полноты извлечения дубильных веществ из коры в зависимости от кратности экстракции. Учитывались ранее определенные факторы: экстрагент — вода, измельчение частиц до размеров 3...5 мм, нагревание на водяной бане при 90...95 °С с обратным холодильником, время нагревания 60...90 мин, гидромодуль 1:10. Экспериментально установлено, что наиболее полное извлечение таннинов из коры происходит при трехкратной экстракции.

**Методика приготовления водного экстракта коры древесины.** В результате изучения оптимальных условий получения водных экстрактов таннинов из коры ели и коры сосны предложена следующая методика экстрагирования.

Навеску воздушно-сухой измельченной коры массой 5...10 г помещали в коническую колбу вместимостью 500 мл и добавляли 50...100 мл дистиллированной воды. Колбу устанавливали в водяную баню и нагревали с обратным холодильником при 90...95 °С на электрической плитке в течение 60...90 мин, не доводя до кипения. После отстаивания и охлаждения содержимого колбы водный экстракт отфильтровывали через плотный бумажный фильтр «синяя лента».

**Разработка методики количественного фотоколориметрического определения таннинов в водных экстрактах коры древесины.** При изучении сложных процессов, происходящих при получении растительных экстрактов, необходимо применять методы химического анализа (химико-аналитический контроль).

В настоящей работе исследована возможность фотометрического определения суммы полифенолов (таннинов) по известной реакции фенольных гидроксильных групп с хлоридом железа (III). Реакция достаточно специфична, так как примеси нефенольной природы в данную реакцию не вступают.

Была изучена цветная реакция таннинов с раствором хлорида железа (III) и установлены

оптимальные условия ее проведения: кислотность среды, необходимое количество добавляемого избытка реагента для образования устойчивого во времени цветного продукта реакции.

Стандартный раствор таннина готовили растворением навески 0,2 г лабораторного реактива в дистиллированной воде в мерной колбе вместимостью 100 мл. Раствор содержал 2 мг/мл таннина. Для приготовления раствора хлорида железа (III) 12 г гексагидрата хлорида железа (III)  $\text{FeCl}_3 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$  растворяли в 25 мл 1М HCl и переносили раствор в мерную колбу вместимостью 250 мл. Раствор в колбе доводили до метки дистиллированной водой, перемешивали. Концентрация полученного раствора составляла 0,5 н.  $\text{FeCl}_3$  для реакций обмена. Установлено, что устойчивые во времени продукты реакции таннина с хлоридом железа (III), имеющие желто-зеленую окраску, образуются при добавлении к раствору таннина 25-кратного по массе избытка реагента.

Изучение спектра поглощения комплексного соединения таннина с хлоридом железа (III) показало, что максимальное поглощение раствора окрашенного соединения наблюдается в области длин волн  $\lambda = 400...440$  нм. Установлено, что для данного диапазона длин волн основной закон светопоглощения (закон Бугера — Ламберта — Бера) выполняется в интервале концентраций таннина от 0,02 до 0,4 мг/мл, а зависимость между оптической плотностью раствора и концентрацией таннина носит линейный характер. Полученные результаты позволили использовать предложенный метод для количественного определения таннинов в водных экстрактах коры древесины.

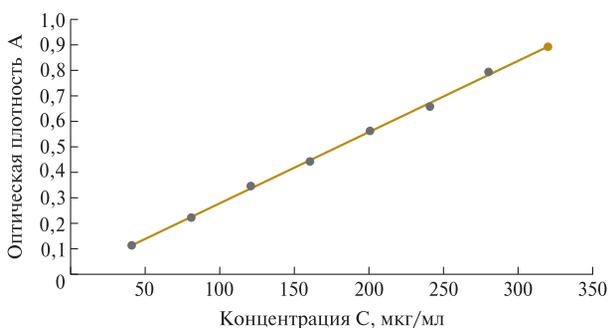
**Методика анализа исследуемого раствора экстракта.** Для построения градуировочного графика готовили стандартные эталонные растворы, содержащие 40, 80, 120, 160, 200, 240, 280, 320 и 400 мкг/мл таннина. Для этого в мерные пробирки вместимостью 10 мл помещали последовательно 0,2; 0,4; 0,6; 0,8; 1,0; 1,2; 1,4; 1,6; 2,0 мл стандартного раствора таннина, добавляли по 2 мл 0,5 н. раствора хлорида железа (III) и дистиллированную воду до общего объема 10 мл. Полученные растворы тщательно перемешивали и последовательно измеряли поглощение всех эталонных растворов, устанавливая их оптическую плотность с использованием в качестве раствора сравнения холостую пробу, приготовленную путем разбавления 2 мл 0,5 н. раствора хлорида железа (III) дистиллированной водой до 10 мл. Измерения проводились в кюветах с толщиной поглощающего слоя 1 см при длине волны  $\lambda = 440$  нм на фотоэлектроколориметре КФК-2МП (табл. 1).

Т а б л и ц а 1

**Зависимость оптической плотности (А) растворов окрашенного соединения таннина с железом (III) от концентрации таннина**

**Dependence of the optical density of solutions (A) of colored tannin compound with iron (III) on the concentration of tannin**

Концентрация таннина С, мкг/мл	Оптическая плотность А, б. н.
40	0,112
80	0,220
120	0,345
160	0,443
200	0,562
240	0,660
280	0,795
320	0,890



Градуировочный график для фотоколориметрического определения содержания таннина  
Calibration graph for photocolorimetric determination of tannin content measurement

По полученным данным строили градуировочный график в координатах: концентрация таннина С, мкг/мл, — оптическая плотность А (рисунок).

Для проведения анализа водного экстракта коры на содержание таннина пипеткой отбирали пробу объемом 0,5...1,0 мл, помещали в мерную пробирку вместимостью 10 мл, добавляли 2 мл 0,5 н. раствора хлорида железа (III) и дистиллированную воду до общего объема 10 мл. Полученный раствор хорошо перемешивали, помещали в кварцевую кювету с толщиной поглощающего слоя 10 мм и измеряли оптическую плотность на фотоэлектрическом колориметре КФК-2МП при длине волны  $\lambda = 440$  нм, с использованием в качестве раствора сравнения холостой пробы, приготовленной разбавлением 2 мл 0,5 н. раствора хлорида железа (III) до 10 мл дистиллированной водой. Пользуясь

Т а б л и ц а 2

**Результаты определения содержания таннинов в водных экстрактах коры сосны**  
**Tannin content measurement in aqueous pine bark extracts**

Номер образца	Время экстракции, мин	Соотношение сырья и экстрагента	Содержание таннинов, мг/мл
1	60	1:50	0,32
2	120	1:50	0,40
3	60	1:20	0,69
4	120	1:20	0,88
5	60	1:10	1,58
6	120	1:10	1,47

Т а б л и ц а 3

**Результаты определения содержания таннинов в водных экстрактах коры ели**  
**Tannin content measurement in aqueous spruce bark extracts**

Номер образца	Время экстракции, мин	Соотношение сырья и экстрагента	Содержание таннинов, мг/мл
1	30	1:50	0,20
2	60	1:50	0,65
3	120	1:50	0,49
4	30	1:20	1,21
5	60	1:20	0,90
6	90	1:20	1,16
7	120	1:20	1,48
8	30	1:10	2,32
9	60	1:10	2,40
10	90	1:10	2,52
11	120	1:10	2,38

градуировочным графиком, установили концентрацию таннина в анализируемом растворе. В случае высокого содержания таннинов экстракт необходимо разбавлять для обеспечения линейности выполнения закона поглощения. В табл. 2 и табл. 3 приведены данные по анализу экстрактов.

Полученные экспериментальные данные указывают на возможность применения разработанного фотоколориметрического метода анализа для установления количественного содержания дубильных веществ в экстрактах коры хвойных древесных пород.

## Выводы

1. Проведенными исследованиями были изучены условия экстракции дубильных веществ из коры хвойных пород древесины (сосны и ели)

и подобраны оптимальные условия экстракции таннинов из данного сырья.

2. Разработана методика количественного фотоколориметрического определения дубильных веществ в водных экстрактах коры, основанная на измерении оптической плотности окрашенных продуктов взаимодействия таннинов с хлоридом железа (III).

3. По сравнению с известными гравиметрическим и титриметрическим методами определения таннинов предложенная методика не требует применения малодоступных реактивов, отличается малой трудоемкостью и экспрессностью.

## Список литературы

- [1] Ковернинский И.Н., Комаров В.И., Третьяков С.И., Богданович Н.И., Соколов О.М., Кутакова Н.А., Селянина Л.И. Комплексная химическая переработка древесины: учебник для вузов / под ред. И.Н. Ковернинского. Архангельск: Изд-во Архангельского государственного технического университета, 2002. 347 с.
- [2] Тарасов С.М., Кононов Г.Н. Комплексная химическая переработка древесины. М.: МГУЛ, 2016. 122 с.
- [3] Тюлькова Ю.А., Рязанова Т.В., Еременко О.Н., Тарченко Т.М. Экстрактивные вещества водно-щелочного экстракта коры сосны // Хвойные бореальной зоны, 2013. Т. 31. № 3–4. С. 101–104.
- [4] Бабкин В.А. Экстрактивные вещества древесины лиственницы: химический состав, биологическая активность, перспективы практического использования // Инноватика и экспертиза, 2017. Вып. 2(20). С. 210–224.
- [5] Петров Б. И., Леснов А. Е. Современное состояние экстракционного метода: учебное пособие. СПб.: Лань, 2022. 356 с.
- [6] Кузнецов Б.Н., Левданский В.А., Кузнецова С.А. Химические продукты из древесной коры: монография. Красноярск: Изд-во Сибирского федерального университета, 2012. 260 с.
- [7] Бутылкина А.И., Левданский В.А., Кузнецов Б.Н. Изучение состава экстрактивных веществ, выделенных из коры сосны различными методами // Химия растительного сырья, 2011. № 2. С. 77–82.
- [8] Кононов Г.Н. Дендрохимия. Химия, нанохимия и биогеохимия компонентов клеток, тканей и органов древесных растений. М.: МГУЛ, 2015. Т. 1. 484 с., Т. 2. 627 с.
- [9] Кононов Г.Н. Химия древесины и ее основных компонентов: М.: МГУЛ, 2002. 259 с.
- [10] Тюлькова Ю.А. Переработка коры сосны с получением дубильных экстрактов: дис. ... канд. техн. наук. Красноярск, 2013. 133 с.
- [11] Полухина Т.С. Дубильные вещества: лекция. Астрахань: Изд-во Астраханского государственного медицинского университета Минздрава России, 2020. 29 с.
- [12] Кузьмина И.Е. Разработка рецептуры преобразователя ржавчины на основе экстракта коры лиственницы: магистерская дис. Северо-Восточный федеральный университет имени М.К. Аммосова. Институт естественных наук. Якутск, 2019. 64 с.
- [13] Грибанова А.К., Олиференко Г.Л., Вагапов Р.К., Стрельникова К.О. Исследование ингибирующих свойств растительного экстракта в нейтральных средах // Актуальные вопросы электрохимии, защиты от коррозии и экологии: Тр. III Междунар. науч.-практ. конф. Тамбов, 18–20 окт. 2023 г. Тамбов: Изд-во Тамбовского государственного технического университета, 2023. С. 350–354.
- [14] Yadav M., Goel G., Hatton F.L., Bhagat M., Mehta S.K., Mishra R.K., Bhojak N. A review on biomass-derived materials and their applications as corrosion inhibitors, catalysts, food and drug delivery agents // Current Research in Green and Sustainable Chemistry, 2021, v. 4, p. 100153. <https://doi.org/10.1016/j.crgsc.2021.100153>.
- [15] Nav T.Z., Pumpel T., Bosch D., Bockreis A. Insight into the application of biochars produced from wood residues for removing different fractions of dissolved organic material (DOM) from bio-treated wastewater // Environmental Technology & Innovation, 2023, v. 32, no. 11, p. 103271. <https://doi.org/10.1016/j.eti.2023.103271>.
- [16] Савченко О.Н., Сизая О.И., Челябинева В.Н., Максименко А.А. Экстракты растительного сырья в ингибиторной защите стали // Физикохимия поверхности и защита материалов, 2018. Т. 54. № 3. С. 319–324.
- [17] Грибанова А.К., Вагапов Р.К., Олиференко Г.Л., Сравнительное исследование эффективности природного и промышленных ингибиторов в условиях углекислотной коррозии // Коррозия: защита, материалы, 2024. № 16. С. 14–20.
- [18] Вагапов Р.К., Олиференко Г.Л., Грибанова А.К. Исследование состава и защитных свойств ингибитора коррозии растительного происхождения // Защита окружающей среды в нефтегазовом комплексе, 2024. № 3. С. 24–29.
- [19] Ivankin A.N., Oliferenko G.L. Corrosion inhibition with green polymer systems and natural compounds // Polymer Science, Series D, 2024, v. 17, no. 4, pp. 987–994. DOI: 10.1134/S1995421224701697
- [20] Экстрактивные вещества древесины и значение их в целлюлозно-бумажном производстве / под ред. В.Е. Хиллиса. М.: Лесная пром-сть, 1965. 487 с.
- [21] Оболенская А.В., Ельницкая З.П., Леонович А.А. Лабораторные работы по химии древесины и целлюлозы. М.: Экология, 1991. 320 с.
- [22] Леонова М.В., Климочкин Ю.Н. Экстракционные методы изготовления лекарственных средств из растительного сырья. Самара: Изд-во Самарского государственного технического университета, 2012. 111 с.
- [23] Струпан Е.А., Колодяжная В.С., Струпан О.А. Технология получения экстрактов из дикорастущего растительного сырья, широко применяемого в пищевой промышленности и фитотерапии // Вестник КрасГАУ, 2012. № 8. С. 199–205.
- [24] Новиченко О.В. Получение биологически активных веществ высших водных растений Волго-Каспийского бассейна на примере *Potamogeton perfoliatus* L. и *Zostera noltii*: состав, свойства и перспективы применения: дисс. ... канд. техн. наук: 05.18.07. Астрахань, 2016. 171 с.
- [25] Дубашинская Н.В., Хишова О.М., Шимко О.М. Характеристика способов получения экстрактов и их стандартизация // Вестник фармации, 2007. № 2 (36). С. 1–10.

- [26] Фарманова Н.Т., Нуруллаева Д.Х., Жохова Е.В., Лукашов Р.И., Повыдыш М.Н. Технология получения растительных экстрактов из растительных сборов // Химия растительного сырья, 2023. № 3. С. 303–310.
- [27] Орлова А.А., Повыдыш М.Н. Обзор методов качественного и количественного анализа танинов в растительном сырье // Химия растительного сырья, 2019. № 4. С. 29–45.
- [28] Мальцева А.А., Чистякова А.С., Сорокина А.А., Сливкин А.И., Ткачева А.С., Карлов П.М. Количественное определение дубильных веществ в траве горца почечуйного // Вестник Воронежского государственного университета, Серия: Химия. Биология. Фармация, 2013. № 2. С. 203–205.
- [29] Иванов В.В., Денисенко О.Н. Количественное определение дубильных веществ в траве горца сахалинского, интродуцированного в условиях кавказских минеральных вод, различными аналитическими методами // Современные проблемы науки и образования, 2014. № 6. С. 45–50.
- [30] Рябинина Е.И., Зотова Е.Е., Ветрова Е.Н. Сравнение химико-аналитических методов определения танидов и оксидантной активности растительного сырья // Аналитика и контроль, 2011. № 2 (15). С. 202–208.
- [31] Тринеева О.В., Сливкин А.И. Применение различных методов при определении дубильных веществ в листьях крапивы // Фармация, 2014. № 1 (8). С. 16–20.
- [32] ГОСТ 28508–90. Экстракты дубильные растительные. Методы определения. М.: Стандартинформ, 2005. 15 с.
- [33] Тюлькова Ю.А., Рязанова Т.В., Еременко О.Н. Модификация всесоюзного метода для определения дубящих веществ в экстрактах коры хвойных // J. of Siberian Federal University. Chemistry, 2014, v. 2, no. 7, pp. 298–305.
- [34] Государственная фармакопея. 13-е изд. М.: Медицина, 2015. 1004 с.
- [35] Иванкин А.Н., Олиференко Г.Л., Куликовский А.В. Аналитическая химия. М.: КНОРУС, 2021. 300 с.
- [36] Казанцева И.Л. К вопросу определения дубильных веществ в спиртосодержащих жидкостях // Теория и практика судебной экспертизы, 2018. Т. 13. № 1. С. 65–70.
- [37] Гринько Е.Н. Требования российской и европейской фармакопеи к методикам определения содержания дубильных веществ в лекарственном растительном сырье // Фармация, 2010. № 5. С. 49–53.
- [38] Остроухова Л.А., Федорова Т.Е., Онучина Н.А., Левчук А.А., Бабкин В.А. Определение количественного содержания экстрактивных веществ из древесины, корней и коры деревьев хвойных видов Сибири: лиственницы (*Larix sibirica* L.), сосны (*Pinus sylvestris* L.), пихты (*Abies sibirica* L.), ели (*Picea obovata* L.) и кедр (*Pinus sibirica* Du Tour.) // Химия растительного сырья, 2018. № 4. С. 185–195.
- [39] Тринеева О.В., Сливкин А.И. Разработка методики определения танина и галловой кислоты при совместном присутствии в лекарственном растительном сырье // Химико-фармацевтический журнал, 2019. Т. 53. № 4. С. 58–64.
- [40] Данилова Н.А., Попов Д.М. Количественное определение дубильных веществ в корнях щавеля конского методом спектрофотометрии в сравнении с методом перманганатометрии // Вестник Воронежского государственного университета, Серия: Химия, Биология, Фармация, 2004. № 2. С. 179–182.
- [41] Ивкина О.А., Коган Е.Г., Стрельчева К.А., Киселева А.Н. Количественное определение дубильных веществ в успокоительном сборе № 2 // Смоленский медицинский альманах, 2016. № 1. С. 112–115.
- [42] Попов И.В., Андреева И.Н., Гаврилин М.В. Определение танина в сырье и препаратах кровохлебки лекарственной методом ВЭЖХ // Химико-фармацевтический журнал, 2003. Т. 37. № 7. С. 24–26.
- [43] Шелехова Н.В., Шелехова Т.М. Исследование этанольного экстракта древесины дуба методами капиллярного электрофореза, газовой хроматографии, хромато-масс-спектрометрии // Сорбционные и хроматографические процессы, 2021. Т. 21. № 6. С. 868–878.
- [44] Заякин В.В., Лякишев Д.К. Совместное определение хлорогеновой кислоты и танина методом эффективной жидкостной хроматографии // Ученые записки Брянского государственного университета, 2024 (1). С. 48–51.
- [45] Montoya L.F., Contreras D., Jaramillo A.F., Carrasco C., Fernández K., Schwederski B., Rojas D., Melendrez M.F. Study of anticorrosive coatings based on high and low molecular weight polyphenols extracted from the *Pine radiata* bark // Progress in Organic Coating, 2019, no 127, pp. 100–109. DOI:10.1016/j.porgcoat.2018.11.010
- [46] Xua W., Hana E.-H., Wang Z. Effect of tannic acid on corrosion behavior of carbon steel in NaCl solution // J. of Materials Science & Technology, 2018, no 35, pp. 64–75. DOI:10.1016/j.jmst.2018.09.001

## Сведения об авторах

**Олиференко Галина Львовна** <sup>✉</sup> — канд. хим. наук, доцент, ФГАОУ ВО «Московский государственный технический университет имени Н.Э. Баумана (национальный исследовательский университет)» (Мытищинский филиал), [oliferenko2@inbox.ru](mailto:oliferenko2@inbox.ru)

**Иванкин Андрей Николаевич** — д-р хим. наук, профессор, ФГАОУ ВО «Московский государственный технический университет имени Н.Э. Баумана (национальный исследовательский университет)» (Мытищинский филиал), [aivankin@mgul.ac.ru](mailto:aivankin@mgul.ac.ru)

**Устюгов Александр Викторович** — канд. хим. наук, доцент, ФГБОУ ВО «МИРЭА — Российский технологический университет» (РТУ МИРЭА), [ustyugov.alexandr@mail.ru](mailto:ustyugov.alexandr@mail.ru)

Поступила в редакцию 21.05.2025

Одобрено после рецензирования 25.11.2025

Принята к публикации 01.12.2025

## EVALUATION OF TANNINS IN SOFTWOOD BARK EXTRACTS

G.L. Oliferenko<sup>1✉</sup>, A.N. Ivankin<sup>1</sup>, A.V. Ustyugov<sup>2</sup>

<sup>1</sup>BMSTU (Mytishchi branch), 1, 1st Institutskaya st., 141005, Mytishchi, Moscow reg., Russia

<sup>2</sup>MIREA – Russian Technological University (RTU MIREA), 78, Vernadsky av., 119454, Moscow, Russia

oliferenko2@inbox.ru

The data on the tannin extraction from the bark of coniferous wood species (pine bark and spruce bark) is presented. Optimal conditions for the production of aqueous tannin extracts from pine bark and spruce bark, which are recommended for use as corrosion inhibitors, have been identified. It is shown that in order to achieve the highest degree of tannin extraction from the bark by means of water, the following factors must be observed, they are the degree of grinding of raw materials is to be 3...5 mm, the temperature is to be 90...95 °C, the hydraulic module is to be 1:10, the extraction time is to be 60...90 minutes. We developed a technique for the quantitative photometric measurement of tannins in aqueous extracts of wood bark based on measuring the optical density of colored products of the tannin interaction with ferric (III) chloride. The specified color reaction of tannins has been studied from the point of view of the possibility of using it for quantitative photometric measurements, namely optimal conditions for its implementation have been determined to obtain a time-stable reaction product; the wavelength range of the maximum absorption of the colored compound (400...440 nm) has been identified; the concentration range for which the dependence of optical density on the concentration of tannins is linear (from 0,02 to 0,4 mg/ml). Compared with the known gravimetric and titrimetric methods for evaluation of tannins, the proposed method does not require the use of poorly available reagents and is less laborious.

**Keywords:** tannins, wood bark, extraction, quantitative determination of tannins

**Suggested citation:** Oliferenko G.L., Ivankin A.N., Ustyugov A.V. *Kolichestvennoe opredelenie dubil'nykh veshchestv v ekstraktakh kory khvoynykh porod drevesiny* [Evaluation of tannins in softwood bark extracts]. *Lesnoy vestnik / Forestry Bulletin*, 2026, vol. 30, no. 1, pp. 89–101.  
DOI: 10.18698/2542-1468-2026-1-89-101

### References

- [1] Koverninsky I.N., Komarov V.I., Tretyakov S.I., Bogdanovich N.I., Sokolov O.M., Kutakova N.A., Selyanina L.I. *Kompleksnaya khimicheskaya pererabotka drevesiny* [Complex chemical processing of wood: a textbook for universities]. Ed. I.N. Koverninsky. Arkhangelsk: Arkhangelsk State Technical University Publ., 2002, 347 p.
- [2] Tarasov S.M., Kononov G.N. *Kompleksnaya khimicheskaya pererabotka drevesiny* [Complex chemical processing of wood: educational and methodical the manual]. Moscow: MGUL, 2016, 122 p.
- [3] Tyulkova Yu.A., Ryazanova T.V., Eremenko O.N., Tarchenkova T.M. *Ekstraktivnye veshchestva vodno-shchelochnogo ekstrakta kory sosny* [Extractive substances of water-alkaline extract of pine bark]. *Khvoynye boreal'noy zony* [Conifers of the boreal zone], 2013, v. 31, no. 3–4, pp. 101–104.
- [4] Babkin V.A. *Ekstraktivnye veshchestva vodno-shchelochnogo ekstrakta kory sosny* [Extractive substances of larch wood: chemical composition, biological activity, prospects of practical use]. *Innovatika i ekspertiza* [Innovation and expertise], 2017, no. 2(20), pp. 210–224.
- [5] Petrov B.I., Lesnov A.E. *Sovremennoe sostoyanie ekstraktsionnogo metoda* [The current state of the extraction method]. Saint Petersburg: Lan', 2022, 356 p.
- [6] Kuznetsov B.N., Levdansky V.A., Kuznetsova S.A. *Khimicheskie produkty iz drevesnoy kory* [Chemical products from tree bark]. Krasnoyarsk: Sibirskiy federal'nyy un-t [Siberian Federal University], 2012, 260 p.
- [7] Bottles A.I., Levdansky V.A., Kuznetsov B.N. *Izuchenie sostava ekstraktivnykh veshchestv, vydelennykh iz kory sosny razlichnymi metodami* [Study of the composition of extractive substances isolated from pine bark by various methods]. *Khimiya rastitel'nogo syr'ya* [Chemistry of plant raw materials], 2011, no. 2, pp. 77–82.
- [8] Kononov G.N. *Dendrokhimiya. Khimiya, nanokhimiya i biogeokhimiya komponentov kletok, tkaney i organov drevesnykh rasteniy* [Chemistry, nanochemistry and biogeochemistry of components of cells, tissues and organs of woody plants]. Moscow: MGUL, 2015, vol. 1. 484 p., vol. 2. 627 p.
- [9] Kononov G.N. *Khimiya drevesiny i ee osnovnykh komponentov* [Chemistry of wood and its main components: a textbook for students]. Moscow: MGUL, 2002, 259 p.
- [10] Tyulkova Yu.A. *Pererabotka kory sosny s polucheniem dubil'nykh ekstraktov* [Processing of pine bark to obtain tannic extracts]. Dis. Cand. Sci. (Tech.). Krasnoyarsk, 2013, 133 p.
- [11] Polukhina T.S. *Dubil'nye veshchestva: lektsiya* [Tannins: lecture] Astrakhan: Astrakhan State Medical University of the Ministry of Health of the Russian Federation, 2020, 29 p.
- [12] Kuzmina I.E. *Razrabotka retseptury preobrazovatelya rzhavchiny na osnove ekstrakta kory listvennitsy* [Development of a rust converter formulation based on larch bark extract]. *Magisterskaya dis. Severo-Vostochnyy federal'nyy universitet im. M.K. Ammosova. Institut estestvennykh nauk* [Master's thesis. M.K. Ammosov Northeastern Federal University]. Yakutsk: Institute of Natural Sciences, 2019, 64 p.

- [13] Griбанова А.К., Олиференко Г.Л., Вагатов Р.К., Стрелникова К.О. *Issledovanie ingibiruyushchikh svoystv rastitel'nogo ekstrakta v neytral'nykh sredakh* [Investigation of the inhibitory properties of plant extract in neutral media]. Aktual'nye voprosy elektrokhimii, zashchity ot korrozii i ekologii: tr. III mezhdunarodnoy nauchno-prakticheskoy konf. [Topical issues of electrochemistry, corrosion protection and Ecology: proceedings of the III International Scientific and Practical Conference]. Tambov, October 18–20, 2023. Tambov: Tambov State Techn. University, 2023, pp. 350–354.
- [14] Yadav M., Goel G., Hatton F.L., Bhagat M., Mehta S.K., Mishra R.K., Bhojak N. A review on biomass-derived materials and their applications as corrosion inhibitors, catalysts, food and drug delivery agents. *Current Research in Green and Sustainable Chemistry*, 2021, v. 4, p. 100153. <https://doi.org/10.1016/j.crgsc.2021.100153>.
- [15] Nav T.Z., Pumpel T., Bosch D., Bockreis A. Insight into the application of biochars produced from wood residues for removing different fractions of dissolved organic material (DOM) from bio-treated wastewater. *Environmental Technology & Innovation*, 2023, v. 32, no. 11, p. 103271. <https://doi.org/10.1016/j.eti.2023.103271>.
- [16] Savchenko O.N., Sizaya O.I., Chelyabieva V.N., Maksimenko A.A. *Ekstrakty rastitel'nogo syr'ya v ingibitornoy zashchite stali* [Extracts of plant raw materials in the inhibitory protection of steel]. *Fizikokhimiya poverkhnosti i zashchita materialov* [Physico-chemistry of the surface and protection of materials], 2018, v. 54, no. 3, pp. 319–324.
- [17] Griбанова А.К., Вагатов Р.К., Олиференко Г.Л. *Sravnitel'noe issledovanie effektivnosti prirodnoy i promyshlennykh ingibitorov v usloviyakh uglekislotnoy korrozii* [Comparative study of the effectiveness of natural and industrial inhibitors in conditions of carbon dioxide corrosion]. *Korroziya. Zashchita, materialy* [Corrosion. Protection, materials], 2024, no. 16, pp. 14–20.
- [18] Вагатов Р.К., Олиференко Г.Л., Griбанова А.К. *Issledovanie sostava i zashchitnykh svoystv ingibitora korrozii rastitel'nogo proiskhozhdeniya* [Investigation of the composition and protective properties of a corrosion inhibitor of plant origin]. *Zashchita okruzhayushchey sredy v neftegazovom komplekse* [Environmental protection in the oil and gas complex], 2024, no. 3, pp. 24–29.
- [19] Ivankin A.N., Олиференко Г.Л. Corrosion inhibition with green polymer systems and natural compounds. / *Polymer Science, Series D*, 2024, v. 17, no. 4, pp. 987–994. DOI: 10.1134/S1995421224701697
- [20] *Ekstraktivnye veshchestva drevesiny i znachenie ikh v tsellyulozno-bumazhnom proizvodstve* [Extractive substances of wood and their importance in pulp and paper production]. Ed. V.E. Hillis. Moscow: Forest industry, 1965, 487 p.
- [21] Obolenskaya A.V., Yelnitskaya 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] Leonova M.V., Klimochkin Yu.N. *Ekstraktsionnye metody izgotovleniya lekarstvennykh sredstv iz rastitel'nogo syr'ya* [Extraction methods of manufacturing medicines from plant raw materials]. Samara: Samara State Technical University, 2012, 111 p.
- [23] Strupan E.A., Kolodyaznaya V.S., Strupan O.A. *Tekhnologiya polucheniya ekstraktov iz dikorastushchego rastitel'nogo syr'ya, shiroko primenyaemogo v pishchevoy promyshlennosti i fitoterapii* [Technology of obtaining extracts from wild plant raw materials widely used in the food industry and phytotherapy]. *Bulletin of Kras GAU*, 2012, no. 8, pp. 199–205.
- [24] Novichenko O.V. *Poluchenie biologicheskii aktivnykh veshchestv vysshikh vodnykh rasteniy Volgo-Kaspiyskogo basseyna na primere Rotamogeton perfoliatus L. i Zostera noltii: sostav, svoystva i perspektivy primeneniya* [Obtaining biologically active substances of higher aquatic plants of the Volga-Caspian basin on the basis of the example of *Rotamogeton perfoliatus L.* and *Zostera noltii*: composition, properties and application prospects]. Dis. Cand. Sci. (Tech.). Astrakhan, 2016, 171 p.
- [25] Dubashinskaya N.V., Khishova O.M., Shimko O.M. *Kharakteristika sposobov polucheniya ekstraktov i ikh standartizatsiya* [Characteristics of methods for obtaining extracts and their standardization]. *Bulletin of Pharmacy*, 2007, no. 2 (36), pp. 1–10.
- [26] Farmanova N.T., Nurullayeva D.Kh., Zhokhova E.V., Lukashov R.I., Povydysh M.N. *Tekhnologiya polucheniya rastitel'nykh ekstraktov iz rastitel'nykh sborov* [Technology of obtaining plant extracts from plant collections]. *Chemistry of plant raw materials*, 2023, no. 3, pp. 303–310.
- [27] Orlova A.A., Povydysh M.N. *Obzor metodov kachestvennogo i kolichestvennogo analiza taninov v rastitel'nom syr'e* [Review of methods of qualitative and quantitative analysis of tannins in plant raw materials]. *Chemistry of plant raw materials*, 2019, no. 4, pp. 29–45.
- [28] Maltseva A.A., Chistyakova A.S., Sorokina A.A., Slivkin A.I., Tkacheva A.S., Karlov P.M. *Kolichestvennoe opredelenie dubil'nykh veshchestv v trave gortsa pochechuynogo* [Quantitative determination of tannins in the grass of the mountaineer pochechuiny]. *Bulletin of VSU. Series: Chemistry. Biology. Pharmacy*, 2013, no. 2, pp. 203–205.
- [29] Ivanov V.V., Denisenko O.N. *Kolichestvennoe opredelenie dubil'nykh veshchestv v trave gortsa sakhalinskogo, introdutsirovannogo v usloviyakh kavkazskikh mineral'nykh vod, razlichnymi analiticheskimi metodami* [Quantitative determination of tannins in the grass of the Sakhalin mountaineer, introduced in the conditions of Caucasian mineral waters, by various analytical methods]. *Modern problems of science and education*, 2014, no. 6, pp. 45–50.
- [30] Ryabinina E.I., Zotova E.E., Vetrova E.N. *Sravnienie khimiko-analiticheskikh metodov opredeleniya tanidov i oksidantnoy aktivnosti rastitel'nogo syr'ya* [Comparison of chemical and analytical methods for the determination of tannides and oxidant activity of plant raw materials]. *Analytics and Control*, 2011, no. 2 (15), pp. 202–208.
- [31] Trineeva O.V., Slivkin A.I. *Primenenie razlichnykh metodov pri opredelenii dubil'nykh veshchestv v list'yakh krapivy* [Application of various methods in the determination of tannins in nettle leaves]. *Pharmacy*, 2014, no. 1 (8), pp. 16–20.
- [32] GOST 28508–90. *Ekstrakty dubil'nye rastitel'nye. Metody opredeleniya* [Vegetable tanning extracts. Methods of determination]. Moscow: Standartinform, 2005, 15 p.
- [33] Tyulkova Yu.A., Ryazanova T.V., Eremenko O.N. *Modifikatsiya vsesoyuznogo metoda dlya opredeleniya dubyashchikh veshchestv v ekstraktakh kory khvoynykh* [Modification of the All-Union method for the determination of tanning substances in extracts of coniferous bark]. *J. of Siberian Federal University. Chemistry*, 2014, v. 2, no. 7, pp. 298–305.
- [34] The State Pharmacopoeia. XIII ed. Moscow: Medicine, 2015, 1004 p.

- [35] Ivankin A.N., Oliferenko G.L., Kulikovskiy A.V. *Analiticheskaya khimiya* [Analytical chemistry]. Moscow: KNORUS, 2021, 300 p.
- [36] Kazantseva I.L. *K voprosu opredeleniya dubil'nykh veshchestv v spirtosoderzhashchikh zhidkostyakh* [On the issue of determining tannins in alcohol-containing liquids]. Theory and practice of forensic examination, 2018, v. 13, no. 1, pp. 65–70.
- [37] Grinko E.N. *Trebovaniya rossiyskoy i evropeyskoy farmakopei k metodikam opredeleniya sodержaniya dubil'nykh veshchestv v lekarstvennom rastitel'nom syr'e* [Requirements of the Russian and European pharmacopoeia for methods of determining the content of tannins in medicinal plant raw materials]. Pharmacy, 2010, no. 5, pp. 49–53.
- [38] Ostroukhova L.A., Fedorova T.E., Onuchina N.A., Levchuk A.A., Babkin V.A. *Opredelenie kolichestvennogo sodержaniya ekstraktivnykh veshchestv iz drevesiny, korney i kory derev'ev khvoynykh vidov Sibiri: listvennitsy (Larix sibirica L.), sosny (Pinus sylvestris L.), pikhty (Abies sibirica L.), eli (Picea obovata L.) i kedra (Pinus sibirica L.)* [Determination of the quantitative content of extractive substances from wood, roots and bark of Siberian coniferous species: larch (*Larix sibirica* L.), pine (*Pinus sylvestris* L.), fir (*Abies sibirica* L.), spruce (*Picea obovata* L.) and cedar (*Pinus sibirica* L.)]. Chemistry of vegetable raw materials, 2018, no. 4, pp. 185–195.
- [39] Trineeva O.V., Slivkin A.I. *Razrabotka metodiki opredeleniya tanina i galloyvykh kislot pri sovместnom prisutstvii v lekarstvennom rastitel'nom syr'e* [Development of a method for the determination of tannin and gallic acid in the combined presence of medicinal plant raw materials]. Chemical and Pharmaceutical J., 2019, v. 53, no. 4, pp. 58–64.
- [40] Danilova N.A., Popov D.M. *Kolichestvennoe opredelenie dubil'nykh veshchestv v kornyakh shchavelya konskogo metodom spektrofotometrii v sravnenii s metodom permanganometrii* [Quantitative determination of tannins in horse sorrel roots by spectrophotometry in comparison with permanganometry]. VSU Bulletin, Series: Chemistry, Biology, Pharmacy, 2004, no. 2, pp. 179–182.
- [41] Ivkina O.A., Kogan E.G., Strelycheva K.A., Kisileva A.N. *Kolichestvennoe opredelenie dubil'nykh veshchestv v uspokoitel'nom sbore № 2* [Quantitative determination of tannins in sedative collection No. 2]. Smolenskiy medical Almanac, 2016, no. 1, pp. 112–115.
- [42] Popov I.V., Andreeva I.N., Gavrilin M.V. *Opredelenie tanina v syr'e i preparatakh krovokhleбки lekarstvennoy metodom VEZhKh* [Determination of tannin in raw materials and preparations of medicinal hemophlebony by HPLC]. Chemical and Pharmaceutical J., 2003, v. 37, no. 7, pp. 24–26.
- [43] Shelekhova N.V., Shelekhova T.M. *Issledovanie etanol'nogo ekstrakta drevesiny duba metodami kapillyarnogo elektroforeza, gazovoy khromatografii, khromato-mass- spektrometrii* [Investigation of ethanol extract of oak wood methods of capillary electrophoresis, gas chromatography, chromatography-mass spectrometry]. Sorption and chromatographic processes, 2021, v. 21, no. 6, pp. 868–878.
- [44] Zayakin V.V., Lyakishev D.K. *Sovместное opredelenie khlorogenovoy kisloty i tanina metodom effektivnoy zhidkostnoy khromatografii* [Joint determination of chlorogenic acid and tannin by effective liquid chromatography]. Scientific Notes of Bryansk State University, 2024 (1), pp. 48–51.
- [45] Montoya L.F., Contreras D., Jaramillo A.F., Carrasco C., Fernández K., Schwederski B., Rojas D., Melendrez M.F. Study of anticorrosive coatings based on high and low molecular weight polyphenols extracted from the *Pine radiata* bark. Progress in Organic Coating, 2019, no 127, pp. 100–109. DOI:10.1016/j.porgcoat.2018.11.010
- [46] Xua W., Hana E.-H., Wang Z. Effect of tannic acid on corrosion behavior of carbon steel in NaCl solution. J. of Materials Science & Technology, 2018, no 35, pp. 64–75. DOI:10.1016/j.jmst.2018.09.001

## Authors' information

**Oliferenko Galina L'vovna** <sup>✉</sup> — Cand. Sci. (Chemical), Associate Professor of the BMSTU (Mytishchi branch), oliferenko2@inbox.ru

**Ivankin Andrey Nikolaevich** — Dr. Sci. (Chemical), Member of the International Higher Education Academy of Sciences (IHEAS), Professor of the BMSTU (Mytishchi branch), aivankin@mgul.ac.ru

**Ustyugov Aleksandr Viktorovich** — Cand. Sci. (Chemical), Associate Professor of the MIREA – Russian Technological University, ustyugov.alexandr@mail.ru

Received 21.05.2025.

Approved after review 25.11.2025.

Accepted for publication 01.12.2025.

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

## ФАКТОРНО-РЕГРЕССИОННЫЙ АНАЛИЗ ДИНАМИКИ ЦЕН НА ПРОДУКЦИЮ ЛЕСНОГО КОМПЛЕКСА

О.П. Сушко✉, М.В. Ефимова

ФГБОУ ВО «Российский экономический университет имени Г.В. Плеханова» (РЭУ им. Г.В. Плеханова),  
Россия, 115054, г. Москва, Стремянный пер., д. 36

osushko@mail.ru

Представлен анализ цен продукции лесного комплекса с использованием эконометрических методов влияния макроэкономических показателей на их динамику. Определена степень этого влияния. Получены результаты, показавшие тенденции ценовых изменений продукции лесного комплекса. Построена факторно-регрессионная модель цен с учетом мультиколлинеарности макроэкономических факторов. Рассмотрены макроэкономические показатели по федеральным округам и в целом по экономике: курс валют, валовой и региональный внутренние продукты, численность населения, среднедушевой доход, численность рабочей силы, инфляция, показатель лесовосстановления, и другие. Выявлены четыре главных регрессора, которые формируют цену на выбранные для исследования виды лесной продукции — курс валют, численность населения, среднедушевой доход, показатель лесовосстановления. Рекомендуется использовать разработанную факторно-регрессионную модель для определения прогнозных значений в сфере цен лесной продукции, а также для дальнейшей разработки предложений и мер с учетом значений выявленных факторов в целях дальнейшего управления ценами лесного комплекса, поскольку от их динамики зависит, в том числе доход бюджета страны, особенно в современных условиях, связанных с преодолением внешних санкционных барьеров.

**Ключевые слова:** лесной комплекс, прогноз цен, структура цен лесной продукции, факторный анализ, регрессионный анализ

**Ссылка для цитирования:** Сушко О.П., Ефимова М.В. Факторно-регрессионный анализ динамики цен на продукцию лесного комплекса // Лесной вестник / Forestry Bulletin, 2026. Т. 30. № 1. С. 102–121. DOI: 10.18698/2542-1468-2026-1-102-121

Лесные ресурсы имеют ключевое значение для многих отраслей промышленности и для хозяйственной деятельности в целом. Вклад в экономику страны отражает уровень развития лесного комплекса в объемно-стоимостных и количественных показателях. Количественные показатели включают в себя объемы заготовки древесины, производства пиломатериалов, целлюлозы, бумаги и другой продукции лесопереработки. Стоимость производства лесной продукции оценивается посредством показателей, которые демонстрируют общую стоимость произведенной продукции, величину добавленной стоимости и доход от экспорта древесины и других лесопромышленных товаров. Рост объемных показателей свидетельствует об увеличении производственных мощностей и интенсификации использования лесных ресурсов. Увеличение объемно-стоимостных и количественных показателей указывает на повышение эффективности лесопереработки, улучшение качества продукции, рост экспортной выручки,

что, в свою очередь, связано с ценовой динамикой. Для оценки уровня развития лесного комплекса необходимо учитывать динамику объемных и стоимостных показателей по сравнению с предыдущими периодами, а также относительно показателей других стран. Анализ этих данных позволяет выявить тенденции развития, определить проблемы и разработать меры по повышению эффективности лесного комплекса.

Наибольший вклад в валовой внутренний продукт (ВВП) страны среди отраслей лесного комплекса, как правило, вносит производство продукции с высокой добавленной стоимостью, в частности целлюлозно-бумажное производство, изготовление пиломатериалов и древесных плит (рис. 1).

Производство продукции с высокой добавленной стоимостью в лесопромышленном комплексе обладает значительным потенциалом роста, однако для его реализации необходимы инвестиции в современные технологии, развитие лесной инфраструктуры и внедрение устойчивых методов лесопромышленного



**Рис. 1.** Стоимостная структура производства продукции лесного комплекса в России в 2023 г. (составлено авторами по данным Федеральной государственной службы статистики (ФГСС))

**Fig. 1.** Cost structure of timber complex production in Russia in 2023 (compiled by the authors based on data from the Federal State Statistics Service (FSS))

комплекса представлены в государственных стратегических документах. В частности, Стратегия развития лесного комплекса РФ до 2030 года ориентирует на повышение долгосрочной конкурентоспособности российской лесной промышленности.

Кроме того, по информации на февраль 2025 г., вице-премьер А.В. Новак поручил профильным ведомствам разработать поправки в законодательную базу, которые затрагивают отраслевую логистику, таможенное регулирование, стимулирование спроса и льготное финансирование.

Важным стратегическим документом является Федеральный проект «Сохранение лесов», который реализуется в рамках национального проекта «Экология» (1 января 2025 года в России стартовал национальный проект «Экологическое благополучие», который пришел на смену нацпроекту «Экология» и рассчитан до 2030 года). Основная цель проекта заключается в достижении сбалансированной скорости производства и регенерации лесов, снижении убытков, вызванных лесными пожарами, которые планируется сократить примерно на две трети — с 32,3 млрд руб. до 12,5 млрд руб. В настоящее время Министерство природных ресурсов и экологии Российской Федерации расширяет название и номенклатуру национального проекта «Экология». Эти инструменты государственной политики нацелены на модернизацию производственных мощностей, внедрение инновационных технологий и повышение конкурентоспособности российской продукции на мировом рынке.

Актуальность исследования определяется необходимостью анализа цен на продукцию лесного комплекса и влияющих на них факторов в целях последующего прогнозирования ценовых тенденций. Ценообразование в лесном секторе экономики подвержено воздействию множества факторов, включая макроэкономические показатели, изменения в законодательстве, технологические инновации и экологические требования. Анализ этих факторов позволяет выявить ключевые драйверы ценовых колебаний. Прогнозирование цен на продукцию лесного комплекса имеет важное значение для планирования деятельности предприятий отрасли, разработки инвестиционных стратегий и оценки рисков. Точные прогнозы позволяют оптимизировать производственные процессы и повысить конкурентоспособность. На основе анализа исторических данных, текущей ситуации на рынке и прогнозов развития экономики можно разработать модели прогнозирования цен на различные виды лесопродукции. Эти модели можно использовать для принятия обоснованных управленческих решений.

## Цель работы

Цель работы — выявление факторов, определяющих ценовую динамику продукции лесного комплекса и установление ценовых тенденций.

Для реализации намеченной цели исследования были сформулированы научно-практические направления. На первом этапе проводился сбор релевантных данных и их обработка, формирование базы данных, содержащие информа-



**Рис. 2.** Схема факторного анализа динамики цен на продукцию лесного комплекса  
**Fig. 2.** Factor analysis of timber complex products price dynamics

цию о ценах на продукцию лесного комплекса. Вторым этапом предполагалось проведение расчетов и аналитического исследования ключевых характеристик и структуры динамики цен на продукцию с применением экономико-математического инструментария, включая методы временных рядов и регрессионного анализа. На последнем этапе выявлялись основные тенденции и закономерности изменения ценовой конъюнктуры на рынке продукции.

## Материалы и методы

Объектом исследования послужили цены на основные виды лесопроductии на национальном и мировом рынках. Соответственно, предметом исследования стали национальный и мировой лесные комплексы, отличающиеся своими спецификой и особенностями, которые тесно связаны многоуровневой структурой. Несмотря на возможность анализа некоторых структурных факторов, влияющих на ценообразование на рынке лесопроductии, часть из них обладает высокой степенью сложности и не поддается точной количественной оценке.

Поскольку проводится комплексное исследование в области разработки адаптивных моделей прогнозирования динамики цен на лесопроductию, отдельные аспекты научной новизны в данном исследовании заключаются в выявлении и анализе ключевых факторов, влияющих на ценообразование в рассматриваемой отрасли. Расширение практических инструментов для прогнозирования цен предполагает разработку и применение математических моделей и алгоритмов, способных учитывать сложное взаимодействие различных факторов, в частности использование метода временных рядов, регрессионного анализа и машинного обучения для построения прогностических моделей, которые могут быть использованы для принятия обоснованных решений в области управления ценами и планирования производства.

Для подтверждения факторного движения цен на лесопроductию были применены методы статистического анализа и экономико-математического моделирования стохастической динамики. В ходе исследования были проведены регрессионный и корреляционный анализы. В качестве инструментария для изучения сложных взаимосвязей между переменными применяли факторный анализ с помощью множественной регрессии, который представляет собой статистический метод анализа данных, позволяющий изучать влияние нескольких независимых переменных на зависимую переменную. В этом методе каждый фактор можно выразить в виде независимой переменной, которая может оказывать влияние на зависимую переменную. Факторный анализ проводили в несколько этапов (рис. 2).

В настоящем исследовании для анализа ценообразования на лесопроductию были использованы статистические данные, предоставленные Федеральной службой государственной статистики (ФСГС) и Федеральной таможенной службой (ФГТС), а также информация из дополнительных источников (данных ассоциаций, предприятий). Информация по ценам мировых производителей обоснована данными аналитических организаций: Index Mundi, Foex Index Ltd., EUWID (Europaischer Wirtschaftsdienst независимое торговое издание), RISI.

Научный обзор. Исследования ценообразования и прогнозирования на продукцию лесного комплекса находятся во внимании специалистов и ученых, аналитических агентств и специализированных отраслевых платформ.

Статистические данные публикуются государственными уполномоченными учреждениями Российской Федерации (ФСГС и ФГТС) [1]. Некоторые сведения можно найти на сайте Федерального лесного агентства (Рослесхоз). Периодически публикуются аналитические обзоры на порталах международных организаций (FAOSTAT — Food and

Agriculture Organization of the United Nations Statistics Department — «Статистический отдел продовольственной и сельскохозяйственной Организации Объединенных Наций; UNEP — United Nations Environment Programme — программа ООН по окружающей среде, и др.) [2, 3]. Агрегированные данные российских агентств, таких как Лесонлайн и WhatWood, обеспечили более глубокое понимание рыночных тенденций, ценовых колебаний и объемов поставок древесины на внутренний и внешний рынки. Эти источники оказали помощь при анализе конъюнктуры рынка, выявлении потребностей отрасли и определении направления для развития. Долгое время динамику цен отслеживал АО «Всероссийский научно-исследовательский конъюнктурный институт» с периодическим выпуском бюллетеней [4]. Сведения о периодической динамике цен на пиломатериалы на российском рынке предоставляет интернет-платформа ООО «Тимбер-Эксперт» [5]. ЗАО «Торговля и производство» [6] опубликовало аналитический обзор цен на древесину за 2024 г. Торговая интернет-платформа по продаже лесоматериалов в Санкт-Петербурге (АО «Петербургская Биржа» — Санкт-Петербургская Международная Товарно-сырьевая Биржа) ежегодно публикует аналитический материал по ценам на пиломатериалы. Портал о лесозаготовке и деревообработке (WoodResource.ru) и Отраслевой портал для руководителей предприятий ЛПК (forestcomplex.ru) предоставляют аналитические материалы о рынках, в том числе о ценах. Графические данные публикуют и другие профильные агентства.

Официальным и общепризнанным источником информации о состоянии и развитии мирового рынка лесопroduкции и лесного хозяйства является база данных Департамента лесного хозяйства Продовольственной и сельскохозяйственной организации Объединенных Наций (ФАОСТАТ). Данные из баз ФАОСТАТ и Евростат служат основой для мониторинга и планирования управления лесами и формирования лесной политики как на государственном, так и на уровне отдельных хозяйствующих субъектов. Система ЛесЕГАИС (единая государственная автоматизированная система учета древесины и сделок с ней) предназначена для мониторинга и учета объема оборота древесины и пиломатериалов. Все предприниматели и организации, включая импортеров и оптовиков, которые связаны с этим сегментом продукции, обязаны использовать данные ЛесЕГАИС для оформления своих сделок. С момента запуска в 2015 г. система ЛесЕГАИС обеспечивает кон-

троль за всеми этапами — от лесозаготовки до реализации финальной продукции конечным потребителям.

Ведущее агентство по составлению отчетов о ценах на сырьевые товары на рынках сельского хозяйства, лесной продукции, металлов и горнодобывающей промышленности Fastmarkets еженедельно публикует независимые ценовые индексы, справедливые и репрезентативные индексы цен на целлюлозу на мировом рынке. Биржевые цены на некоторые виды лесопroduкции можно отследить на Шанхайской бирже, которая является крупнейшей биржей в континентальном Китае [7].

Значимые научные исследования в области ценообразования на продукцию ЛПК проводили авторитетные ученые В.И. Мосягин [8], Н.А. Моисеев [9], В.А. Слепов [10]. Профессором В.И. Мосягиным в работе [11] представлены результаты исследования механизмов ценообразования на лесную продукцию. В.И. Мосягин исследовал и факторы, влияющие на рынок лесной продукции и соотношение спроса и предложения, а также взаимосвязь цен на мировом рынке и ценообразования внутри страны.

В методических пособиях профессора Н.А. Моисеева [12] обоснованы подходы к установлению рыночной стоимости древесины на корню. В его трудах, в частности, рассматриваются вопросы совершенствования экономических инструментов, обеспечивающих устойчивое управление лесными ресурсами. Применение указанных методических рекомендаций позволит повысить эффективность управления лесными ресурсами, обеспечить устойчивое лесопользование и увеличить доходы лесного сектора экономики.

Можно также выделить еще некоторые публикации. Так, В.Н. Петров и Т.Е. Каткова исследовали цены на лесоматериалы в Финляндии [13], П.Т. Воронков, Л.В. Борисова и А.Н. Белов [14] — региональные особенности цен на лесную продукцию и обосновали возможности повышения конкурентоспособности предприятий за счет расширения ассортимента продукции в силу того, что они имеют разную динамику.

В работе, подготовленной И.Н. Назаренко и З.И. Фетищевой, подчеркивается необходимость выработки эффективной ценовой стратегии для предприятий лесопромышленного комплекса [15].

Исследование И.В. Евсеевой и А.Н. Махалова, посвященное анализу ценообразования в лесном комплексе [16], выявило существенное влияние каналов сбыта и налоговой политики

на формирование цен. В рамках исследования была определена структура ценовой системы лесного комплекса и классифицированы ее различные типы.

Исследование Е.В. Чеблаковой [17] установило взаимосвязь между различными факторами и показателями лесопродукции, а также формированием цен на лес.

По данной теме исследования у нас имеется достаточный опыт по работе с авторитетными учеными Северного (Арктического) федерального университета имени М.В. Ломоносова (САФУ). Так, в ходе совместного исследования с А.В. Пластининым был проведен анализ ценообразования на различные виды лесной продукции, включающий в себя изучение взаимосвязи ценовых показателей [1, 8, 19]. М.В. Сергеева в работе [20] представила анализ ценообразования в российской лесозаготовительной отрасли и модели формирования цен на основе рыночного и договорного ценообразования.

Группа ученых — Т.Г. Рябова, С.О. Медведев А.П. Мохирев, и А.С. Лышко [21] — исследовала влияние рыночных факторов и специфические особенности эксплуатации лесных ресурсов на цены на лесную продукцию.

Исследователи Э.У. Османова и А.В. Кулакова посвятили свое исследование анализу специфики формирования цен на лесопродукцию в Республике Крым [22].

Т.В. Шаронова, М.С. Абросимова и Т.П. Виеру выполнили научное исследование, посвященное анализу изменений ценовой политики предприятий деревообрабатывающей промышленности в результате действия экономических санкций [23].

М.А. Булгакова проводила исследование оценки леса на корню [24].

Исследователи В.И. Григорьев и Н.А. Ермакова провели анализ преобразования прибавочной стоимости в лесной отрасли [25].

Е.С. Замбрицкая и Е.Ю. Щепотьева анализировали систему затрат и формирование себестоимости продукции в деревообрабатывающей отрасли, и предложили совершенствование методики учета [26].

Л.В. Кривокоченко исследовал в 2017 г. экспортные цены на лесоматериалы на мировом рынке [27].

В 2022–2023 гг. с введением жестких санкций в отношении российского лесного комплекса многие специалисты внимательно следили за состоянием рынка. Европейские санкционные ограничения привели к резким колебаниям цен на различные виды продукции лесного комплекса [28]. Подобные изменения, в свою очередь, потребовали более внимательного

отслеживания и прогноза ценовых изменений для обеспечения стабильности поставок и снижения рисков для участников рынка. Влияние санкций проявилось не только в изменении цен, но и в перераспределении экспортных потоков и изменении структуры спроса. Возникла потребность в поиске альтернативных рынков сбыта и новых логистических цепочек. Анализ цен в этот период должен учитывать не только факторы спроса и предложения, но и геополитические риски, валютные колебания и изменения в законодательстве, что значительно усложняет процесс прогнозирования и требует использования комплексных аналитических инструментов.

Среди работ можно отметить труды, посвященные моделированию рынков лесоматериалов с учетом факторов спроса и предложения, а также анализу влияния экспортных пошлин на конкурентоспособность российской лесной продукции [29, 30].

Актуальным направлением является разработка экономико-математических моделей для оптимизации логистических цепочек в лесопромышленном комплексе [31], что позволяет снизить транспортные издержки и повысить рентабельность предприятий [32].

Изучение факторов, влияющих на цены лесоматериалов, имеет большое значение, поскольку лесной сектор имеет важное значение в экономике лесобеспеченных стран, таких как Россия, которая обладает одной четвертой лесных ресурсов мира. Исследование факторов, влияющих на ценовую динамику лесопродукции позволяет прогнозировать изменения на рынке и принимать обоснованные решения по управлению лесным сектором и корректировке тактической и стратегической политики. Также анализ динамики цен на лесную продукцию может помочь определить потенциальные риски для производителей и потребителей лесных товаров. Кроме того, необходимо учитывать макроэкономические аспекты, такие как инфляция, уровень безработицы, уровень доходов населения и др., которые могут влиять на спрос и предложение на рынке лесной продукции.

Контент-анализ научных исследований на тему ценообразования в лесном комплексе показывает влияние прямого и опосредованного воздействия комплекса факторов. Внешние факторы, обеспечивающие динамику цен лесопродукции, можно условно подразделить на несколько групп: экономические, политические, природно-географические, демографические и социальные, научно-технологические и институциональные (рис. 3).



Рис. 3. Схема внешних факторов ценообразования, оказывающих влияние на продукцию лесного комплекса

Fig. 3. Diagram of external pricing factors influencing timber complex products

Общеэкономические факторы имеют ключевое значение в формировании цен на все виды продукции, в том числе и на продукцию лесного комплекса.

Внутренние факторы, оказывающие влияние на ценообразование в лесном комплексе, разнообразны [33], в частности: институциональные, организационные, инновационные, технические и технологические факторы, а

также кадровые и интеллектуальные ресурсы. Все это в совокупности воздействует на общий уровень функционирования и развитие лесного комплекса (рис. 4).

С каждым годом эти факторы приобретают все большую актуальность. Следовательно, ценовые тенденции и объемы производства лесопродукции определяются сложным взаимодействием внутренних и внешних факторов,



**Рис. 4.** Схема внутренних факторов, влияющих на уровень функционирования и развитие лесного комплекса

**Fig. 4.** Diagram of internal factors influencing the functioning and development of the timber complex

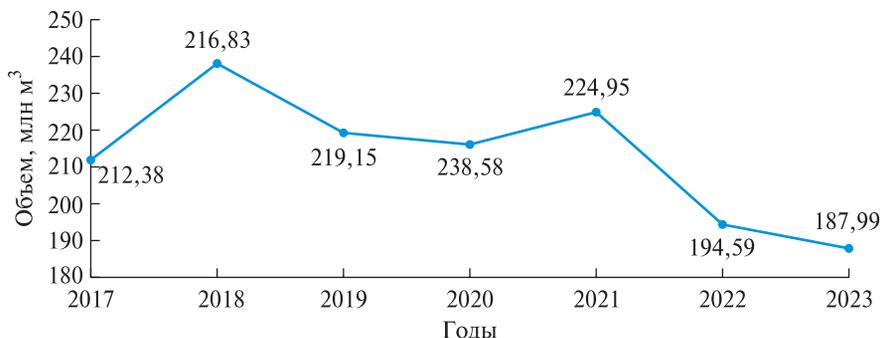
требующим комплексного анализа для прогнозирования и эффективного управления отраслью. Отдельно стоят факторы, имеющие дестабилизирующее значение на рынке. Среди них можно выделить влияние теневой экономики, незаконные рубки, уклонение от налогов, которые формируют искаженную конкуренцию, позволяя недобросовестным участникам демпинговать, тем самым подрывая легальный бизнес и провоцируя общий рост цен.

Значимым фактором являются пожары, которые наносят ущерб лесным массивам, сокращая доступные объемы древесины и увеличивая издержки на восстановление, что, в конечном счете, приводит к росту цен.

Существенное влияние оказывает и изменение спроса в отдельных отраслях и некоторых странах. Рост строительства, особенно жилого и малоэтажного, серьезно воздействует на динамику цен на лесопroduкцию. Спрос на древесину как основной строительный материал прямо связан с объемами возводимого жилья и с популярностью индивидуального жилищного строительства. Увеличение спроса на лесопroduкцию, обусловленное ростом строительного сектора и стимулируемое льготной ипотекой, неизбежно приводит к росту цен на древесину. Нельзя

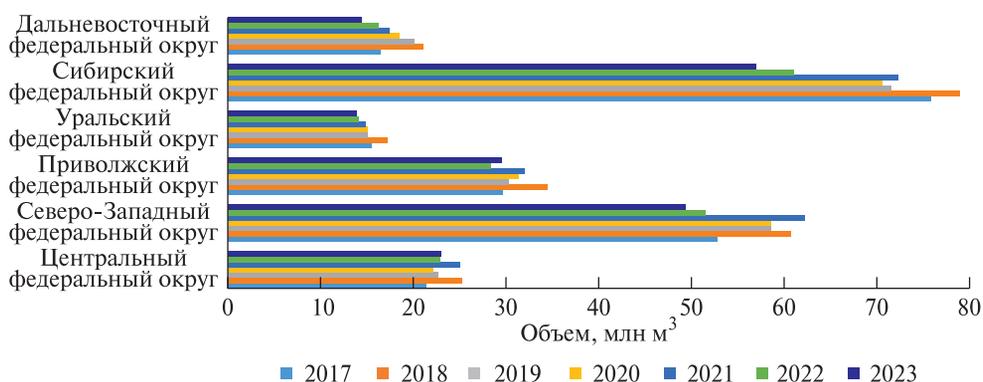
недооценивать и влияние внешних факторов, в частности растущий спрос со стороны Китая, провоцирующий рост цен на лесопroduкцию. Все эти факторы в совокупности формируют сложное и многогранное развитие, определяющее ценовую политику на рынке лесопroduкции.

Динамика лесозаготовок в России с 2017 по 2023 гг. характеризуется значительными колебаниями (рис. 5), которые связаны не только с экономическими факторами и санкционным давлением, но и с ужесточением нормативно-правой базы, принятой в целях сохранения лесных ресурсов. Ужесточение законодательства оказывает большое влияние на объемы лесозаготовок. Введение новых норм и правил предопределяет сложности на проведение лесозаготовок и рост затрат на лесовосстановление, что также вызывает колебание цен на древесину. Увеличение стоимости лесозаготовок может снизить прибыль компаний и уменьшить интерес к инвестированию в данную сферу. Значит, изменение общего объема заготовленной древесины является ключевым показателем для оценки состояния лесопользования в стране, и необходимо предпринимать меры для устойчивого использования лесных ресурсов и сохранения экосистем лесов.



**Рис. 5.** Объем заготовок древесины в России за период 2017–2023 гг., тыс. м³ (составлено авторами по данным ФГСС)

**Fig. 5.** Volume of timber harvested in Russia for the period 2017–2023, thousand m³ (compiled by the authors based on data from the FSS)



**Рис. 6.** Объем заготовленной древесины за период 2017–2023 гг. по округам Российской Федерации, тыс. м³ (составлено авторами по данным ФГСС)

**Fig. 6.** Volume of timber harvested for the period 2017–2023 by district of the Russian Federation, thousand m³ (compiled by the authors based on data from the FSS)

Рассматривая динамику общего объема заготовленной древесины за период 2017–2023 гг. (рис. 6), следует отметить ее общее снижение по Российской Федерации на 8,38 %.

Анализируя индексы динамики объемов заготовки древесины, важно отметить колебание объемов заготовленной древесины в течение 6 лет за рассматриваемый период: в 2018 г. рост ставил +12,3 %; в 2019 г. произошло снижение на 8 %; в 2020 г. также снижение на 1 %; в 2021 г. — рост на 4 %; в 2022 г. — спад на 13 %. Это было обусловлено запретом экспорта необработанной древесины. В региональном разрезе необходимо отметить, что положительные темпы роста (+6,56 %) наблюдались лишь в Центральном федеральном округе. Наиболее негативные тенденции отмечены в Северо-Кавказском (–44,72 %) и Южном (–31,08 %) федеральных округах. Сильная отрицательная динамика по рассматриваемому показателю зафиксирована в Сибирском федеральном округе

(–19,54 %). Объемы заготовленной древесины здесь в 2022 г. составили 31 % относительно общероссийского значения (см. рис. 6). Лесная промышленность имеет важное значение в экономическом развитии Сибирского региона, так как 73,3 % его территории покрыто лесом и качество породного состава высокое.

В 2022–2023 гг. российский лесной комплекс столкнулся с серьезными вызовами в связи с санкционным давлением и волатильностью мировых цен (см. рис. 6). Анализ производства лесопроductии в период с 2017 по 2023 гг. также показывает колебание и снижение производства в 2022 и 2023 гг. (рис. 7).

Однако к 2024 г. отрасль продемонстрировала признаки стабилизации и умеренный рост. Тем не менее устойчивость этого роста пока остается под вопросом. Сохранение санкций, низкие цены на продукцию по сравнению с историческими максимумами, а также появление новых проблем, таких как дороговизна

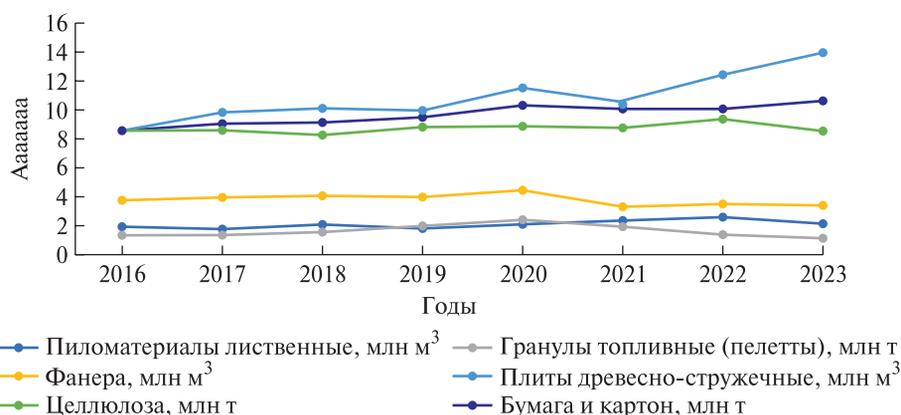


Рис. 7. Производство лесопродукции в России за период 2017–2024 гг (составлено авторами по данным ФГСС)

Fig. 7. Timber production in Russia for the Period 2017–2024 (compiled by the authors based on Federal State Social Survey data)

кредитов и вторичные санкции, обуславливают неопределенность для развития отрасли. Решающим для оценки перспектив устойчивого роста отрасли станет 2025 г. По данным Росстата, производство пиломатериалов за 10 мес. 2024 г. увеличилось на 0,2 % к предыдущему году, до 23,9 млн м<sup>3</sup>. По другим основным видам продукции в 2024 г. наблюдалось стабильное производство или незначительный прирост. Выпуск лесоматериалов составил 28,2 млн м<sup>3</sup> в 2024 г. Производство фанеры увеличилось на 5,1 %, до 3,42 млн м<sup>3</sup> за 2024 г., древесно-стружечных плит (ДСП) — до 13,9 млн м<sup>3</sup>, древесно-волоконистых плит (ДВП) — на 1,9 %. Производство бумаги и картона в РФ за 2024 г. составило 10,66 млн т, что на 5,4 % больше по сравнению с 2023 г. Производство целлюлозы в 2024 г. сохранилось на уровне 2023 г. — 8,5 тыс. т. Значительно снизилось производство топливных гранул — на 19 % к уровню 2023 г.

Кроме важности объемных показателей производства лесопродукции для экономики значимым является и динамика цен. В целях понимания бюджетных доходов от продукции лесного комплекса и получения возможности влияния на них необходимо иметь представление о прогнозных значениях цен на различные виды этой продукции. В связи с этим важно понимать факторы, способствующие изменению цен на продукцию лесного комплекса.

Таким образом, систематизация факторов, влияющих на динамику цен на продукцию лесного комплекса, является важным шагом для понимания процессов ценообразования в нем. Вся эта сложная система взаимосвязей подчеркивает необходимость комплексного подхода к управлению лесным комплексом и прогнозированию цен на лесопродукцию. Учитывая

взаимосвязь внешних и внутренних факторов, можно сделать более точные прогнозы и принять более эффективные решения по управлению лесным комплексом.

## Результаты и обсуждение

Для проведения факторного анализа разработаны базы цен на основные виды продукции лесного комплекса на внутреннем рынке, на экспортные позиции российской лесопродукции и цены на мировом рынке. Полученные данные стали основой для анализа ценообразования, определения корреляций для выявления зависимостей между ценами на сырье и конечную продукцию. Средние уровни цен лесопродукции позволили сформировать бенчмарки для оценки эффективности ценовой динамики. Обобщенные уровни цен на основные виды лесопродукции стали индикатором общей экономической ситуации в отрасли, позволили оценивать конкурентоспособность и инвестиционную привлекательность.

Для построения многофакторной модели (линейная регрессия) ценовой динамики на лесопродукцию необходимо исследование ряда факторов-регрессоров для определения их индивидуального влияния на составные компоненты ценовой динамики (табл. 1). Основная форма уравнения множественной линейной регрессии, отражающая зависимость результирующей переменной  $Y$  (ценовой динамики) от  $m$  факторов-регрессоров и случайной ошибки, имеет вид

$$Y = \beta_0 + \beta_1 x_1 + \beta_2 x_2 + \dots + \beta_m x_m + \varepsilon,$$

где  $Y$  — зависимая переменная;  
 $x_1, x_2, x_m$  — независимая переменная.

Т а б л и ц а 1

**Динамика показателей, потенциально влияющих на цены продукции лесного комплекса за период 2010–2022 гг. на примере Северо-Западного Федерального округа**

**Dynamics of indicators potentially affecting timber product prices for the period 2010–2022 in the Northwestern Federal District**

Показатель	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020	2021	2022
Курс валюты руб./дол. США (X1)	30,48	32,2	30,37	32,73	56,26	72,88	60,66	57,6	69,47	61,91	73,88	74,29	68,54
Валовый региональный продукт в текущих ценах, млн руб. (X2)	3 943054	4785459	5247508,5	5553389,2	5945311,3	7204795	8399737,4	8814881	9865793	10577620,1	10742733,5	16682107	18928860,6
Численность населения, тыс. чел. (X3)	13626	13660	13717	13801	13844	13854	13899	13917,5	13950,8	13966,789	13956,172	13924,24	13888,591
Среднедушевой доход, руб. (X4)	19837	21184	23422	26167	28580	32329	33212	34299	36170	37920	39486	44632	50214
Численность рабочей силы, тыс. чел. (X5)	7640,8	7671,5	7649,4	7580,4	7535,2	7604,2	7607,5	7557,4	7499,7	7460,2	7425,1	7473,2	7544
Инфляция, % (X6)	109,19	105,79	106,10	106,62	112,54	113,07	105,14	103,06	104,13	102,95	104,84	108,53	111,90
Лесовосстановление, гектар (X7)	163177	186468	185158,5	190529,3	195417,3	194106	201389	243339	236961	272201,2	336301,6	257640,3	260156,6
Цена за г/см <sup>2</sup> целлюлозы на бирже Китая, евро (Y1)	777,34	699,4	635,29	672,55	609	640,62	517,07	647,48	759,92	565,63	458,82	652,41	767,64

Окончание табл. 1

Показатель	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020	2021	2022
Цена картона плотностью 175 г/см <sup>2</sup> , евро (Y2)	509,79	580,33	543,25	586,5	557,38	582,7	555,6	629,78	731,9	650,69	580,63	719,72	624,51
Цена картона плотностью 135–140 г/см <sup>2</sup> , евро (Y3)	676,94	771,66	763,09	767,1	752,43	757,74	743,66	761,53	820,97	796,62	734,58	790,44	650,37
Цена картона плотностью 140–150 г/см <sup>2</sup> , евро (Y4)	399,37	480,11	430,65	449,74	463,09	465,2	454,39	498,79	554,49	469,3	405,44	569,46	754,22
Цена картона плотностью 140–150 г/см <sup>2</sup> , евро (Y5)	382,25	460,68	407,88	425,7	439,31	443,78	431,58	476,17	534,12	436,09	378,5	547	734
Цена картона плотностью 100–105 г/см <sup>2</sup> , евро (Y6)	368,92	448,58	394,35	413,79	431,94	438,74	424,3	467,1	523,62	430,22	365,15	533,08	727,39
Цена фанеры, руб. (Y7)	172,85	178,64	189,55	178,24	197,97	277,09	337,05	283,82	309,89	323,95	369,79	366,69	289,43
Цена пиломатериалов мягких пород, руб. (Y8)	9403,33	8849,14	9843,42	10603,1	12834,18	19496,4	21813,78	17170,6	21617,9	22885,97	25102,81	26037,61	27466,7
Цена пиломатериалов твердых пород, руб. (Y9)	25776,1	27588,5	27207,33	27163,5	34473,68	51141,8	49752,33	40934,1	45551	45002,61	50751,27	55241,25	46532,06

Т а б л и ц а 2

**Матрица парных коэффициентов корреляции**  
**Matrix of matching correlation parameters**

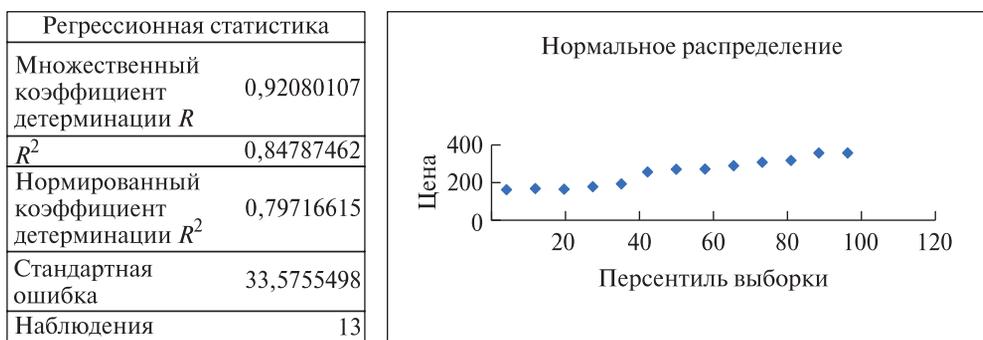
	X1	X2	X3	X4	X5	X6	X7
X1	1						
X2	0,716754	1					
X3	0,868377	0,643757	1				
X4	0,848801	0,961194	0,812682	1			
X5	-0,74055	-0,61583	-0,84266	-0,73166	1		
X6	0,111725	0,107516	-0,24285	0,057772	0,20543	1	
X7	0,701925	0,679131	0,769214	0,771473	-0,87704	-0,32553	1
Y1	-0,31304	0,031384	-0,44776	-0,13355	0,392868	0,305629	-0,45722
Y2	0,59682	0,644744	0,660648	0,651014	-0,61892	-0,26752	0,500454
Y3	0,123036	-0,16757	0,324733	-0,08506	-0,25057	-0,49958	0,066811
Y4	0,427597	0,814158	0,332449	0,725163	-0,21053	0,28137	0,270704
Y5	0,411503	0,800101	0,304907	0,705908	-0,18241	0,295907	0,244701
Y6	0,422059	0,797869	0,315876	0,709597	-0,18306	0,302273	0,242615
Y7	0,880274	0,712686	0,861941	0,815513	-0,75035	-0,2628	0,798895
Y8	0,913092	0,879997	0,846672	0,95334	-0,74377	-0,02622	0,787794
Y9	0,958815	0,722736	0,833119	0,831694	-0,65822	0,021646	0,668653

Т а б л и ц а 3

**Отбор факторов для построения регрессионной модели**  
**Selection of factors for making a regression model**

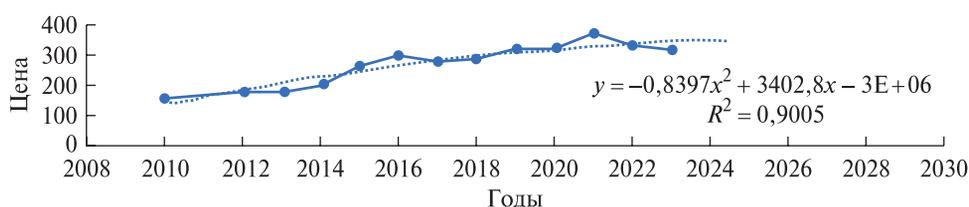
Показатель	Курс валют руб./дол. США	Валовый региональный продукт, в текущих ценах, млн руб.	Численность населения, тыс. чел.	Среднедушевой доход, руб.	Численность рабочей силы, чел.	Инфляция (индекс потребительских цен)	Лесовосстановление, га
Цена за г/см <sup>2</sup> целлюлозы на бирже Китая, евро	-	-	-	-	-	-	-
Цена картона плотностью 175 г/см <sup>2</sup> , евро	-	-	-	-	-	-	-
Цена картона плотностью 135–140 г/см <sup>2</sup> , евро	-	-	-	-	-	-	-
Цена картона плотностью 140–150 г/см <sup>2</sup> , евро	-	+	-	-	-	-	-
Цена картона плотностью 140–150 г/см <sup>2</sup> , евро	-	+	-	-	-	-	-
Цена картона плотностью 100–105 г/см <sup>2</sup> , евро	-	+	-	-	-	-	-
Цена фанеры, руб.	+0,88	-	+0,86	+0,82	-	-	+0,8
Цена пиломатериалов мягких пород, руб.	+0,91	+0,87	+0,84	+0,95	-	-	+0,78
Цена пиломатериалов твердых пород, руб.	+0,96	-	+0,83	+0,83	-	-	-

*Примечание.* «-» — нет зависимости; «+» — есть зависимость между факторами.



Дисперсионный анализ					
	$df$	$SS$	$MS$	$F$	$F$ -критерий Фишера
Регрессия	3	56548,19163	18849,4	16,72057	0,000506
Остаток	9	10145,85789	1127,318		
Итого	12	66694,04952			

Здесь и на рис. 9:  $df$  — число степеней свободы;  $SS$  — сумма квадратов;  $MS$  — оценка дисперсии;  $F$  — отношение межгрупповой вариации к внутригрупповой



**Рис. 8.** Взаимосвязь между переменными в динамике цен на фанеру  
**Fig. 8.** Relationships between in plywood price dynamics

Ценовая динамика большинства видов лесопродукции состоит из таких компонент как тенденции, сезонные и циклические периодические составляющие, случайная составляющая. Тенденционная составляющая динамики цен зависит от макроэкономических факторов. Моделирование множественной регрессии позволяет включать большое количество факторов, однако чем их больше, тем сложнее расчеты и интерпретация результатов. Следовательно, необходимо выявить основные факторы, которые определяют тенденции динамики цен на лесопродукцию [34–37].

На основании проведенных манипуляций по установлению зависимости между изучаемыми факторами (табл. 2) можно сделать следующие выводы:

- для показателей  $Y4$  и  $Y5$  имеет значение показатель  $X2$ ;
- для показателей  $Y7$  и  $Y8$  имеют значение показатели  $X1$ ,  $X2$  (только для  $Y8$ ),  $X3$ ,  $X4$  и  $X7$ ;
- для показателя  $Y9$  имеют значение показатели  $X1$ ,  $X3$ ,  $X4$  и  $X7$ .

В результате расчетов сделан вывод о возможности построения прогнозной модели на основании выбранных и обоснованных факторов: в качестве результативного показателя взяты значения цен фанеры, пиломатериалов твердых пород и пиломатериалов мягких пород (табл. 3). Данные показатели выбраны для построения регрессионной модели, так как на них оказывает влияние наибольшее количество выбранных макроэкономических показателей.

Построим диаграммы рассеяния (рис. 8, 9) для визуального изучения взаимосвязи между переменными, а также модели регрессии по ценам каждого выбранного вида продукции лесного комплекса.

Также можно оценить значимость отдельных коэффициентов регрессии с помощью  $t$ -тестов. Если  $t$ -статистика для коэффициента значительно отличается от нуля и  $p$ -значение меньше уровня значимости, то можно считать данный коэффициент статистически значимым. Помимо этого для оценки значимости уравнения регрессии можно также использовать коэффициент

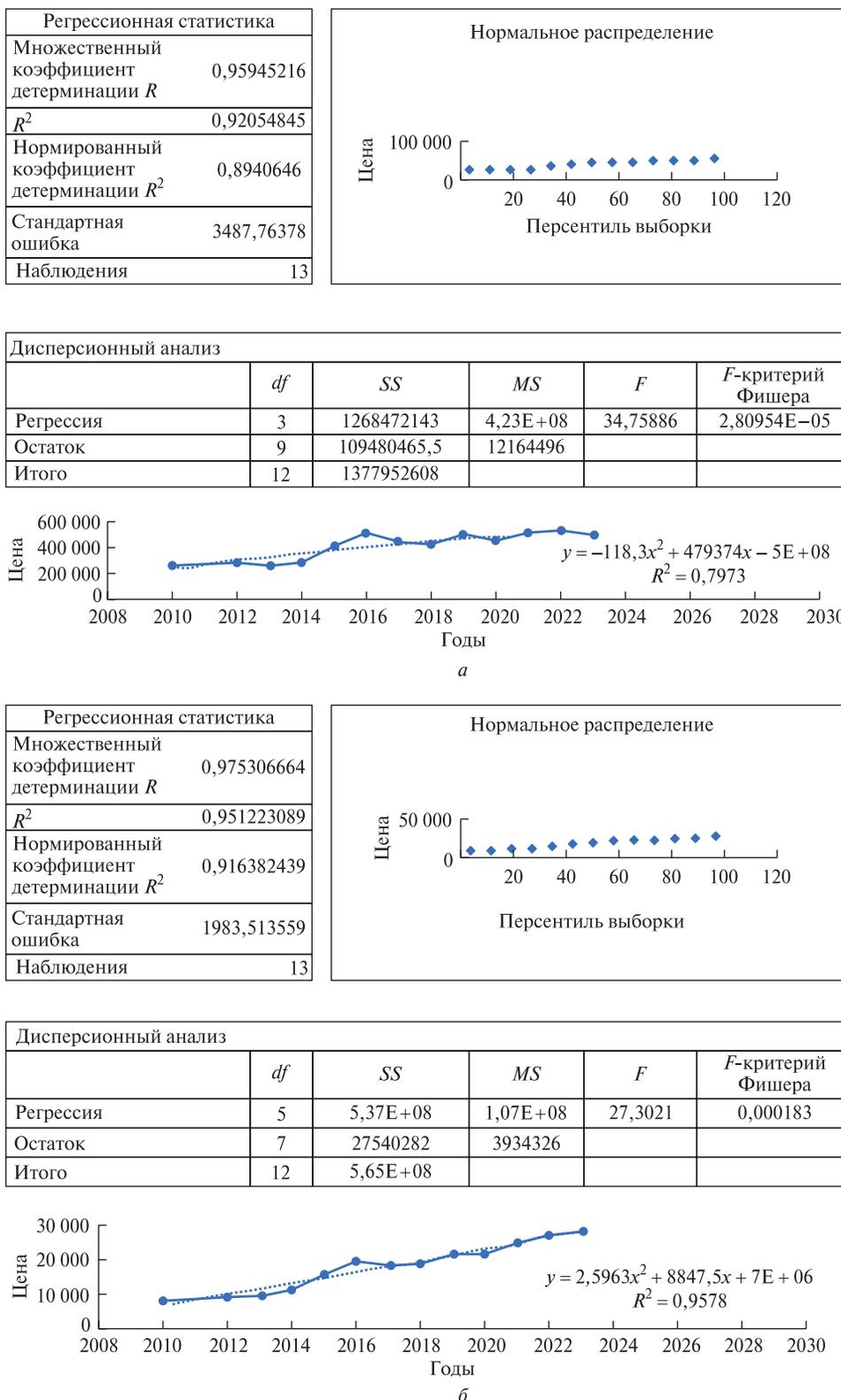


Рис. 9. Анализ взаимосвязи между переменными в динамике цен на пиломатериалы твердых (а) и мягких (б) пород

Fig. 9. Analysis of the price development for hardwood (a) and softwood (б) lumber

детерминации  $R^2$ , который показывает, какую часть вариации зависимой переменной объясняет модель регрессии. Чем ближе значение коэффициента  $R^2$  к единице, тем более значима модель. Согласно данным  $t$ -критерия, все три модели прогнозирования видов продукции являются рабочими. Подводя итог, можно констатировать сильную степень влияния на изменение цен фанеры, пиломатериалов мягких пород и пиломатериалов твердых пород следующих факторов: курс руб./дол. США; численность населения; среднедушевой доход; лесовосстановление.

Полученные результаты были подтверждены экспериментальными данными на другие виды лесопroduкции, что позволяет сделать вывод о применимости разработанной методики для оценки качества и прогнозирования характеристик широкого спектра продукции лесного комплекса. Аналогичные исследования проведены по другим субъектам и в целом по России, что показало влияние общих тенденций ценообразования на рынке лесопroduкции. Выявленные факторы существенно воздействуют на конкурентоспособность отечественных производителей и экспортный потенциал лесной отрасли.

В последние несколько лет цены на лесоматериалы подвержены высоким колебаниям, связанным как с движением курса доллара к рублю, так и с закрытием европейских рынков.

Форма тенденции динамики цен была спроектирована в трех вариантах (линейном, полиномах второй и третьей степени). Наиболее точно переменные описывает полиномом второй степени (достигается максимальное значение  $R^2$ ) для результирующего фактора  $Y$ .

В большей степени внутренние факторы влияют на циклические и сезонные компоненты динамики цен на лесопroduцию. С каждым годом эти факторы становятся все более актуальными. Например, внедрение новых технологий переработки древесины позволяет увеличить выход готовой продукции и сократить затраты, что, в свою очередь, влияет на ценообразование. Сезонные колебания цен на лесопroduцию обусловлены краткими изменениями спроса в течение года. Повышенная активность в строительном секторе в теплый период года влечет за собой рост спроса на древесину и, как следствие, увеличение цен. В зимний сезон наблюдается обратная тенденция: снижение активности и, соответственно, цен. В то же время внутренние факторы, такие как специфика поставок и конкуренция между производителями, могут смягчить этот эффект. Аналогичные колебания характерны и для бумажно-беловой продукции, спрос на которую пикирует в начале и середине учебного

года. Циклические колебания в динамике цен на лесопroduцию стали проявляться в начале XXI в., и, кроме того, в последние 20 лет стали отчетливее. Среди активаторов цикличности в развитии лесного рынка выделяется все большее влияние финансового рынка и информационного развития общества. Подтверждением усиления цикличности динамики цен на многие виды продукции, в том числе и лесопroduкции, являются несколько аргументов. Так, развитие информационных технологий активизирует скорость и характер изменений в обществе, что создает новые возможности и одновременно порождает нестабильность. Информационное развитие, в свою очередь, позволяет бизнес-субъектам оперативно реагировать на вызовы. В частности, для сбора и анализа данных по объемам производства, продаже и отгрузке продукции, учету запасов продукции и по другим логистическим данным, предназначено множество онлайн-сервисов, программ и платформ, количество которых постоянно растет. Они позволяют компаниям оперативно реагировать на изменения рыночной ситуации, оптимизируя свои бизнес-процессы. Таким образом, современные бизнес-процессы становятся более гибкими, что и будет отражаться на структуре ценовой динамики.

## Выводы

Проведенный факторно-регрессионный анализ динамики цен на продукцию лесного комплекса показал, что на ценообразование существенное влияние оказывают такие макроэкономические факторы, как курс валюты, численность населения, среднедушевой доход и показатель лесовосстановления. Применение методов статистического анализа и экономико-математического моделирования, регрессионного и корреляционного анализов позволило выделить именно эти параметры. Сформированная модель учитывает межфакторные связи (мультиколлинеарность) и предоставляет инструмент для точного прогнозирования цен на основные виды продукции лесного комплекса. Полученные результаты открывают возможности для обоснованного принятия управленческих решений и выработки мер по регулированию цен в отрасли, что особенно значимо в текущих условиях экономических вызовов и необходимости пополнения федерального бюджета. Использование данной модели способствует более прозрачному пониманию рыночных тенденций, позволяет выявлять и своевременно учитывать ключевые драйверы изменения цены, что создает дополнительные

возможности для повышения экономической устойчивости и эффективности работы лесного комплекса.

В перспективе, результаты этих исследований могут быть использованы для создания единой системы мониторинга и управления качеством лесных ресурсов на территории России, что позволит обеспечить устойчивое развитие лесного комплекса и повышение конкурентоспособности отечественной лесопромышленности на мировом рынке. Это, в свою очередь, будет способствовать укреплению экономики страны и улучшению экологической ситуации.

*Работа выполнена в рамках проекта 24-28-01250 РНФ «Разработка адаптивных моделей прогнозирования цен на продукцию лесного комплекса».*

## Список литературы

- [1] Единая межведомственная информационно-статистическая система (ЕМИСС). URL: <https://www.fedstat.ru/indicator/> (дата обращения 10.03.2025).
- [2] Состояние лесов мира 2022. Продовольственная и сельскохозяйственная организация Объединенных Наций. URL: <https://www.fao.org/3/cb9360ru/online/src/html/forest-production-global-economy.html> (дата обращения 10.03.2025).
- [3] Статистика по лесной продукции. ФАО ООН. URL: <https://www.fao.org/forestry/statistics/84922/ru/> (дата обращения 10.03.2025).
- [4] Гельвановский М.И., Гельвановский М.И., Биляк С.А., Колпакова И.А. Особенности динамики цен в России в 2007 г. как показатель несовершенства экономической политики // Бюл. иностранной коммерческой информации, 2007. № 149–150. С. 2–7.
- [5] Цены на пиломатериалы в России: Полная аналитика в цифрах за 2019–2024 гг. Производство, продажа пиломатериалов и строганой продукции. Тимбер Эксперт. URL: <https://timber-expert.ru/cenyna-pilomaterialy-kartina-ryutiletki-na-rossijskom-gynke-2019-2014> (дата обращения 10.03.2025).
- [6] Динамика Pro рынок. Анализ рынка древесины России. CM PRO Analytics. URL: [https://cmpro.ru/rus/catalog/analitika/drevesina/pro-rinok.-analiz-rinka-drevesini-rossii.-iyun\\_-2024.html](https://cmpro.ru/rus/catalog/analitika/drevesina/pro-rinok.-analiz-rinka-drevesini-rossii.-iyun_-2024.html) (дата обращения 10.03.2025).
- [7] Слепов В.А., Князев В.Г. Ценообразование в отраслях лесопромышленного комплекса. М.: МИНХ, 1983. 83 с.
- [8] Мосягин В.И. Цены и ценообразование в лесном комплексе: теоретические основы цены и ценообразования, плановое и рыночное ценообразование, договорное и трансфертное ценообразование, государственное регулирование цен, ценовая политика, методы ценообразования, система и виды цен лесного комплекса, ценообразование в отраслях лесного комплекса, конъюнктура и цены на лесном рынке, тесты, задачи, имитационные ситуации. СПб.: Политехника-сервис, 2012. 639 с.
- [9] Петров В.Н., Докучаева А.В. Анализ и оценка ценообразования на лесные ресурсы // Эффективное управление экономикой: проблемы и перспективы: сб. трудов VII Всерос. науч.-практ. конф., Симферополь, 14–15 апреля 2022 г. Симферополь: Типография «Ариал», 2022. С. 227–231.
- [10] Мосягин В.И. Анализ цен с использованием приемов элиминирования // Известия Санкт-Петербургской лесотехнической академии, 2013. № 203. С. 175–182.
- [11] Мосягин В.И. Совершенствование ценообразования в ЦБП // Леса России: политика, промышленность, наука, образование: Материалы Второй Междунар. науч.-техн. конф., Санкт-Петербург, 24–26 мая 2017 года. СПб.: Санкт-Петербургский государственный лесотехнический университет имени С.М. Кирова, 2017. Т. 3. С. 218–220.
- [12] Петров В.Н., Каткова Т.Е. Стоимость леса на корню в Финляндии // Известия Санкт-Петербургской лесотехнической академии, 2014. № 208. С. 249–266.
- [13] Воронков П.Т., Борисова Л.В., Белов А.Н. Исследование особенностей динамики средних региональных цен лесоматериалов круглых в федеральных округах Российской Федерации // Лесохозяйственная информация, 2014. № 1. С. 3–10.
- [14] Фетищева З.И., Назаренко И.Н. Инфляция и ценовая политика на предприятиях лесного сектора экономики // Современные тенденции в экономике и управлении: новый взгляд, 2016. № 40-1. С. 167–174.
- [15] Евсеева И.В., Махалов А.Н. Тенденции ценообразования лесопромышленного комплекса // Микроэкономика, 2009. № 6. С. 290–298.
- [16] Чеблякова Е.В. Лесные тарифы: особенности и перспективы // Вектор экономики, 2019. № 11(41). С. 57.
- [17] Пластинин А.В., Сушко О.П. Исследование совмещенной динамики цен на целлюлозу и пиломатериалы // Проблемы прогнозирования, 2017. № 6(165). С. 87–92.
- [18] Sushko O., Plastinin A. Model of determination and forecasting of prices of forest products using the example of pulp // E3S Web of Conferences, 2023. Т. 402. Int. Scientific Siberian Transport Forum, TransSiberia, 2023. DOI: 10.1051/e3sconf/202340213007
- [19] Сергеева М.В. Анализ ценообразования в лесозаготовительной отрасли Российской Федерации // Экономика и управление: проблемы, решения, 2017. Т. 6. № 10. С. 63–72.
- [20] Рябова Т.Г., Мохирев А.П., Лышко А.С. Динамика и факторы стоимости лесоматериалов в лесной промышленности России // Фундаментальные исследования, 2020. № 4. С. 94–98. DOI 10.17513/fr.42730.
- [21] Османова Э.У., Кулакова А.В. Особенности ценообразования в лесопромышленном комплексе Российской Федерации, Республики Крым // Проблемы национальной экономики в цифрах статистики: Материалы VIII Междунар. науч.-практ. конф. В 2-х т., Тамбов, 07 декабря 2021 г. Тамбов: Издательский дом им. Г.Р. Державина, 2022. Т. 2. С. 102–110.
- [22] Шаронова Т.В. Абросимова М.С., Виеру Т.П. Формирование цен на деревообрабатывающих предприятиях // Перспективы развития механизации, электрификации и автоматизации сельскохозяйственного производства: Материалы V Междунар. науч.-практ. конф., Чебоксары, 28 февраля 2023 г. Чебоксары: Изд-во Чувашского государственного аграрного университета, 2023. С. 371–377.

- [23] Булгакова М.А. Подходы к оценке леса на корню // Проблемы экономики и юридической практики, 2019. Т. 15. № 1. С. 34–38. DOI 10.33693/2541-8025-2019-15-1-34-38
- [24] Григорьев В.И., Ермакова Н.А. Трансформация цепочек добавленной стоимости в российской лесной промышленности // Инновационная экономика, 2020. № 4(25). С. 4–19.
- [25] Замбрицкая Е.С., Щепотьева Е.Ю. Совершенствование методики учета затрат и калькулирования себестоимости продукции в деревообрабатывающей промышленности // Корпоративная экономика, 2015. № 3(3). С. 30–37.
- [26] Кривокоченко Л.В. Конъюнктура мирового рынка лесоматериалов и перспективы развития российского экспорта // Российский внешнеэкономический вестник, 2016. № 2. С. 71–81.
- [27] Сушко О.П. Прогнозная оценка развития лесного комплекса на основе эвристического метода // Экономика, предпринимательство и право, 2023. Т. 13. № 12. С. 5849–5868. DOI 10.18334/err.13.12.118936
- [28] Медведева О. Специфика проведения маркетингового исследования рынка лесобумажной продукции Калужской области // Предпринимательство, 2014. № 5. С. 111–118.
- [29] Корякин В.А. Анализ цен на недревесные ресурсы леса: проблемы и перспективы // Состояние и перспективы использования недревесных ресурсов леса: Междунар. науч.-практ. конф., 10–11 сентября 2013, Кострома, 10–11 сентября 2013 г. Пушкино: Изд-во Всерос. науч.-исслед. института лесоводства и механизации лесного хозяйства, 2014. С. 73–77.
- [30] Фролова М. Спрос на пиломатериалы сокращается, цены продолжают падать // Бюл. Ассоциации ЛЕ-СТЕХ, 2022. № 4(10). С. 16–20.
- [31] Роголин Р.С. Решение задачи формирования цепочек поставок сырья лесопромышленных предприятий с товарно-сырьевой биржи с детерминированными параметрами // Лесной вестник / Forestry Bulletin, 2024. Т. 28. № 2. С. 166–174. DOI: 10.18698/2542-1468-2024-2-166-174
- [32] Сушко О.П. Финансовые инструменты в торговле лесными товарами // Экономика, предпринимательство и право, 2023. Т. 13. № 9. С. 3851–3866. DOI 10.18334/err.13.9.118929
- [33] Воронков П.Т., Дегтев В.В., Голотовская А.В. Количественная оценка факторов, определяющих динамику лесного дохода // Лесохозяйственная информация, 2020. № 2. С. 34–42. DOI 10.24419/LNI.2304-3083.2020.2.03
- [34] Литвин Д.А., Давыдова Г. В. Зависимость эффективности лесной промышленности и лесного хозяйства от форм собственности: международное сравнение // Социальные и экономические системы, 2022. № 6–2(30.2). С. 242–263.
- [35] Зыкин И.В. Экономические показатели лесопромышленного комплекса Урала в годы Великой Отечественной войны // История и современное мировоззрение, 2021. Т. 3. № 1. С. 121–126. DOI 10.33693/2658-4654-2021-3-1-121-126
- [36] Панченко В.Т. Экономический анализ лесной промышленности России: тенденции и перспективы // Экономико-математические методы анализа деятельности предприятий АПК: VI Междунар. науч.-практ. конф., Саратов, 15 апреля 2022 г. Саратов: ЦеСАин, 2022. С. 321–328.
- [37] Аборкина Е.О. Причины и тенденции развития лесного комплекса России // В центре экономики, 2022. Т. 3. № 2. С. 39–45.

## Сведения об авторах

**Сушко Ольга Петровна** <sup>✉</sup> — д-р экон. наук, доцент, ФГБОУ ВО «Российский экономический университет имени Г.В. Плеханова» (РЭУ им. Г.В. Плеханова), Sushko.OP@rea.ru

**Ефимова Марина Васильевна** — канд. экон. наук, доцент, ФГБОУ ВО «Российский экономический университет имени Г.В. Плеханова» (РЭУ им. Г.В. Плеханова), Mishagina.MV@rea.ru

Поступила в редакцию 10.04.2025.

Одобрено после рецензирования 15.05.2025.

Принята к публикации 02.12.2025.

# FACTOR-REGRESSION ANALYSIS OF PRICE DYNAMICS FOR TIMBER PRODUCTS

O.P. Sushko✉, M.V. Efimova

Plekhanov Russian University of Economics, 36, Stremyanny per., 115054, Moscow, Russia

osushko@mail.ru

The article presents an analysis by using econometric methods of the macroeconomic indicators on the prices dynamics for wood products. The study also determines the influence of these factors on the price values dynamics. The results obtained showed trends in price changes for forestry products in the timber complex. A factor regression model of prices was made considering the multicollinearity of macroeconomic factors. Macroeconomic indicators for federal districts and for the economy as a whole are considered: exchange rates, gross and regional domestic products, population size, per capita income, labor force size, inflation, reforestation rate, and others. Four main regressors were identified that shape the price of the forest product types selected for the study: exchange rates, population size, per capita income, and the reforestation rate. The obtained factorial regression model can be used to determine the projected values for the prices of forest products. This model can be used to further develop proposals and measures, taking into account the identified factors, in order to further manage the prices of the timber complex, since the country's budget revenues depend on their dynamics. In modern conditions related to overcoming external sanctions barriers, the search for additional sources of income to the federal budget is especially relevant.

**Keywords:** timber complex, price forecasting, timber products price patterns, factor analysis, correlation-regression analysis

**Suggested citation:** Sushko O.P., Efimova M.V. *Faktorno-regressionnyy analiz dinamiki tsen na produkciyu lesnogo kompleksa* [Factor-regression analysis of price dynamics for timber products]. *Lesnoy vestnik / Forestry Bulletin*, 2026, vol. 30, no. 1, pp. 102–121. DOI: 10.18698/2542-1468-2026-1-102-121

## Reference

- [1] *Edinaya mezhdomstvennaya informatsionno-statisticheskaya sistema* [Unified Interdepartmental Information and Statistical System], 2025. Available at: <https://www.fedstat.ru/indicator/> (accessed 10.03.2025).
- [2] *Sostoyanie lesov mira 2022. Prodovol'stvennaya i sel'skokhozyaystvennaya organizatsiya Ob'edinennykh Natsiy* [State of the World's Forests 2022. Food and Agriculture Organization of the United Nations]. Available at: <https://www.fao.org/3/cb9360ru/online/src/html/forest-production-global-economy.html> (accessed 10.03.2025).
- [3] *Statistika po lesnoy produkcii* [Forest Products Statistics. Food and Agriculture Organization of the United Nations]. FAO OON. Available at: <https://www.fao.org/forestry/statistics/84922/ru/> (accessed 10.03.2025).
- [4] Gelvanovsky M.I., Gelvanovsky M.I., Bilyak S.A., Kolpakova I.A. *Osobennosti dinamiki tsen v Rossii v 2007 g. kak pokazatel' nesovershenstva ekonomicheskoy politiki* [Features of price dynamics in Russia in 2007 as an indicator of imperfection of economic policy]. *Byulleten' inostrannoy kommercheskoy informatsii* [Bulletin of foreign commercial information], 2007, no. 149–150, pp. 2–7.
- [5] *Tseny na pilomaterialy v Rossii: Polnaya analitika v tsifrakh za 2019–2024. Proizvodstvo prodazha pilomaterialov i stroganoy produkcii* [Lumber prices in Russia: Full analytics in figures for 2019–2024. Production and sale of lumber and planed products]. *Timber Ekspert* [Timber expert]. Available at: <https://timber-expert.ru/ceny-na-pilomaterialy-kartina-pyatiletki-na-rossijskom-rynke-2019-2014> (accessed 10.03.2025).
- [6] *Dinamika Pro rynek. Analiz rynka drevesiny Rossii* [Dynamics of the Pro market. Analysis of the Russian timber market]. CM PRO Analytics. Available at: [https://cmpro.ru/rus/catalog/analitika/drevesina/pro-rinok.-analiz-rinka-drevesini-rossii.-iyun\\_-2024.html](https://cmpro.ru/rus/catalog/analitika/drevesina/pro-rinok.-analiz-rinka-drevesini-rossii.-iyun_-2024.html) (accessed 10.03.2025).
- [7] Slepov V.A., Knyazev V.G. *Tsenoobrazovanie v otraslyakh lesopromyshlennogo kompleksa* [Pricing in the branches of the timber industry]. Moscow: MINKH, 1983, 83 p.
- [8] Mosyagin V.I. *Tseny i tsenoobrazovanie v lesnom komplekse: teoreticheskie osnovy tseny i tsenoobrazovaniya, planovoe i rynochnoe tsenoobrazovanie, dogovornoe i transfertnoe tsenoobrazovanie, gosudarstvennoe regulirovanie tsen, tsenovaya politika, metody tsenoobrazovaniya, sistema i vidy tsen lesnogo kompleksa, tsenoobrazovanie v otraslyakh lesnogo kompleksa, kon'yunktura i tseny na lesnom rynke, testy, zadachi, imitatsionnye situatsii* [Prices and pricing in the forest complex: theoretical foundations of prices and pricing, planned and market pricing, contractual and transfer pricing, government regulation of prices, pricing policy, pricing methods, system and types of prices of the forest complex, pricing in the branches of the forest complex, conjuncture and prices in the forest market, tests, tasks, simulation situations]. Sankt-Peterburg: Politekhnik-servis [Polytechnic-Service], 2012, 639 p.
- [9] Petrov V.N., Dokuchaeva A.V. *Analiz i otsenka tsenoobrazovaniya na lesnye resursy* [Analysis and assessment of pricing for forest resources]. *Effektivnoe upravlenie ekonomikoy: problemy i perspektivy: sb. trudov VII Vserossiyskoy nauchno-prakticheskoy konferentsii, Simferopol'* [Effective economic management: problems and prospects: collected papers of the VII All-Russian scientific and practical conference], Simferopol, April 14–15, 2022. Simferopol: Tipografiya «Ariala», 2022, pp. 227–231.

- [10] Mosyagin V.I. *Analiz tsen s ispol'zovaniem priemov eliminirovaniy* [Price Analysis Using Elimination Techniques]. *Izvestiya Sankt-Peterburgskoy lesotekhnicheskoy akademii* [News of the Saint Petersburg Forestry Academy], 2013, no. 203, pp. 175–182.
- [11] Mosyagin V.I. *Sovershenstvovanie tsenoobrazovaniya v TsBP* [Improving pricing in the pulp and paper industry]. *Les Rossii: politika, promyshlennost', nauka, obrazovanie: mater. Vtoroy mezhdunarodnoy nauchno-tekhnicheskoy konferentsii* [Forests of Russia: policy, industry, science, education: Proceedings of the Second international scientific and technical conference], St. Petersburg, May 24–26, 2017, v. 3. St. Petersburg: Sankt-Peterburgskiy gosudarstvennyy lesotekhnicheskii universitet im. S.M. Kirova [St. Petersburg State Forest Engineering University named after S.M. Kirov], 2017, p. 218220.
- [12] Petrov V.N., Katkova T.E. *Stoimost' lesa na kornyu v Finlyandii* [The cost of forests on the root in Finland]. *Izvestiya Sankt-Peterburgskoy lesotekhnicheskoy akademii* [Izvestiya of the St. Petersburg Forestry Academy], 2014, no. 208, pp. 249–266.
- [13] Voronkov P. T., Borisova L. V., Belov A. N. *Issledovanie osobennostey dinamiki srednikh regional'nykh tsen lesomaterialov kruglykh v federal'nykh okrugakh Rossiyskoy Federatsii* [A study of the dynamics of average regional prices of roundwood in the federal districts of the Russian Federation]. *Lesokhozyaystvennaya informatsiya* [Forestry information], 2014, no. 1, pp. 3–10.
- [14] Fetishcheva Z.I., Nazarenko I.N. *Inflyatsiya i tsenovaya politika na predpriyatiyakh lesnogo sektora ekonomiki* [Inflation and pricing policy at enterprises of the forestry sector of the economy]. *Sovremennye tendentsii v ekonomike i upravlenii: novyy vzglyad* [Modern trends in economics and management: a new look], 2016, no. 40–1, pp. 167–174.
- [15] Evseeva I.V. *Tendentsii tsenoobrazovaniya lesopromyshlennogo kompleksa* [Trends in pricing of the timber industry]. *Mikroekonomika* [Microeconomics], 2009, no. 6, pp. 290–298.
- [16] Cheblakova E.V. *Lesnye tarify: osobennosti i perspektivy* [Forest tariffs: features and prospects]. *Vektor ekonomiki* [Vector of Economics], 2019, no. 11(41), p. 57.
- [17] Plastinin A.V., Sushko O.P. *Issledovanie sovmeshchennoy dinamiki tsen na tsellyulozu i pilomaterialy* [A study of the combined dynamics of prices for pulp and lumber]. *Problemy prognozirovaniya* [Problems of forecasting], 2017, no. 6(165), pp. 87–92.
- [18] Sushko O., Plastinin A. Model of determination and forecasting of prices of forest products using the example of pulp. *E3S Web of Conferences*, 2023. T. 402. International Scientific Siberian Transport Forum, TransSiberia 2023. DOI: 10.1051/e3sconf/202340213007
- [19] Sergeeva M.V. *Analiz tsenoobrazovaniya v lesozagotovitel'noy otrasli Rossiyskoy Federatsii* [Analysis of pricing in the logging industry of the Russian Federation]. *Ekonomika i upravlenie: problemy, resheniya* [Economics and management: problems, solutions], 2017, t. 6, no. 10, pp. 63–72.
- [20] Ryabova T.G., Mokhirev A.P., Lysenko A.S. *Dinamika i faktory stoimosti lesomaterialov v lesnoy promyshlennosti Rossii* [Dynamics and cost factors of timber in the Russian forest industry]. *Fundamental'nye issledovaniya* [Fundamental research], 2020, no. 4, pp. 94–98. DOI 10.17513/fr.42730
- [21] Osmanova E.U., Kulakova A.V. *Osobennosti tsenoobrazovaniya v lesopromyshlennom komplekse Rossiyskoy Federatsii, Respubliki Krym* [Features of pricing in the timber industry of the Russian Federation and the Republic of Crimea]. *Problemy natsional'noy ekonomiki v tsifrakh statistiki: Materialy VIII mezhdunarodnoy nauchno-prakticheskoy konferentsii* [Problems of the national economy in statistical figures: Proceedings of the VIII International Scientific and Practical Conference. In 2 volumes]. Tambov, December 07, 2021, v. 2. Tambov: Publishing House named after G.R. Derzhavin, 2022, pp. 102–110.
- [22] Sharonova T.V., Abrosimova M.S., Vieru T.P. *Formirovanie tsen na derevoobrabatyvayushchikh predpriyatiyakh* [Price formation at woodworking enterprises]. *Perspektivy razvitiya mekhanizatsii, elektrifikatsii i avtomatizatsii sel'skokhozyaystvennogo proizvodstva: Materialy V Mezhdunarodnoy nauchno-prakticheskoy konferentsii* [Prospects for the development of mechanization, electrification and automation of agricultural production: Proceedings of the V International Scientific and Practical Conference], Cheboksary, February 28, 2023. Cheboksary: Chuvash State Agrarian University, 2023, pp. 371–377.
- [23] Bulgakova M.A. *Podkhody k otsenke lesa na kornyu* [Approaches to forest assessment at the root]. *Problemy ekonomiki i yuridicheskoy praktiki* [Problems of economics and legal practice], 2019, t. 15, no. 1, pp. 34–38. DOI 10.33693/2541-8025-2019-15-1-34-38
- [24] Grigorev V.I., Ermakova N.A. *Transformatsiya tsepohek dobavlennoy stoimosti v rossiyskoy lesnoy promyshlennosti* [Transformation of value chains in the Russian forest industry]. *Innovatsionnaya ekonomika* [Innovative economics], 2020, no. 4(25), pp. 4–19.
- [25] Zambrzhitskaya E.S., Shchepot'eva E.Yu. *Sovershenstvovanie metodiki ucheta zatrat i kal'kulirovaniya sebestoimosti produktii v derevoobrabatyvayushchey promyshlennosti* [Improving the methodology of cost accounting and calculating the cost of production in the woodworking industry]. *Korporativnaya ekonomika* [Corporate Economics], 2015, no. 3(3), pp. 30–37.
- [26] Krivokochenko L.V. *Kon'unktura mirovogo rynka lesomaterialov i perspektivy razvitiya rossiyskogo eksporta* [Conjuncture of the global timber market and prospects for the development of Russian exports]. *Rossiyskiy vneshneekonomicheskii vestnik* [Russian Foreign Economic Bulletin], 2016, no. 2, pp. 71–81.
- [27] Sushko O.P. *Prognoznaya otsenka razvitiya lesnogo kompleksa na osnove evristicheskogo metoda* [Predictive assessment of the development of the forest complex based on the heuristic method]. *Ekonomika, predprinimatel'stvo i parvo* [Economics, entrepreneurship and law], 2023, t. 13, no. 12, pp. 5849–5868. DOI 10.18334/epp.13.12.118936
- [28] Medvedeva O. *Spetsifika provedeniya marketingovogo issledovaniya rynka lesobumazhnoy produktii Kaluzhskoy oblasti* [The specifics of conducting marketing research on the market of lumber and paper products in the Kaluga region]. *Predprinimatel'stvo* [Entrepreneurship], 2014, no. 5, pp. 111–118.

- [29] Koryakin V. A. *Analiz tsen na nedrevesnye resursy lesa: problemy i perspektivy* [Price analysis for non-timber forest resources: problems and prospects]. Sostoyanie i perspektivy ispol'zovaniya nedrevesnykh resurov lesa : Sbornik statey: Mezhdunarodnaya nauchno-prakticheskaya konferentsiya [Collection of articles: International Scientific and Practical Conference], 10–11 sentyabrya 2013, Kostroma, 10–11 september 2013 g. Pushkino: Vserossiyskiy nauchno-issledovatel'skiy institut lesovodstva i mekhanizatsii lesnogo khozyaystva, 2014, pp. 73–77.
- [30] Frolova M. *Spros na pilomaterialy sokrashchaetsya, tseny prodolzhayut padat'* [Demand for lumber is declining, prices continue to fall]. Byulleten' Assotsiatsii LESTEKh [Bulletin of the LESTECH Association], 2022, no. 4(10), pp. 16–20.
- [31] Rogulin R.S. Reshenie zadachi formirovaniya tsepohek postavok syr'ya lesopromyshlennykh predpriyatiy s tovarno-syr'evoy birzhi s determinirovannymi parametrami [Solving problem of forming raw material supply chains for wood enterprises from commodity exchange with deterministic parameters]. Lesnoy vestnik / Forestry Bulletin, 2024, vol. 28, no. 2, pp. 166–174. DOI: 10.18698/2542-1468-2024-2-166-174
- [32] Sushko O.P. *Finansovye instrumenty v torgovle lesnymi tovarami* [Predictive assessment of the development of the forest complex based on the heuristic method]. Ekonomika, predprinimatel'stvo i parvo [Economics, Entrepreneurship and Law], 2023, t. 13, no. 9, pp. 3851–3866. DOI 10.18334/epp.13.9.118929
- [33] Voronkov P.T., Degtev V.V., Golotovskaya A.V. *Kolichestvennaya otsenka faktorov, opredelyayushchikh dinamiku lesnogo dokhoda* [Quantitative assessment of the factors determining the dynamics of forest income]. Lesokhozyaystvennaya informatsiya [Forestry information], 2020, no. 2, pp. 34–42. DOI 10.24419/LHI.2304-3083.2020.2.03
- [34] Litvin D.A., Davydova G. V. *Zavisimost' effektivnosti lesnoy promyshlennosti i lesnogo khozyaystva ot form sobstvennosti: mezhdunarodnoe sravnenie* [The dependence of the efficiency of the forest industry and forestry on forms of ownership: an international comparison]. Sotsial'nye i ekonomicheskie sistemy [Social and Economic Systems], 2022, no. 6–2(30.2), pp. 242–263.
- [35] Zykin I.V. *Ekonomicheskie pokazateli lesopromyshlennogo kompleksa Urala v gody Velikoy Otechestvennoy voyny* [Economic indicators of the timber industry complex of the Urals during the Great Patriotic War]. Istoriya i sovremennoe mirovozzrenie [History and modern worldview], 2021, t. 3, no. 1, pp. 121–126. DOI 10.33693/2658-4654-2021-3-1-121-126.
- [36] Panchenko V.T. *Ekonomicheskiy analiz lesnoy promyshlennosti Rossii: tendentsii i perspektivy* [Economic analysis of the Russian forest industry: trends and prospects]. Ekonomiko-matematicheskie metody analiza deyatel'nosti predpriyatiy APK: VI Mezhdunarodnaya nauchno-prakticheskaya konferentsiya [Economic and mathematical methods of analyzing the activities of agricultural enterprises : VI International scientific and practical conference], Saratov, 15 April 2022. Saratov: TseSAin, 2022, pp. 321–328.
- [37] Aborkina E.O. *Prichiny i tendentsii razvitiya lesnogo kompleksa Rossii* [Causes and trends of development of the forest complex of Russia]. V tsentre ekonomiki [In the center of the economy], 2022, t. 3, no. 2, pp. 39–45.

*This work was carried out as a part of Russian Science Foundation project 24-28-01250 «Development of adaptive models for forecasting timber product prices».*

## Authors' information

**Sushko Ol'ga Petrovna**  — Dr. Sci. (Economic), Associate Professor of the Plekhanov Russian University of Economics, Sushko.OP@rea.ru

**Efimova Marina Vasil'evna** — Cand. Sci. (Economic), Associate Professor of the Plekhanov Russian University of Economics, Mishagina.MV@rea.ru

Received 10.04.2025.

Approved after review 15.05.2025.

Accepted for publication 02.12.2025.

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

## ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ СНЕГОБОЛОТОХОДА «БАЙКАЛ» НА ШИНАХ НИЗКОГО ДАВЛЕНИЯ С КОЛЕСНОЙ ФОРМУЛОЙ 6×6

С.Е. Манянин<sup>1</sup>, А.А. Калилец<sup>2</sup>, А.М. Беляев<sup>3</sup>,  
А.А. Ключкин<sup>1</sup>, В.В. Беляков<sup>1</sup>, В.С. Макаров<sup>1,3✉</sup>

<sup>1</sup>ФГБОУ ВО «Нижегородский государственный технический университет им. Р.Е. Алексеева» (НГТУ), 603155, Россия, г. Нижний Новгород, ул. Минина, д. 24

<sup>2</sup>ФКУ «Научно-производственное объединение «Специальная техника и связь» Министерства внутренних дел Российской Федерации, НИИ специальной техники, Центр специальных транспортных средств (ФКУ НПО «СТИС» МВД России, НИИСТ, ЦСТС), 111024, Россия, г. Москва ул. Пруд-Ключики, д. 2

<sup>3</sup>ФГБОУ ВО «Государственный университет управления» (ГУУ), 109542, Россия, Москва, Рязанский пр-т, д. 99

makvl2010@gmail.com

Рассмотрены вопросы исследования колесных машин на шинах низкого и сверхнизкого давления на примере снегоболотохода «Baikal» ЗТМ 30081-10. Приведен обзор литературных источников по данной теме. Сформулированы цель и задачи испытаний, определены измеряемые параметры, описаны приборы и оборудование для проведения измерений. Проведены исследования по определению максимальных скоростей на различных дорожно-грунтовых поверхностях: асфальтобетонном покрытии, грунтовом поле, снежной целине. Получены значения уровня шума в салоне машины в районе головы водителя и вибраций на месте водителя. Проверен минимальный радиус поворота, реализуемый машиной. Рассчитаны параметры, определяющие проходимость по снегу при разных давлениях в шинах. Дана оценка возможности преодоления водных преград и движению на открытой воде. Даны рекомендации по конструкции машины для производителя данной техники в целях ее совершенствования.  
**Ключевые слова:** подвижность, проходимость, снегоболотоход, снег, скорость, шины низкого давления

**Ссылка для цитирования:** Манянин С.Е., Калилец А.А., Беляев А.М., Ключкин А.А., Беляков В.В., Макаров В.С. Экспериментальные исследования снегоболотохода «Baikal» на шинах низкого давления с колесной формулой 6×6 // Лесной вестник / Forestry Bulletin, 2026. Т. 30. № 1. С. 122–137.

DOI: 10.18698/2542-1468-2026-1-122-137

Лесные магистрали представляют собой сформированные исключительно естественным грунтовым покрытием дороги без какого-либо искусственного укрепления или специальной подготовки. Их основная особенность заключается в крайне низкой интенсивности транспортного потока. Движение носит нерегулярный эпизодический характер: оно может быть строго сезонным (например, активизироваться лишь в сухое время года или зимой), крайне редким (для служебного доступа), связанным с циклами плановой лесозаготовительной деятельности в конкретном квартале.

Редкая эксплуатация, полное отсутствие содержания таких дорог и подверженность постоянному естественному воздействию формирует их специфические свойства. Со временем на проезжей части неизбежно накапливаются

препятствия в виде упавших веток, сучьев, а иногда и деревьев, поваленных ветром или вследствие естественного отмирания. Кроме того, движитель транспортных средств постепенно разрушает верхний слой грунта, поэтому на поверхности появляются ранее скрытые корневища близрастущих деревьев или кустарников. Эти корневища образуют на дорогах непрерывные продольные гребни либо отдельные жесткие выступы, создают характерные дискретные препятствия, серьезно затрудняют движение. Таким образом, лесная магистраль представляет собой постоянно изменяющийся объект, который находится в непрерывном взаимодействии с окружающей экосистемой.

Помимо таких профильных препятствий, как корневища и поваленные деревья, передвижение по «лесным дорогам» неизбежно предполагает преодоление протяженных заболоченных участков. Это связано с самой природой лесных экосистем, для которых характерно

тесное переплетение и взаимное проникновение различных типов ландшафтов. Особенно острой эта проблема становится в периоды межсезонья, когда уровень грунтовых вод значительно повышается вследствие обильного выпадения осадков и таяния снежного покрова. В это время даже относительно сухие летние тропы могут превращаться в труднопроходимые топкие участки.

В связи с этим при выборе транспортного средства для проведения работ в таких условиях крайне важно руководствоваться его способностью уверенно передвигаться по переувлажненным участкам лесной дороги. Основными характеристиками при этом становятся высокая проходимость, полный привод, система регулирования давления в шинах и, что немаловажно, низкое удельное давление на грунт. Обширные болотистые массивы в таких случаях могут служить единственно возможными маршрутами для передвижения транспортного средства, поскольку в отличие от густых лесных зарослей, на открытых заболоченных пространствах практически отсутствует плотная древесная и кустарниковая растительность, которая препятствует проезду. Таким образом, способность машины эффективно функционировать на заболоченной местности — критически важное требование, выполнение которого необходимо для обеспечения мобильности транспорта в условиях лесной глуши.

Отдельно можно выделить движение по зимним лесам, которое сопряжено с уникальным набором условий. Важно учитывать, что в зависимости от преобладающего типа леса снежный покров будет характеризоваться различными параметрами. Так, в густом, плотном хвойном лесу, где кроны деревьев создают существенное затенение и задерживают солнечное излучение, формируется высокий, но зачастую рыхлый снежный покров с относительно низкой плотностью. Напротив, в лиственном лесу, который зимой пропускает значительно больше солнечной энергии по причине отсутствия листвы, снег подвергается более интенсивному воздействию и солнца, и ветра. Это приводит к активному подтаиванию и последующему уплотнению снежного покрова, в результате чего его высота здесь, как правило, меньше, но плотность заметно выше, а поверхность часто покрыта более жестким настом.

Такие различия физико-механических свойств снежного покрова (высота, плотность, несущая способность и структура) напрямую связаны с микроклиматом под пологом леса, главным фактором которого является солнечная радиация. Данный фактор является важным, и

его необходимо учитывать при выборе транспортного средства. Таким образом, тип леса и прогнозируемое состояние снега становятся ключевыми элементами в планировании маршрута и подборе технологичного транспорта для эксплуатации в зимних условиях.

Именно в таких случаях используются специальные снегоболотоходные колесные машины на шинах низкого давления. Их обширные исследования проведены в Нижегородской научно-практической школе транспортного снеговедения [1–4]. Научные исследования были выполнены учеными и инженерами из Нижегородского государственного технического университета им. Р.Е. Алексеева (НГТУ) в частности А.А. Аникиным (рассмотрена теория передвижения колесных машин по снегу, в том числе на шинах низкого давления) [5–7], Л.В. Барахановым (рассмотрены характеристики снежного покрова как полотна пути для транспортно-технологических машин) [6, 8], В.В. Беляковым (общая теория подвижности транспортно-технологических машин, в том числе при передвижении по снегу) [7, 9, 10], А.Н. Блохиным (исследованы вопросы связанные распределением давлений в зоне контакта шин низкого давления со снегом) [11, 12], У.Ш. Вахидовым (исследовано влияние движителя при движении сельхозтехники) [9, 13], И.О. Донато (исследованы средства повышения проходимости) [6, 7], Д.В. Зезюлиным (проведены исследования в части эффективности движения по снегу) [9, 11, 12], В.С. Макаровым (исследован статистический подход к оценке проходимости транспортно-технологических машин) [14–16], С.Е. Маняниным (рассмотрены вопросы повышения проходимости колесных и гусеничных машин при движении по снегу) [17], Ю.И. Молевым (специалист в области исследования надежности специально вездеходной техники) [9, 13] и др. Кроме того, исследованиям таких машин посвящено много работ ученых и исследователей МГТУ им. Н.Э. Баумана (рассматриваются экспериментальные, стендовые и теоретические исследования движения колесных вездеходных транспортных средств и снегоходов) [18–22].

Современные снегоболотоходы на шинах сверхнизкого давления представляют собой узкоспециализированную транспортную платформу, область применения которой строго определена уникальными характеристиками. Их основное предназначение заключается в эффективном и безопасном передвижении по разным типам слабонесущих грунтов, в частности снежной целине, заболоченным участкам и вязкой почве.

Одним из важных качеств этих машин является их способность передвигаться вплаву за счет большого объема колес и наличия водоизмещающего корпуса, что позволяет им уверенно преодолевать значительные водные преграды вброд или на плаву.

В отличие от многих других вездеходов данные транспортные средства обладают универсальностью, позволяющей им перемещаться по дорогам общего пользования с усовершенствованным твердым покрытием благодаря соответствию их конструкции установленным правилам дорожного движения в части габаритов, массы и оборудования (наличия световых приборов, регистрационных знаков и т. д.). Таким образом, снегоболотоходы устраняют ключевую логистическую проблему, поскольку не требуют для переброски к месту работы использования спецтранспорта типа трейлеров или тягачей, что существенно повышает их мобильность и автономность.

Хорошая проходимость за счет шин сверхнизкого давления обеспечивает малое удельное давление на грунт, что позволяет передвигаться в сложных дорожно-грунтовых условиях и делает их незаменимыми для геологов, нефтяников, спасателей, охотников и путешественников, работающих в отдаленных и труднодоступных местах.

В НГТУ в разное время были проведены обширные исследования транспортных средств, работающих на шинах низкого давления, при движении по снегу [5, 11, 12, 23–27]. Отдельно можно выделить изучение функционирования шин низкого и сверхнизкого давления на разных грунтах и снеге, определение сопротивления качения и сцепления в зависимости от внутреннего давления воздуха [5, 11, 17]. Исследованы также управляемость и устойчивость [13] движения, общая эффективность движения в разных условиях эксплуатации [28–30]. Результаты экспериментально-теоретических исследований были апробированы на машинах, разработанных в Научно-исследовательской лаборатории «Транспортных машин и транспортно-технологических комплексов» (НИЛ ТМ и ТТК) при НГТУ, опытных и серийных образцов производства ООО «Завод Вездеходных Машин» [31] и ООО «Завод транспортных машин» (ООО «ТрансМаш») [32].

Необходимость применения снегоболотохода «Baikal» (ЗТМ-30081-10) на шинах низкого давления с колесной формулой 6×6 производства ООО «ТрансМаш» обусловлена недостаточной развитостью дорожной сети в районах Севера, Сибири и Дальнего Востока, вызывающей большие затруднения в осуществлении транс-

портно-технологических операций. Основной задачей машины «Baikal» (ЗТМ 30081-10) является транспортировка грузов и людей по бездорожью, снежной целине и болотам с преодолением водных участков. Колесные вездеходы, аналогичные вездеходу «Baikal» (ЗТМ 30081-10) применяются при геологоразведке, в промышленном и дорожном строительстве, для обслуживания предприятий энергетики и связи, в сельском и лесном хозяйстве, при промышленной рыбной ловле, в охотничьем хозяйстве, нефтегазовых отраслях промышленности, используются поисково-спасательными службами, в том числе при устранении последствий чрезвычайных ситуаций и стихийных бедствий [33, 34], а также в экспедициях и сложных туристических маршрутах.

Имеющийся в НГТУ задел по созданию машин на шинах низкого давления был использован при разработке вездехода «Baikal» (ЗТМ 30081-10). Испытания, проведенные для этого транспортного средства, показали свою практическую ценность и научную значимость.

**Описание объекта испытаний.** Снегоболотоход «Baikal» (ЗТМ 30081-10) хорошо проявил себя в условиях зимних испытаний (рис. 1).

В табл. 1 приведена техническая характеристика снегоболотохода «Baikal» ЗТМ 30081-10: геометрические размеры, параметры силовой установки, характеристики узлов и агрегатов машины.

## Цель работы

Цель работы — подтверждение основных характеристик снегоболотохода «Baikal», заложенных в техническом задании, использование полученных результатов для улучшения конструкции, характеристик и создание новой более совершенной машины.

## Материалы и методы

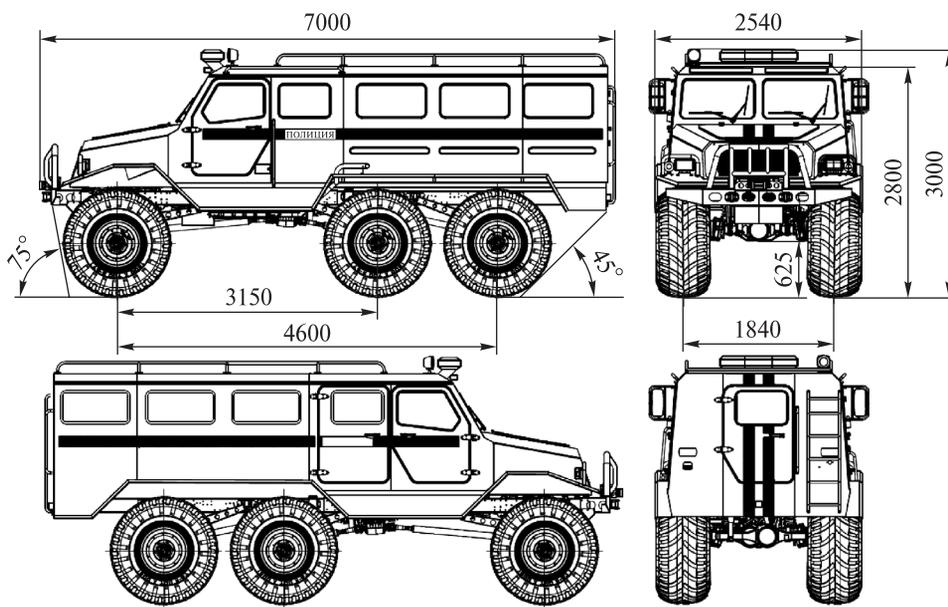
**Измеряемые параметры.** Все испытания проводились в соответствии с разработанными методиками. Определены следующие величины:

- скорость движения;
- траектория движения;
- шум в салоне машины;
- вибрации на месте водителя;
- силы тяги и сопротивления.

Высота и плотность снега определялись с помощью весового снегомера ВС-43 в соответствии с инструкцией по эксплуатации [35] и по методике, принятой в Нижегородской научно-практической школе транспортного снеговедения.



a



б

**Рис. 1.** Снегоболотоход «Байкал» (ЗТМ 30081-10): а — внешний вид, б — проекционные виды  
**Fig. 1.** Baikal snow and swamp-going vehicle (ZTM 30081-10): а — exterior view, б — projection views

Оценка амфибийных свойств проходила путем визуального наблюдения, комплексной проверки его способности уверенно передвигаться по воде и выходить из нее.

Оценка работоспособности машины при прохождении 1000 км проводилась путем визуального и инструментального контроля.

**Приборы и оборудование.** Испытания снегоболотохода «Байкал» выполнены на предва-

рительно поверенных оборудовании и средствах измерения (табл. 2).

Выбор средств измерений обусловлен опытом применения в НГТУ. Для определения координат машины и скоростей движения применялся измерительный комплекс Raselogic (рис. 2), который с помощью навигационного модуля GPS позволяет записывать и обрабатывать данные о местоположении и скорости.

Т а б л и ц а 1

**Техническая характеристика снегоболотохода «Байкал» (ЗТМ 30081-10)**  
**Technical specifications of the Baikal snow and swamp-going vehicle (ZTM 30081-10)**

Параметр	Характеристика
Тип машины	Колесная на шинах сверхнизкого давления снегоболотоходная
Колесная формула	6×6
Число посадочных мест (включая водителя), чел.	12
Снаряженная масса, кг	3800
Полная масса, кг	5650
Грузоподъемность, кг	2000
Длина, ширина, высота, мм	7000×2540×3000
База, мм	4600
Колея, мм	1840
Дорожный просвет, мм	625
Минимальное давление шины на грунт, кПа	12...20
Максимальная скорость движения, км/ч	70
Угол преодолеваемого машиной подъема / боковой крен, град.	30°/25°
Двигатель	ЗМЗ-409 бензиновый, 4-цилиндровый
Мощность номинальная, кВт (л.с)	110 (149,6)
Трансмиссия	Механическая
Сцепление	Фрикционное сухое однодисковое с гидравлическим приводом
Коробка передач	Механическая 5-ступенчатая с синхронизаторами на всех передачах
Коробка раздаточная	Механическая трехвальная с тремя выходами на карданные валы (один — на передний мост, два — на средний и задний мосты) двухступенчатая с жестко подключаемым передним ведущим мостом
Карданные передачи	Открытого типа с герметичными шарнирами на игольчатых подшипниках и скользящими шлицевыми соединениями
Ведущие мосты	Главная передача коническая гипоидного типа. Дифференциал самоблокирующийся. Поворотные кулаки переднего моста снабжены шарнирами равных угловых скоростей
Колесные редукторы	Двухступенчатые с двумя паразитными шестернями и цилиндрическими косозубыми шестернями внешнего зацепления
Рабочая тормозная система	Двухконтурная с гидроприводом гидровакуумным усилителем. Тормозные механизмы дисковые с суппортами на каждом колесе
Стояночная тормозная система	Трансмиссионная (на раздаточной коробке) с механическим тросовым приводом, тормозной механизм барабанный колодочного типа
Подвеска	Зависимая пружинная на продольных рычагах с поперечными тягами
Рама	Несущие параллельно расположенные лонжероны
Двигатель	Колесный с шинами сверхнизкого давления. Норма слойности 2. Размерность шин 1300×700×21»

Т а б л и ц а 2

**Измеряемые величины и средства измерений**

**Measured values and measuring instruments**

Параметр	Средство измерения
Скорость движения, км/ч	Racelogic VBox
Траектория движения	Racelogic VBox
Шум в салоне машины, дБ	Шумомер ADA ZSM 130
Вибрации на месте водителя, м/с <sup>2</sup>	Виброметр ВК-5М
Тяговые усилия, сопротивления, Н	Динамометр ДОУ-3-100И
Давление воздуха в шинах, Па	Манометр стрелочный GL-820
Высота снега, см	Весовой снегомер ВС-43
Плотность снега, г/см <sup>3</sup>	Весовой снегомер ВС-43
Угол уклона, град.	Угломер электронный

Для измерения шума в салоне машины и определения вибраций на месте водителя применялись шумомер ADA ZSM 130 (рис. 3) и виброметр ВК-5М (рис. 4).

Тяговые усилия и сопротивления качения были определены при помощи электронного динамометра ДОУ-3-20И по методике, изложенной в работе [5]. В рамках данной методики в зависимости от определяемого параметра вспомогательная машина соединяется тросом с датчиком силы с испытуемой. В случае определения силы сопротивления вспомогательная машина тянет испытуемую, а при определении силы тяги, наоборот, испытуемая — вспомогательную (рис. 5).

Высота и плотность снега определялись с помощью весового снегомера ВС-43 путем измерения высоты и массы вырезаемой пробы снега. Измерения проводились на мерном участке без заметных сугробов и выдуваний. При наличии отличных от требуемых на мерном участке частей они исключались из расчетов. Средние значения в одной точке определялись по результатам трех-четырех измерений, процедура замеров повторялась по длине мерного участка 5 раз.

**Место проведения испытаний.** Испытания снегоболотохода «Байкал» в целях определения основных характеристик проводились в разное время года недалеко от г. Семенова (д. Мериново) Нижегородской области. В качестве характерных участков выбрали участки дороги с усовершенствованным покрытием, грунтовую дорогу через поле, поле с высотой



Рис. 2. Измерительный комплекс Racelogic VBox, установленный на панели приборов испытуемой машины

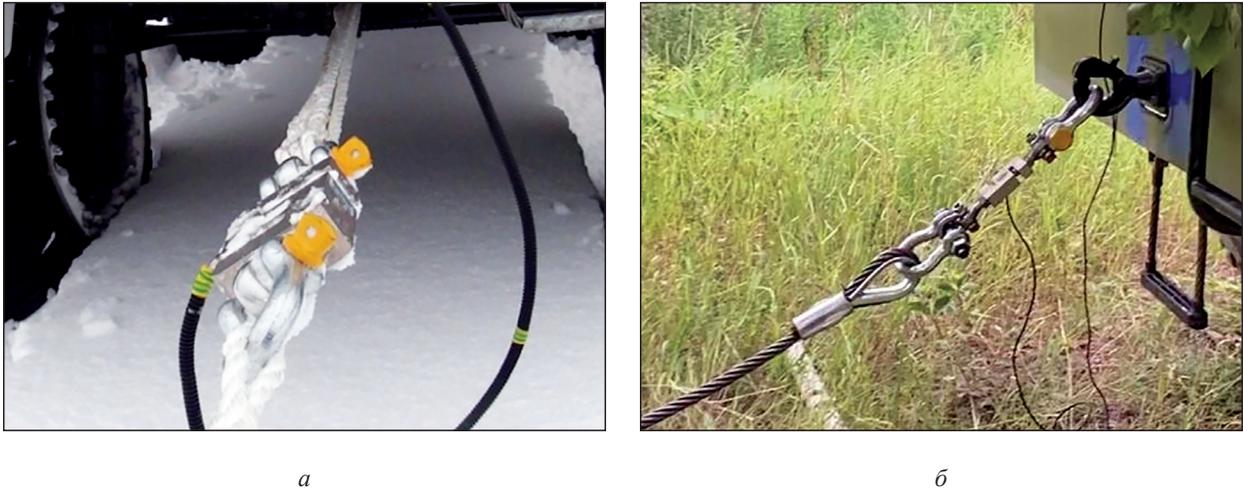
Fig. 2. Racelogic VBox measuring system mounted on the test vehicle's dashboard



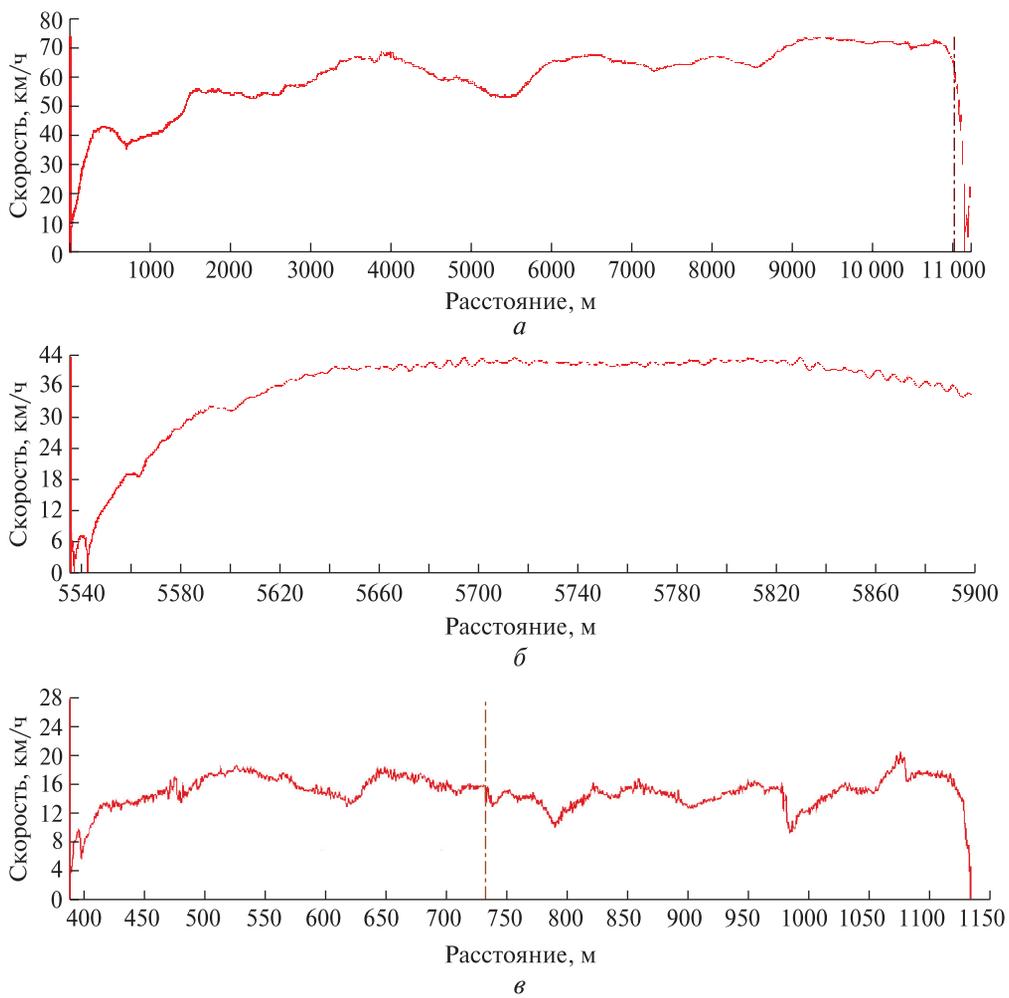
Рис. 3. Шумомер ADA ZSM 130  
Fig. 3. ADA ZSM 130 sound intensity meter



Рис. 4. Виброметр ВК-5М  
Fig. 4. VK-5M vibration sensor



**Рис. 5.** Электронный динамометр ДОУ-3-20И: *a* — зимой; *б* — летом  
**Fig. 5.** DOU-3-20I electronic dynamometer: *a* — winter; *б* — summer



**Рис. 6.** Разгон снегоболотохода «Байкал» до максимальной скорости: *a* — на асфальте; *б* — по полю; *в* — на снегу  
**Fig. 6.** Acceleration of the Baikal snow and swamp-going vehicle to maximum speed: *a* — on asphalt; *б* — on a field; *в* — on snow

снега 40...60 см и средней плотностью 0,3 г/см<sup>3</sup>, ручей близ р. Керженец, р. Керженец на участке с пологим берегом.

Длина мерных участков была достаточной для разгона машины до предельной скорости. Максимальная скорость при движении по полю могла быть ограничена внутренними ощущениями безопасности водителя.

**Результаты испытаний снегоболотохода на шинах низкого давления.** При измерении скорости машина двигалась по прямолинейному участку местности с большими радиусами поворота. Зафиксированы изменения скорости в течение разгона для трех случаев движения (рис. 6): по дороге с усовершенствованным дорожным покрытием (по асфальту), по грунтовой дороге и по снегу высотой 40...60 см. Данные получены в программе Racelogic VBox.

Максимальные измеренные скорости показали следующие значения:

- для асфальта — более 70 км/ч;
- для грунтового поля — более 40 км/ч;
- для снежного поля — более 20 км/ч.

При измерении шума и вибраций фиксировались значения на скоростях более 70 км/ч и движении транспортного средства по дороге с усовершенствованным дорожным покрытием.

Измеренный шум в салоне машины в районе головы водителя не превышал допустимых значений и составил не более 85 дБА. Вибрации на месте водителя при движении с максимальной скоростью составили не более 10<sup>-6</sup> м/с<sup>2</sup>.

Оценка маневренности машины проводилась на специально подготовленном участке дороги с твердым и ровным опорным покрытием, обеспечивающим стабильное сцепление колес. Маневры выполнялись последовательно с полностью вывернутым рулевым колесом в крайнее левое и в крайнее правое положение. Средние значения радиуса поворота, рассчитанные по колею наружного (идущего по большому радиусу) колеса, составили 12,5 м.

Сопротивление качения движителя машины проводилось путем буксировки испытуемой машины при включенной нейтральной передаче в коробке переключения передач (КПП). При этом полученные значения включают не только сопротивление от движителя, а также влияние КПД трансмиссии вплоть до КПП. Перед испытаниями машина подготавливалась, был сделан пробный заезд, для того чтобы узлы и агрегаты транспортного средства прогрелись и чтобы исключить влияние дополнительного сопротивления от вязкости смазки в КПП, колесных редукторах, карданных передачах. Испытания проводились при следующих значениях давления в шинах: 15 кПа, 50 кПа, 80 кПа.

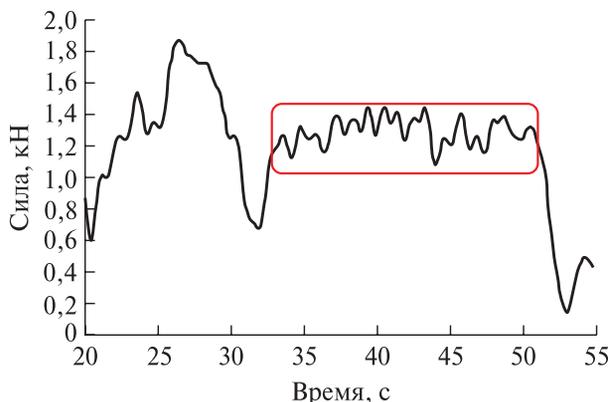


Рис. 7. Замер сопротивления движению  
Fig. 7. Measuring driving resistance

Замеры проводились следующим образом. Испытуемую машину прицепляли сзади к вспомогательной машине через датчик замера силы (электронный динамометр ДОУ-3-20И). Вспомогательная машина начинала движение до установления постоянной скорости. Сопротивление движению определялось как среднее на участке протягивания машины с постоянной минимальной скоростью (рис. 7).

В результате были получены следующие средние значения сил сопротивления движению от движителя транспортного средства:

- при 80 кПа — 1,28 кН;
- при 50 кПа — 1,30 кН;
- при 15 кПа — 1,35 кН.

Коэффициент сопротивления качению рассчитывается по зависимости из теории автомобиля [36]

$$f = \frac{G_a}{F_f},$$

где  $G_a$  — полный вес снегоболотохода;

$F_f$  — сила сопротивления движению.

В среднем полученные значения соответствуют коэффициенту сопротивления качению порядка 0,03.

В зависимости от давления в шинах установлены следующие средние значения сил сопротивления при движении по снегу:

- при 80 кПа — 8,6 кН;
- при 50 кПа — 7,8 кН;
- при 15 кПа — 7,0 кН.

Полученные значения соответствуют коэффициенту сопротивления качению порядка 0,18...0,23.

Сила тяги определена по максимально реализуемой машиной силе до момента начала интенсивного буксования. При этом машина практически останавливается и смятие снега под движителем происходит значительно

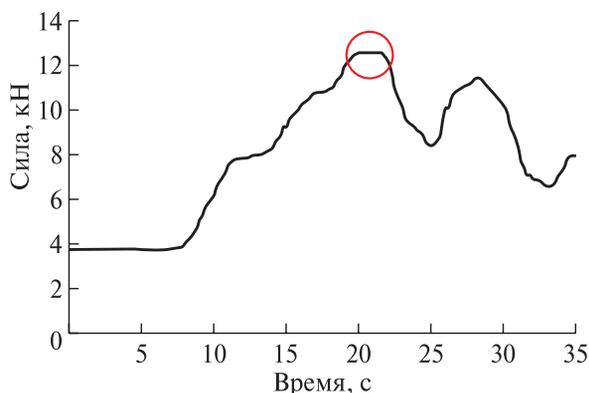


Рис. 8. Замер силы тяги  
Fig. 8. Measuring hauling capability

медленнее. Измерения проводились во время буксирования вспомогательной машины с неизмеримой полной массой. Водитель вспомогательной машины плавно тормозил. Фиксировалось максимальное значение (рис. 8).

Получены следующие средние значения силы тяги на снегу при разном давлении:

- при 80 кПа — 11,8 кН;
- при 50 кПа — 12,9 кН;
- при 15 кПа — 14,3 кН.

Коэффициент сцепления рассчитывается по зависимости из теории автомобиля [36]

$$\varphi = \frac{G_a}{F_\phi},$$

где  $F_\phi$  — сила тяги.

Полученные значения соответствуют коэффициенту сцепления порядка 0,32...0,38.

Таким образом, для снегоболотохода «Байкал» движение по снежной целине с высотой снега 40...60 см и его средней плотностью 0,3 г/см<sup>3</sup> является преодолимым для всех возможных значений давления в шинах. Репрезентативная выборка при движении по снегу составила порядка 70 % пути, на котором были проведены замеры. Так, мерный участок составил 400 м. На участке пути (30 %) наблюдалось наличие подлежащего слоя (земли, на которой лежал снег) с дискретными препятствиями (деревья и другие, неопределенные объекты), сугробами, выдуваниями, пересечением с колеями. Не учитывался выезд и выезд с данных участков. Измерения проводились сначала в одну сторону, затем в обратную со смещением колеи на 5 м вбок. Характеристики снега определялись между этими колеями.

Для установления амфибийных свойств определяли плав, бродоходность, возможность входа и выхода из воды, скорость, время нахождения на плаву (рис. 9).

Испытания водоходных качеств показали, что снегоболотоход «Байкал» преодолевает водные преграды вброд. Измеренные углы входа и выхода из воды составляли до 20°. Замер углов осуществлялся путем остановки машины при визуальном максимальном задирании вверх носовой (бампера) части машины. При этом электронным угломером фиксировалось значение.

Вездеход показал, что при нахождении на плаву отсутствует проникание воды в салон машины. За счет колесного движителя с шинами низкого давления, транспортное средство может оставаться на плаву неограниченно долго, в том числе с полной загрузкой.

Скорость движения в стоячей воде в целях исключения влияния ветра определялась как среднее значение при движении в одну сторону и обратно. По результатам трех измерений скорость машины на воде за счет вращения движителя составила в пределах 3...5 км/ч.

В ходе пробеговых испытаний, а также замеров по определению параметров проходимости и подвижности, параметров микроклимата (шума, вибрации) салона снегоболотохода машина прошла более 1000 км, при этом не было выявлено поломок и других отклонений, связанных с конструкцией транспортного средства.

## Результаты и обсуждение

В ходе экспериментальных исследований снегоболотоход «Байкал» (ЗТМ 30081-10) преодолел более 1000 км. При этом были экспериментально подтверждены его основные технические характеристики, определены параметры подвижности и проходимости.

Максимальные значения скорости на различных дорожно-грунтовых поверхностях составили: на асфальтобетонном покрытии — более 70 км/ч, на грунтовом поле — более 40 км/ч, по снежной целине с высотой снежного покрова 40...60 см — более 20 км/ч.

Дополнительно при испытаниях на асфальтобетонном покрытии при движении с максимальной скоростью были определены уровень шума в салоне машины в районе головы водителя и вибраций на месте водителя: полученные максимальные значения на превысили 85 дБА и 10<sup>-6</sup> м/с<sup>2</sup> соответственно.

При оценке маневренности снегоболотохода экспериментально подтвержден радиус поворота по колею наружного колеса 12,5 м, что очень важно для определения минимального радиуса разворота машины, а также имеет значение при движении по узким дорогам, выполнении работ, где необходимо маневрировать в лесных массивах.



*a*



*б*

**Рис. 9.** Примеры испытаний водоходных качеств: *a* — пересечение ручья; *б* — плавание на открытой воде

**Fig. 9.** Examples of testing water propulsion ability: *a* — crossing a stream; *б* — floating in open water

Параметры проходимости по снегу определялись при давлении в шинах 15...80 кПа. Средние значения сил сопротивления движению от двигателя транспортного средства изменяются в пределах 1,35...1,28 кН (большие значения соответствуют меньшим значениям

давления воздуха в шинах). При этом коэффициент внутреннего сопротивления качению шины составляет порядка 0,03. Средние значения сил сопротивления при движении по снегу изменяются в пределах 7,0...8,6 кН. Коэффициент сопротивления движению за счет смятия

снега составляет 0,18...0,23, при этом большие значения соответствуют большим значениям давления воздуха в шинах. Средние значения силы тяги на снегу изменяются в пределах 14,3...11,8 кН. Значения коэффициента сцепления составили 0,32...0,38, при этом большие значения соответствуют меньшим значениям давления воздуха в шинах. В целом для снегоболотохода «Байкал» с колесной формулой 6×6 при движении по снежной целине высотой 40...60 см со средней плотностью 0,3 г/см<sup>3</sup> обладает абсолютной проходимостью. Измерения были проведены на участке местности с указанными характеристиками суммарной протяженностью в одну и другую сторону по 280 м.

Конструкция машины обеспечивает преодоление водных преград и движение на открытой воде со скоростью не менее 3...5 км/ч, при этом углы входа и выхода из воды составляют не менее 20°, а само транспортное средство может оставаться на плаву неограниченно долго, в том числе с полной загрузкой.

## Выводы

Предложена методика по проверке требований технического задания на проектирование машин и их характеристик в части определения и подтверждения их заданных параметров, которая представляет собой составную часть общей концепции научных, методологических и практических основ реверсивного инжиниринга для решения комплексных задач импортозамещения в агропромышленном и лесном комплексах Российской Федерации.

Полученные данные позволяют дать рекомендации по конструкции машины для производителя данной техники в целях ее совершенствования. На сегодняшний день реализованы технические решения по снижению снаряженной массы машины, которые позволят либо увеличить характеристики проходимости (удельное давление движителя на грунт (снег)), либо повысить грузоподъемность на 1 т. Помимо этого возможно улучшение характеристик микроклимата в салоне машины (снижение шума, вибрации). Использование в конструкции машины алюминиевого кузова позволяет повысить надежность и долговечность конструкции, применение кузовных панелей, крепящихся на вытяжные заклепки, позволяет повысить технологичность сборки и ремонта. Кроме того, такая конструкция кузова снегоболотохода снижает положение центра тяжести, что в свою очередь поперечную и продольную устойчивость и улучшает характеристики движения по воде.

*Статья подготовлена в рамках выполнения научно-исследовательской работы, реализуемой за счет средств федерального бюджета (источник финансирования Минобрнауки России) по теме: «Разработка научных, методологических и практических основ реверсивного инжиниринга для решения комплексных задач импортозамещения в агропромышленном комплексе Российской Федерации» (шифр научной темы FZNW-2024-0026).*

## Список литературы

- [1] Беляков В.В. Нижегородская научно-практическая школа транспортного снеговедения. Юбилейное издание к 105-летию НГТУ им. Р.Е. Алексеева «Научно-практические школы Нижегородского государственного технического университета им. Р.Е. Алексеева» / сост. И.Б. Никитина. Н. Новгород: Изд-во НГТУ им. Р.Е. Алексеева, 2022. Ч. 2. С. 251–305.
- [2] Козин В.М. Избранные задачи ледотехники. Средства и методы решения. Н. Новгород: Изд-во НГТУ им. Р.Е. Алексеева, 2023. 772 с.
- [3] Нижегородская научная школа вездеходных машин, транспортно-технологических комплексов и специального оборудования/ под общ. ред. В.В. Белякова, А.П. Куляшова. Н. Новгород: Изд-во НГТУ им. Р.Е. Алексеева, 2007. 169 с.
- [4] Антоненц В.А., Школа С.В. Рукавишников. Развитие теории систем местность машина и опыт создания на ее основе гусеничных снегоболотоходных машин. Н. Новгород: Изд-во НГТУ им. Р.Е. Алексеева, 2017. 298 с.
- [5] Anikin A. Calculation of traction capabilities of wheeled vehicles on low-pressure tires on snow // 19th Int. and 14th European-African Regional Conf. of the ISTVS, Budapest, Hungary, September 25–27, 2017. № 19.
- [6] Аникин А.А., Барахтанов Л.В., Донато И.О. Физико-механические свойства снега как полотна пути для движения машин // Наука и образование, 2010. № 10. С. 5.
- [7] Аникин А.А., Беляков В.В., Донато И.О. Теория передвижения колесных машин по снегу. М.: Изд-во МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2006. 240 с.
- [8] Барахтанов Л.В. Снегоходные машины. Горький: Волго-Вятское кн. изд-во, 1986. 191 с.
- [9] Полотно пути транспортно-технологических машин (справочные материалы к теории «машина — местность») / под ред. В.В. Белякова, А.А. Куркина. Н. Новгород: Изд-во Нижегородского гос. технического ун-та им. Р.Е. Алексеева, 2014. 446 с.
- [10] Беляков В.В. Взаимодействие со снежным покровом эластичных движителей специальных транспортных машин: дис. ... д-ра техн. наук 05.05.03. Н. Новгород, 1999. 485 с.
- [11] Блохин А.Н. Определение нормальных усилий в контакте шины сверхнизкого давления с опорной поверхностью // Журнал автомобильных инженеров, 2011. № 2 (67). С. 30–33.
- [12] Алипов А.А. Распределение давлений в контакте шины с дорогой // Вестник Ижевского государственного технического университета, 2011. № 1 (49). С. 15–18.

- [13] Вахидов У.Ш. Обеспечение устойчивости транспортно-технологических машин сельскохозяйственного назначения при торможении на шинах сверхнизкого давления // Инженерные технологии и системы, 2020. Т. 30. № 4. С. 609–623.
- [14] Макаров В.С. Разработка научно обоснованных технических решений по созданию подвижных комплексов мониторинга береговых зон: дис. ... д-ра техн. наук 05.05.03. Н. Новгород, 2017. 321 с.
- [15] Макаров В.С. Исследование распределения плотности снега по высоте снежного покрова // Материалы V Байкальской междунар. науч. конф. — стратегической сессии «Снежный покров, атмосферные осадки, аэрозоли», г. Иркутск, 19–23 июня 2023. Иркутск: Из-во Репроцентр А1, 2025. 224 с.
- [16] Папунин А.В. К вопросу преодоления дискретных снежных препятствий транспортно-технологическими машинами // Труды НГТУ им. Р.Е. Алексеева, 2022. № 2 (137). С. 94–104.
- [17] Манянин С.Е. Повышение проходимости колесных и гусеничных машин по снегу путем научно обоснованного выбора конструктивных параметров движителей: дис. ... д-ра техн. наук 05.05.03. Н. Новгород, 2019. 412 с.
- [18] Котиев Г.О., Горелов В.А., Ганбаг Д. Моделирование движения колесных вездеходных транспортных средств // Mechanics Development Issues, 2009. С. 151–158.
- [19] Бяков К.Е., Горелов В.А., Чудаков О.И. Технология стендовых испытаний колесных машин с воспроизведением эксплуатационных нагрузочных режимов // Транспортные системы, 2021. № 2 (20). С. 16–24.
- [20] Горелов В.А., Наседкин О.К., Чудаков О.И. Математическая модель криволинейного движения транспортной системы для перевозки крупногабаритных неделимых грузов // Транспортные системы, 2019. № 4 (14). С. 34–41.
- [21] Дьяков А.С. Экспериментальная оценка устойчивости и управляемости снегоходов отечественного производства // Труды НГТУ им. Р.Е. Алексеева, 2018. № 1 (120). С. 148–155.
- [22] Дьяков А.С. Экспериментальная оценка скоростных и тормозных свойств снегоходов отечественного производства // Труды НГТУ им. Р.Е. Алексеева, 2018. № 1 (120). С. 156–164.
- [23] Беляков В.В. Обеспечение экологической безопасности движения вездеходных машин на местности // Экологические системы и приборы, 2016. № 12. С. 24–35.
- [24] Манянин С.Е. Повышение проходимости колесных машин по снегу путем применения шин сверхнизкого давления: дис. ... канд. техн. наук 05.05.03. Н. Новгород, 2012. 200 с.
- [25] Соколов И.А. Моделирование шин сверхнизкого давления // Проблемы транспортных и технологических комплексов: сб. научных статей III Междунар. науч.-техн. конф., посвященной 40-летию кафедры «Строительные и дорожные машины» НГТУ им. Р.Е. Алексеева, 2012. С. 175–179.
- [26] Барахтанов Л.В. Исследование базовых характеристик шин сверхнизкого давления // Труды НГТУ им. Р.Е. Алексеева, 2012. № 2 (95). С. 172–178.
- [27] Беляков В.В. Расчет проходимости колесных машин при криволинейном движении по снегу // Вестник Ижевского государственного технического университета, 2010. № 3 (47). С. 35–38.
- [28] Зезюлин Д.В. Разработка методики выбора конструкционных параметров движителей, обеспечивающих эффективность движения колесных машин по снегу: дис. ... канд. техн. наук 05.05.03. Н. Новгород, 2013, 218 с.
- [29] Зезюлин Д.В. Метод повышения эффективности движения колесных машин по снегу путем выбора рациональных параметров движителей // Фундаментальные исследования, 2013. № 10–6. С. 1203–1208.
- [30] Зезюлин Д.В. Влияние параметров движителей на показатели эффективности колесных машин при движении по снегу // Современные проблемы науки и образования, 2012. № 5. С. 84.
- [31] ООО «Завод вездеходных машин». URL: <https://zvm-nn.ru/> (дата обращения 02.12.2024).
- [32] ООО «ТрансМаш». URL: <https://www.transmashnn.ru/> (дата обращения 02.12.2024).
- [33] Тарарыкин А.М., Калач А.В. Перспективный облик и основные характеристики пожарного автомобиля первой помощи на базовом шасси вездехода-амфибии // Техносферная безопасность, 2022. № 1 (34). С. 59–65.
- [34] Тарарыкин А.М., Калач А.В., Елфимова М.В. Разработка снегоболотохода с прицепом для тушения пожаров в труднодоступных плавневых зонах // Сервис безопасности в России: опыт, проблемы, перспективы. Арктика — регион стратегических интересов: правовая политика и современные технологии обеспечения безопасности в арктическом регионе: Матер. Междунар. науч.-практ. конф. С.-Петербург, 27 октября 2022 г. С.-Пб.: С.-Петербургский университет Государственной противопожарной службы Министерства Российской Федерации по делам гражданской обороны, чрезвычайным ситуациям и ликвидации последствий стихийных бедствий имени Героя Российской Федерации генерала армии Е.Н. Зиничева, 2022. С. 30–33.
- [35] Снегомер весовой ВС-43. Руководство по эксплуатации. 18 с.
- [36] Кравец В.Н. Теория автомобиля. Н. Новгород: Изд-во Нижегородского гос. технического ун-та им. Р.Е. Алексеева, 2013. 411 с.

## Сведения об авторах

**Манянин Сергей Евгеньевич** — д-р техн. наук, профессор, ФГБОУ ВО «Нижегородский государственный технический университет им. Р.Е. Алексеева» (НГТУ), sergmanian@yandex.ru

**Калилец Андрей Андреевич** — мл. науч. сотр. ФКУ «Научно-производственное объединение «Специальная техника и связь» Министерства внутренних дел Российской Федерации, НИИ специальной техники, Центр специальных транспортных средств (ФКУ НПО «СТиС» МВД России, НИИСТ, ЦСТС)

**Беляев Александр Михайлович** — канд. техн. наук, директор Центра интеллектуальной собственности и трансфера технологий, ФГБОУ ВО «Государственный университет управления» (ГУУ), am\_belyaev1990@guu.ru

**Клюшкин Антон Алексеевич** — ассистент, ФГБОУ ВО «Нижегородский государственный технический университет им. Р.Е. Алексеева» (НГТУ), aak-nttu@yandex.ru

**Беляков Владимир Викторович** — д-р техн. наук, профессор, ФГБОУ ВО «Нижегородский государственный технический университет им. Р.Е. Алексеева» (НГТУ), belyakov@nntu.ru

**Макаров Владимир Сергеевич** <sup>✉</sup> — д-р техн. наук, профессор, ФГБОУ ВО «Нижегородский государственный технический университет им. Р.Е. Алексеева» (НГТУ); ст. науч. сотр. Лаборатории реверсивного инжиниринга ФГБОУ ВО «Государственный университет управления» (ГУУ), makvl2010@gmail.com

Поступила в редакцию 08.09.2025.

Одобрено после рецензирования 02.10.2025.

Принята к публикации 11.12.2025.

## EXPERIMENTAL STUDIES OF SNOW AND SWAMP-GOING VEHICLE «BAIKAL» WITH LOW-PRESSURE TIRES WITH 6×6 WHEEL

S.E. Manyanin<sup>1</sup>, A.A. Kalilets<sup>2</sup>, A.M. Belyaev<sup>3</sup>,  
A.A. Klyushkin<sup>1</sup>, V.V. Belyakov<sup>1</sup>, V.S. Makarov<sup>1,3</sup> <sup>✉</sup>

<sup>1</sup>Nizhny Novgorod State Technical University n.a. R.E. Alekseeva, 24, Minina st., 603155, Nizhny Novgorod, Russia

<sup>2</sup>Research Institute of Special Equipment «Scientific and Production Association «Special Equipment and Communications» of the Ministry of Internal Affairs of the Russian Federation, 2, Prud-Kluchiki st., 111024, Moscow, Russia

<sup>3</sup>State University of Management, 99, Ryazansky Prospekt, 109542, Moscow, Russia

makvl2010@gmail.com

The research data on wheeled vehicles having low and ultra-low-pressure tires are considered on the example of the «Baikal» (ZTM 30081-10) snow and swamp-going vehicle. A review of literary sources on the topic is provided. The purpose and objectives of the tests are formulated, the parameters to be measured are defined, and the instruments and equipment for carrying out the measurements are described. The research was conducted to determine maximum speeds on various road and ground surfaces such as asphaltic concrete pavement, ground road and virgin snow. The values of noise levels in the vehicle interior in the driver's head area and vibrations at the driver's seat were obtained. The minimum turning radius achievable by the vehicle has been verified. The parameters determining flotation ability on snow at different tire pressures have been calculated. An assessment of the possibility to overcome water obstacles and movement on open water is given. Recommendations in order to improve the vehicle design are given for a manufacturer.

**Keywords:** mobility, cross-country ability, all-terrain vehicle, snow, speed, low-pressure tires

**Suggested citation:** Manyanin S.E., Kalilets A.A., Belyaev A.M., Klyushkin A.A., Belyakov V.V., Makarov V.S. *Eksperimental'nye issledovaniya snegobolotokhoda «Baikal» na shinakh nizkogo davleniya s kolesnoy formuloy 6×6* [Experimental studies of snow and swamp-going vehicle «Baikal» with low-pressure tires with 6×6 wheel]. *Lesnoy vestnik / Forestry Bulletin*, 2026, vol. 30, no. 1, pp. 122–137.

DOI: 10.18698/2542-1468-2026-1-122-137

## References

- [1] Belyakov V.V. *Nizhegorodskaya nauchno-prakticheskaya shkola transportnogo snegovedeniya* [Nizhny Novgorod Scientific and Practical School of Transport Snow Science]. Yubileynoe izdanie k 105-letiyu NGTU im. R.E. Alekseeva «Nauchno-prakticheskie shkoly Nizhegorodskogo gosudarstvennogo tekhnicheskogo universiteta im. R.E. Alekseeva» [Anniversary publication for the 105th anniversary of R.E. Alekseev NSTU. Scientific and Practical Schools of R.E. Alekseev Nizhny Novgorod State Technical University]. N. Novgorod: R.E. Alekseev NSTU, 2022, part 2, pp. 251–305.
- [2] Kozin V.M. *Izbrannye zadachi ledotekhniki. Sredstva i metody resheniya* [Selected Problems of Ice Engineering. Solution Tools and Methods]. Nizhny Novgorod: R.E. Alekseev NSTU, 2023, 772 p.
- [3] *Nizhegorodskaya nauchnaya shkola vezdekhodnykh mashin, transportno-tekhnologicheskikh kompleksov i spetsial'nogo oborudovaniya* [Nizhny Novgorod Scientific School of All-Terrain Vehicles, Transport and Technological Complexes, and Specialized Equipment]. Ed. V.V. Belyakov, A.P. Kulyashov. Nizhny Novgorod: R.E. Alekseev NSTU, 2007, 169 p.
- [4] Antonets V.A. *Shkola S.V. Rukavishnikova. Razvitiye teorii sistem mestnost' mashina i opyt sozdaniya na ee osnove gusenichnykh snegobolotokhodnykh mashin* [S.V. Rukavishnikov's School. Development of the Theory of Terrain-Machine Systems and the Experience of Creating Tracked Snow and Swamp-Going Vehicles Based on It]. Nizhny Novgorod: R.E. Alekseev NSTU, 2017, 298 p.
- [5] Anikin A. Calculation of Traction Capabilities of Wheeled Vehicles on Low-Pressure Tires on Snow. 19th International and 14th European-African Regional Conference of the ISTVS, Budapest, Hungary, September 25–27, 2017, No. 19.
- [6] Anikin A.A., Barakhtanov L.V., Donato I.O. *Fiziko-mekhanicheskie svoystva snega kak polotna puti dlya dvizheniya mashin* [Physical and mechanical properties of snow as a roadbed for vehicle movement]. Nauka i obrazovanie [Science and education], 2010, no. 10, p. 5.
- [7] Anikin A.A., Belyakov V.V., Donato I.O. *Teoriya peredvizheniya kolesnykh mashin po snegu* [Theory of wheeled vehicle movement on snow]. Moscow: Bauman Moscow State Technical University Publishing House, 2006, 240 p.
- [8] Barakhtanov L.V. *Snegokhodnye mashiny* [Snowmobile vehicles]. Gorky: Volga-Vyatka Book Publishing House, 1986, 191 p.
- [9] *Polotno puti transportno-tekhnologicheskikh mashin (spravochnye materialy k teorii «mashina — mestnost'»)* [Roadbed of transport and technological vehicles (reference materials to the «machine — terrain» theory)]. Ed. V.V. Belyakov, A.A. Kurkin. Nizhny Novgorod: Nizhny Novgorod State Technical University named after R.E. Alekseeva, 2014, 446 p.
- [10] Belyakov V.V. *Vzaimodeystvie so snezhnym pokrovom elastichnykh dvizhiteley spetsial'nykh transportnykh mashin* [Interaction with snow cover of elastic movers of special transport vehicles]. Dis. D-r Sci. (Tech.). Nizhny Novgorod, 1999, 485 p.
- [11] Blokhin A.N. *Opredelenie normal'nykh usilyi v kontakte shiny sverkhnizkogo davleniya s opornoй poverkhnost'* [Determination of normal forces in contact of an ultra-low pressure tire with a supporting surface]. Zhurnal avtomobil'nykh inzhenerov [J. of Automotive Engineers], 2011, no. 2 (67), pp. 30–33.
- [12] Alipov A.A. *Raspredelenie davleniy v kontakte shiny s dorogoy* [Distribution of pressures in contact of a tire with a road]. Vestnik Izhevskogo gosudarstvennogo tekhnicheskogo universiteta [Bulletin of Izhevsk State Technical University], 2011, no. 1 (49), pp. 15–18.
- [13] Vakhidov U.Sh. *Obespechenie ustoychivosti transportno-tekhnologicheskikh mashin sel'skokhozyaystvennogo naznacheniya pri tormozhenii na shinakh sverkhnizkogo davleniya* [Ensuring the stability of agricultural transport and technological vehicles when braking on ultra-low pressure tires]. Inzhenernye tekhnologii i sistemy [Engineering technologies and systems], 2020, v. 30, no. 4, pp. 609–623.
- [14] Makarov V.S. *Razrabotka nauchno obosnovannykh tekhnicheskikh resheniy po sozdaniyu podvizhnykh kompleksov monitoringa beregovykh zon* [Development of scientifically based technical solutions for the creation of mobile coastal zone monitoring complexes]. Diss. D-r Sci. (Tech.). Nizhny Novgorod, 2017, 321 p.
- [15] Makarov V.S. *Issledovanie raspredeleniya plotnosti snega po vysote snezhnogo pokrova* [Study of snow density distribution by snow cover depth]. Materialy V Baykal'skoy mezhdunarodnoy nauchnoy konferentsii — strategicheskoy sessii «Snezhnyy pokrov, atmosferynye osadki, aerozoli» [Proceedings of the V Baikal International Scientific Conference — Strategic Session «Snow Cover, Precipitation, Aerosols»], Irkutsk, June 19–23, 2023. Irkutsk: Reprocenter A1, 2025, 224 p.
- [16] Papunin A.V. *K voprosu preodoleniya diskretnykh snezhnykh prepyatstviy transportno-tekhnologicheskimi mashinami* [On the Issue of Overcoming Discrete Snow Obstacles by Transport and Technological Machines]. Trudy NGTU im. R.E. Alekseeva [Proceedings of R.E. Alekseev NSTU], 2022, no. 2 (137), pp. 94–104.
- [17] Manyanin S.E. *Povyshenie prokhozimosti kolesnykh i gusenichnykh mashin po snegu putem nauchno obosnovannogo vybora konstruktivnykh parametrov dvizhiteley* [Increasing the Cross-Country Capability of Wheeled and Tracked Vehicles on Snow by Scientifically Substantiated Selection of Design Parameters of Propellers]. Diss. D-r Sci. (Tech.). Nizhny Novgorod, 2019, 412 p.
- [18] Kotiev G.O., Gorelov V.A., Ganbat D. *Modelirovaniye dvizheniya kolesnykh vezdekhodnykh transportnykh sredstv* [Modeling the Movement of Wheeled All-Terrain Vehicles]. Mechanics Development Issues, 2009, pp. 151–158.
- [19] Byakov K.E., Gorelov V.A., Chudakov O.I. *Tekhnologiya stendovykh ispytaniy kolesnykh mashin s vosproizvedeniem ekspluatatsionnykh nagruzochnykh rezhimov* [Technology of bench tests of wheeled vehicles with the reproduction of operational load modes]. Transportnye sistemy [Transport systems], 2021, no. 2 (20), pp. 16–24.
- [20] Gorelov V.A., Nasedkin O.K., Chudakov O.I. *Matematicheskaya model' krivolinyenogo dvizheniya transportnoy sistemy dlya perevozki krupnogabaritnykh nedelimykh gruzov* [Mathematical model of curvilinear motion of a transport system for transportation of large-sized indivisible cargo]. Transportnye sistemy [Transport systems], 2019, no. 4 (14), pp. 34–41.

- [21] D'yakov A.S. *Eksperimental'naya otsenka ustoychivosti i upravlyaemosti snegokhodov otechestvennogo proizvodstva* [Experimental assessment of stability and controllability of domestically produced snowmobiles]. Trudy NGTU im. R.E. Alekseeva [Proceedings of NSTU named after R.E. Alekseev], 2018, no. 1 (120), pp. 148–155.
- [22] D'yakov A.S. *Eksperimental'naya otsenka skorostnykh i tormoznykh svoystv snegokhodov otechestvennogo proizvodstva* [Experimental assessment of speed and braking properties of domestically produced snowmobiles]. Trudy NGTU im. R.E. Alekseeva [Proceedings of NSTU named after R.E. Alekseeva], 2018, no. 1 (120), pp. 156–164.
- [23] Belyakov V.V. *Obespechenie ekologicheskoy bezopasnosti dvizheniya vezdekhodnykh mashin na mestnosti* [Ensuring Environmental Safety of All-Terrain Vehicles on the Terrain]. Ekologicheskie sistemy i pribory [Ecological Systems and Devices], 2016, no. 12, pp. 24–35.
- [24] Manyanin S.E. *Povyshenie prokhodimosti kolesnykh mashin po snegu putem primeneniya shin sverkhnizkogo davleniya* [Improving the Cross-Country Ability of Wheeled Vehicles on Snow by Using Ultra-Low-Pressure Tires]. Diss. Cand. Sci. (Tech.). Nizhny Novgorod, 2012, 200 p.
- [25] Sokolov I.A. *Modelirovanie shin sverkhnizkogo davleniya* [Modeling of Ultra-Low-Pressure Tires]. Problemy transportnykh i tekhnologicheskikh kompleksov: sb. nauchnykh statey III Mezhdunarodnoy nauchno-tekhnicheskoy konferentsii, posvyashchennoy 40-letiyu kafedry «Stroitel'nye i dorozhnye mashiny» NGTU im. R.E. Alekseeva [Problems of Transport and Technological Complexes: Collection of Scientific Articles from the III International Scientific and Technical Conference Dedicated to the 40th Anniversary of the Department of Construction and Road Machines of NSTU named after R.E. Alekseeva], 2012, pp. 175–179.
- [26] Barakhtanov L.V. *Issledovanie bazovykh kharakteristik shin sverkhnizkogo davleniya* [Study of the basic characteristics of ultra-low pressure tires]. Trudy NGTU im. R.E. Alekseeva [Proceedings of NSTU im. R.E. Alekseeva], 2012, no. 2 (95), pp. 172–178.
- [27] Belyakov V.V. *Raschet prokhodimosti kolesnykh mashin pri krivolinyenom dvizhenii po snegu* [Calculation of the cross-country ability of wheeled vehicles during curvilinear movement on snow]. Vestnik Izhevskogo gosudarstvennogo tekhnicheskogo universiteta [Bulletin of Izhevsk State Technical University], 2010, no. 3 (47), pp. 35–38.
- [28] Zezyulin D.V. *Razrabotka metodiki vybora konstruktivnykh parametrov dvizhiteley, obespechivayushchikh effektivnost' dvizheniya kolesnykh mashin po snegu* [Development of a methodology for selecting the design parameters of propellers that ensure the efficiency of movement of wheeled vehicles on snow]. Diss. Cand. Sci. (Tech.). Nizhny Novgorod, 2013, 218 p.
- [29] Zezyulin D.V. *Metod povysheniya effektivnosti dvizheniya kolesnykh mashin po snegu putem vybora ratsional'nykh parametrov dvizhiteley* [Method for increasing the efficiency of movement of wheeled vehicles on snow by selecting rational propeller parameters]. Fundamental'nye issledovaniya [Fundamental Research], 2013, no. 10–6, pp. 1203–1208.
- [30] Zezyulin D.V. *Vliyaniye parametrov dvizhiteley na pokazateli effektivnosti kolesnykh mashin pri dvizhenii po snegu* [The Influence of Propeller Parameters on the Performance of Wheeled Vehicles When Moving on Snow]. Sovremennyye problemy nauki i obrazovaniya [Modern Problems of Science and Education], 2012, no. 5, p. 84.
- [31] *OOO «Zavod Vezdekhodnykh Mashin»* [All-Terrain Vehicle Plant, LLC]. Available at: <https://zvm-nn.ru/> (accessed 02.12.2024).
- [32] *OOO «TransMash»* [TransMash, LLC]. Available at: <https://www.transmashnn.ru/> (accessed 02.12.2024).
- [33] Tararykin A.M., Kalach A.V. *Perspektivnyy oblik i osnovnye kharakteristiki pozhnogo avtomobilya pervoy pomoshchi na bazovom shassi vezdekhoda-amfibii* [Prospective Design and Main Characteristics of a First-Aid Fire Truck on the Basic Chassis of an Amphibious All-Terrain Vehicle]. Tekhnosfernaya bezopasnost' [Technosphere Safety], 2022, no. 1 (34), pp. 59–65.
- [34] Tararykin A.M., Kalach A.V., Elfimova M.V. *Razrabotka snegobolotokhoda s pritsepom dlya tusheniya pozharov v trudnodostupnykh plavnevykh zonakh* [Development of an All-Terrain Vehicle with a Trailer for Fighting Fires in Hard-to-Reach Floodplain Areas]. Servis bezopasnosti v Rossii: opyt, problemy, perspektivy. Arktika — region strategicheskikh interesov: pravovaya politika i sovremennyye tekhnologii obespecheniya bezopasnosti v arkticheskom regione: materialy Mezhdunarodnoy nauchno-prakticheskoy konferentsii [Security Services in Russia: Experience, Problems, Prospects. The Arctic – a Region of Strategic Interests: Legal Policy and Modern Technologies for Ensuring Security in the Arctic Region: Proceedings of the International Scientific and Practical Conference], St. Petersburg, October 27, 2022. St. Petersburg: St. Petersburg University of the State Fire Service of the Ministry of the Russian Federation for Civil Defense, Emergencies and Elimination of Consequences of Natural Disasters named after Hero of the Russian Federation, General of the Army E.N. Zinichev, 2022, pp. 30–33.
- [35] *Snegomer vesovoy VS-43. Rukovodstvo po ekspluatatsii* [Weighing Snow Gauge VS-43. Operation Manual], 18 p.
- [36] Kravets V.N. *Teoriya avtomobilya* [Automobile Theory]. Nizhny Novgorod: Nizhny Novgorod State Technical University named after R.E. Alekseev, 2013, 411 p.

*The article was prepared as part of the research work implemented at the expense of the federal budget (funding source: the Ministry of Education and Science of Russia) on the topic: «Development of scientific, methodological and practical foundations of reverse engineering for solving complex problems of import substitution in the agro-industrial complex of the Russian Federation» (research topic code FZNW-2024-0026).*

## Authors' information

**Manyanin Sergey Evgen'evich** — Dr. Sci. (Tech.), Professor of the Nizhny Novgorod State Technical University n.a. R.E. Alekseev, sergmanian@yandex.ru

**Kalilets Andrey Andreevich** — Junior Researcher of the Research Institute of Special Equipment «Scientific and Production Association» «Special Equipment and Communications» of the Ministry of Internal Affairs of the Russian Federation

**Belyaev Aleksandr Mikhaylovich** — Cand. Sci. (Tech.), Director of the Center for Intellectual Property and Technology Transfer State University of Management, am\_belyaev1990@guu.ru

**Klyushkin Anton Alekseevich** — Assistant of the Department of Building and Road Machines, Nizhny Novgorod State Technical University n.a. R.E. Alekseev, aak-nntu@yandex.ru

**Belyakov Vladimir Viktorovich** — Dr. Sci. (Tech.), Professor of the Nizhny Novgorod State Technical University n.a. R.E. Alekseev, belyakov@nntu.ru

**Makarov Vladimir Sergeevich**✉ — Dr. Sci. (Tech.), Professor of the Nizhny Novgorod State Technical University n.a. R.E. Alekseev; Senior Researcher, Reverse Engineering Laboratory, State University of Management, makvl2010@gmail.com

Received 08.09.2025.

Approved after review 02.10.2025.

Accepted for publication 11.12.2025.

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

## ФОРМАЛИЗАЦИЯ ДАННЫХ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОГО ПРОЦЕССА НА ОСНОВЕ НЕЧЕТКИХ МНОЖЕСТВ РАЗНЫХ ТИПОВ

О.М. Полещук

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

poleshhukom@bmstu.ru

Разработаны модели формализации данных образовательного процесса в условиях различной исходной информации, для создания которых были использованы нечеткие множества первого типа, интервальные нечеткие множества второго типа и  $Z$ -числа. По всем построенным моделям даны анализ и рекомендации для использования их в практических целях. Нечеткие множества первого типа рекомендуется использовать для формализации статистических данных образовательного процесса, а также данных, полученных от единственного эксперта (экзаменатора). Интервальные нечеткие множества второго типа рекомендуется использовать для формализации статистических и экспертных данных образовательного процесса со случайными ошибками, а также данных, полученных от группы экспертов.  $Z$ -числа рекомендуется использовать для формализации данных образовательного процесса с учетом их достоверности. Приведенные числовые примеры в совокупности с теоретическими обоснованиями предоставляют возможность выбора модели для дальнейшего анализа данных в целях получения устойчивых конечных результатов и управляющих решений на их основе.

**Ключевые слова:** образовательный процесс, формализация данных, нечеткое множество,  $Z$ -числа

**Ссылка для цитирования:** Полещук О.М. Формализация данных образовательного процесса на основе нечетких множеств разных типов // Лесной вестник / Forestry Bulletin, 2026. Т. 30. № 1. С. 138–146. DOI: 10.18698/2542-1468-2026-1-138-146

Теория нечетких множеств показала свою эффективность при обработке информации образовательного процесса, поскольку позволяет принимать во внимание неопределенность в виде нечеткости [1]. Теория вероятностей учитывает случайность, но не неопределенность, которая возникает вследствие активного участия человеческого фактора в процессах обучения и управления и влияния на них. Теория нечетких множеств существенно обогащает аппарат обработки данных по образовательному процессу [2–4].

Лингвистические переменные, применяемые для формализации шкал, предназначенных для оценки качественных характеристик образовательного процесса, полностью ликвидировали некорректность оперирования элементами порядковых шкал, которые традиционно использовались ранее [4, 5]. Изучение свойств лингвистических переменных позволило выбрать такое их подмножество для моделирования реальных процессов, которое снизило риск ошибок в задачах принятия решений [5, 6] и дало импульс развитию методов нечеткого

анализа данных, в частности методов нечеткого кластерного анализа [7–12] и методов нечеткого регрессионного анализа [13–16].

Развитие теории нечетких множеств привело к появлению нечетких множеств второго типа [17]. Отличие нечетких множеств второго типа от нечетких множеств первого типа [1] состоит в том, что значениями функций принадлежности нечетких множеств первого типа являются числа, а значениями функций принадлежности нечетких множеств второго типа являются нечеткие множества первого типа.

С одной стороны, использование нечетких множеств второго типа позволяет сохранить больше исходной информации, поступающей из разных источников, чем использование нечетких чисел первого типа. Например, не усреднить экспертную информацию, а реально учесть мнения и опыт каждого эксперта в принятии группового решения. С другой стороны, оперировать нечеткими множествами второго типа достаточно сложно [18], поэтому для практических приложений стали использовать в основном интервальные нечеткие множества второго типа [18], значениями функции принадлежности которых являются интервалы. Применение интервальных нечетких множеств

второго типа для обработки информации образовательного процесса позволяет повысить достоверность поступающей информации и тем самым снизить риски ошибок при разработке управляющих воздействий по полученным результатам и выводам [19].

Важным этапом развития теории нечетких множеств стало появление  $Z$ -чисел [20]. В отличие от нечетких множеств второго типа, которые каждое значение универсального множества оценивают интервалом значений функции принадлежности,  $Z$ -числа оценивают все нечеткое множество целиком, причем в общем случае этой оценкой является нечеткое множество, а в частном — интервал.

Для того, чтобы использовать  $Z$ -числа, от эксперта требуется добавить к оценке свою уверенность в ней. Например, эксперт абсолютно уверен в том, что эффективность новой образовательной технологии высокая. Эксперту легче сформулировать подобное высказывание, чем дать числовые оценки, что всегда вызывает трудности и повышает риск ошибок. Получение числовых оценок обеспечивает формализация экспертной информации на основе  $Z$ -чисел, не привлекая для этого эксперта.

Разработка новых моделей формализации информации повлекла за собой разработку методов их анализа [21–29] в целях использования лучшей модели для решения конкретной практической задачи. Однако многие модели формализации данных образовательного процесса не нашли практического применения, возможно, по причине отсутствия публикаций с понятными примерами и объяснениями смысла самих формализаций.

## Цель работы

Цель работы — разработка и сравнительный анализ моделей формализации данных образовательного процесса с примерами и пояснениями, которые дадут исследователям картину возможностей использования этих моделей для решения задач принятия решений в сфере образования.

## Материалы и методы

Приведем основные понятия и определения.

Нечетким множеством первого типа  $\tilde{A}$  называется множество пар вида  $\{(x, \mu_{\tilde{A}}(x)) : x \in X\}$ ; при этом значение функции принадлежности  $\mu_{\tilde{A}}(x)$  называется степенью принадлежности  $x$  к  $\tilde{A}$ .

Нечетким множеством второго типа называется нечеткое число, если  $\mu_{\tilde{A}}(x) : R \rightarrow [0, 1]$ , где  $R$  — подмножество действительной прямой [1].

Лингвистической переменной называется пятерка

$$\{X, T(X), U, V, S\},$$

где  $X$  — название переменной;

$T(X) = \{X_l, l = \overline{1, m}\}$  — терм-множество переменной  $X$ , то есть множество термов или названий лингвистических значений переменной  $X$ ;

$V$  — синтаксическое правило, порождающее названия значений лингвистической переменной  $X$ ;

$S$  — семантическое правило, которое ставит в соответствие каждому терму из  $T(X)$  нечеткое подмножество универсального множества  $U$  [1].

При оценке любых параметров их точечными значениями риск ошибки всегда больше, чем при оценке интервальными значениями, поэтому для снижения этих рисков стали использовать интервальные нечеткие множества второго типа.

Интервальное нечеткое множество второго типа  $\tilde{A} = (\tilde{A}, \tilde{A})$  традиционно определяется нижним  $\underline{A}$  и верхним  $\overline{A}$  нечеткими множествами соответственно с нижней  $\mu_{\underline{A}}(x)$  и верхней  $\mu_{\overline{A}}(x)$  функциями принадлежности [17].

Таким образом, нечеткие множества второго типа расширяют возможности нечетких множеств первого типа для формализованного представления экспертных оценочных процедур.

$Z$ -числом называется упорядоченная пара нечетких чисел  $Z = (\tilde{A}, \tilde{R})$ , где  $\tilde{A}$  — нечеткое число с функцией принадлежности  $\mu_{\tilde{A}}(x) : R \rightarrow [0, 1]$ , которое является нечетким расширением значений действительной переменной  $X$ , а  $\tilde{R}$  — нечеткое число с функцией принадлежности  $\mu_{\tilde{R}}(x) : [0, 1] \rightarrow [0, 1]$ , которое является нечетким расширением значений меры надежности первой компоненты  $\tilde{A}$  [20].

Лингвистическим называется следующее  $Z$ -число:  $Z = (\tilde{A}, \tilde{R})$ , компоненты которого  $\tilde{A}, \tilde{R}$  являются значениями лингвистических переменных [19].

Преимущество представления данных на основе  $Z$ -чисел по сравнению с их представлениями на основе интервальных нечетких множеств второго типа заключается в том, что эксперт может оценить достоверность словами «Малодостоверно», «Не очень достоверно», «Достоверно», «Очень достоверно», «Полностью достоверно», которые легко формализуются с помощью нечетких множеств.

В работе [15] дано определение агрегирующего отрезка  $[c_1, c_2]$  для нечеткого числа  $\tilde{A} = (a_1, a_2, a_L, a_R)$ :

$$c_1 = \int_0^1 \frac{2a_1 - (1-\alpha)a_L}{2} 2\alpha d\alpha = a_1 - \frac{1}{6}a_L,$$

$$c_2 = \int_0^1 \frac{2a_2 + (1-\alpha)a_R}{2} 2\alpha d\alpha = a_2 + \frac{1}{6}a_R.$$

Также в работе [15] определено расстояние между нечеткими числами

$$\tilde{A} = (a_1, a_2, a_L, a_R), \quad \tilde{B} = (b_1, b_2, b_L, b_R)$$

на основе их агрегирующих отрезков  $[c_1, c_2]$   $[d_1, d_2]$

$$\rho(\tilde{A}, \tilde{B}) = \sqrt{(c_1 - d_1)^2 + (c_2 - d_2)^2}.$$

В работе [18] для интервального нечеткого множества второго типа  $\tilde{A} = (\underline{\tilde{A}}, \overline{\tilde{A}})$  определена пара агрегирующих отрезков  $[a'_1, a'_2]$ ,  $[a''_1, a''_2]$ , первый из отрезков определен для нечеткого множества  $\underline{\tilde{A}}$ , второй — для нечеткого множества  $\overline{\tilde{A}}$ . В этой же работе определено расстояние между интервальными нечеткими множествами второго типа  $\tilde{A}, \tilde{B}$  с агрегирующими отрезками соответственно  $[a'_1, a'_2]$ ,  $[a''_1, a''_2]$ ,  $[b'_1, b'_2]$ ,  $[b''_1, b''_2]$ :

$$\rho(\tilde{A}, \tilde{B}) = \sqrt{(a'_1 - b'_1)^2 + (a'_2 - b'_2)^2 + (a''_1 - b''_1)^2 + (a''_2 - b''_2)^2}.$$

В работе [22] дано определение агрегирующего отрезка  $[\delta_1, \delta_2]$  для Z-числа  $Z = (\tilde{C}, \tilde{R})$ ,  $\tilde{C} = (c_1, c_2, c_L, c_R)$ ,  $\tilde{R} = (r_1, r_2, r_L, r_R)$ :

$$\delta_1 = r_1 \left( c_1 - \frac{1}{6}c_L \right) - r_L \left( \frac{1}{6}c_1 - \frac{1}{12}c_L \right),$$

$$\delta_2 = r_2 \left( c_2 + \frac{1}{6}c_R \right) + r_R \left( \frac{1}{6}c_2 + \frac{1}{12}c_R \right).$$

На основе агрегирующих отрезков  $[\delta_1^1, \delta_2^1]$ ,  $[\delta_1^2, \delta_2^2]$  Z-чисел  $Z_1, Z_2$  определено расстояние между ними

$$\rho(Z_1, Z_2) = \sqrt{(\delta_1^1 - \delta_1^2)^2 + (\delta_2^1 - \delta_2^2)^2}.$$

Все определенные расстояния используются для распознавания формализованной информации при ее анализе.

Перейдем к формализации данных образовательного процесса на основе нечетких множеств разных типов.

Рассмотрим модель прямого опроса эксперта для оценки некоторой характеристики образовательного процесса  $X$  в рамках шкалы с лингвистическими уровнями (значениями)  $X_l, l = 1, m$ . При опросе эксперта предлагается определить типичные для уровней  $X_l, l = 1, m$  интервалы  $(x_l^1, x_l^2), l = 1, m$ , т. е. интервалы, для всех точек которых функции принадлежности этих уровней равны единице. Для некоторых уровней типичными могут быть точки (по одной для каждого уровня), а не интервалы. Универсальным множеством для построения функций принадлежности выбирается отрезок  $[0, 1]$ . Если характеристика количественная, то область ее значений путем несложных арифметических операций отображается в отрезке  $[0, 1]$ . Функции принадлежности нечетких чисел  $\tilde{X}_l, l = 1, m$ , формализующих лингвистические уровни шкалы, определяются следующим образом:

$$\tilde{X}_1 = \left( 0, x_1^2, 0, \frac{x_2^1 - x_1^2}{2} \right),$$

$$\tilde{X}_l = \left( x_l^1, x_l^2, \frac{x_l^1 - x_{l-1}^2}{2}, \frac{x_{l+1}^1 - x_l^2}{2} \right),$$

$$\tilde{X}_m = \left( x_m^1, 1, \frac{x_m^1 - x_{m-1}^2}{2}, 0 \right), \quad l = \overline{2, m-1}.$$

Функции принадлежности лингвистических переменных могут быть разными. Наиболее часто используются методы построения кусочно-линейных функций принадлежности [4, 6]. Согласно этим методам, функции принадлежности соседних уровней лингвистических переменных пересекаются в точках, значения функций в которых равны 0,5, т. е. это точки наибольшей неопределенности для идентификации уровней. Для того, чтобы понять, линейны или нелинейны функции принадлежности, необходим анализ их значений ниже и выше точек пересечения.

Предположим, что, например, левое крыло линейной функции принадлежности имеет вид

$$y = \frac{5}{2}x - \frac{3}{4}$$

Найдем значения  $x$ , при которых значения функции равны 0,25 и 0,75.

Получаем

$$y(0,4) = 0,25; \quad y(0,6) = 0,75.$$

Если эксперт согласен с этими значениями, то левое крыло функции принадлежности действительно можно выбирать линейным.

Если эксперт считает, что значение функции принадлежности в точке  $x = 0,4$ , например, меньше, чем  $0,25$ , а значение функции принадлежности в точке  $x = 0,6$  больше, чем  $0,75$ , то левое крыло функции принадлежности опишет нелинейная функция, для которой точка с координатами  $(0,5; 0,5)$  будет являться точкой перегиба. На интервале  $(0,3; 0,5)$  функция принадлежности будет выпуклой вниз, а на интервале  $(0,5; 0,7)$  — выпуклой вверх.

Если эксперт считает, что значение функции принадлежности в точке  $x = 0,4$ , например, больше, чем  $0,25$ , а значение функции принадлежности в точке  $x = 0,6$ , меньше, чем  $0,75$ , то левое крыло функции принадлежности опишет нелинейная функция, для которой точка с координатами  $(0,5; 0,5)$  будет являться точкой перегиба. На интервале  $(0,3; 0,5)$  функция принадлежности будет выпуклой вверх, а на интервале  $(0,5; 0,7)$  — выпуклой вниз. Аналогичный анализ необходим для правого крыла функции принадлежности.

Если левое крыло функции принадлежности некоторого уровня выбрать линейным (нелинейным), то правое крыло соседней функции принадлежности, с которой есть пересечение, также выбирают линейным (нелинейным). Если правое крыло функции принадлежности некоторого уровня выбрать линейным (нелинейным), то левое крыло соседней функции принадлежности, с которой есть пересечение, также выбирают линейным (нелинейным). Анализ функций принадлежности и их построение осуществляется последовательно от первого уровня до последнего.

Выбор функции принадлежности при формализации характеристик образовательного процесса имеет большое значение для дальнейшей обработки данных образовательного процесса и получения адекватных конечных результатов для принятия решений и управления.

Рассмотрим модель формализации статистических данных образовательного процесса, полученных в результате оценки качественной характеристики  $X$  в рамках шкалы с уровнями (значениями)  $X_l, l = 1, m$ .

Обозначим относительные числа объектов, оцененных уровнями  $X_l, l = 1, m$ , соответственно через  $a_l, l = 1, m$ . Построение функции принадлежности нечеткого числа  $\tilde{X}_l, l = 1, m$ , формализующего уровень  $X_l, l = 1, m$  осуществляется таким образом, чтобы площадь фигуры, ограниченной графиком этой функции и осью абсцисс, была равна  $a_l, l = 1, m$ : например, при  $a_1 = 0,1, a_2 = 0,5, a_3 = 0,4$  получим

$$\tilde{X}_1 = (0, 0,05, 0, 0,1), \quad \tilde{X}_2 = (0,15, 0,4, 0,1, 0,4), \\ \tilde{X}_3 = (0,8, 1,0, 0).$$

Рассмотрим модель формализации данных образовательного процесса на основе интервальных нечетких множеств второго типа [17].

Необходимость такого подхода возникает в нескольких случаях:

- 1) оценку характеристики образовательного процесса осуществляет группа экспертов;
- 2) единственный эксперт не уверен в определении границы между терминами лингвистической переменной, формализующей шкалу для оценки этой характеристики;
- 3) степень уверенности эксперта в принадлежности значений универсального множества к термам выражается не числом, а интервалом;
- 4) статистические или экспертные данные содержат случайные ошибки.

Предположим, что эксперт определяет типичные интервалы  $(x_l^1, x_l^2), l = 1, m$  (интервалы, на которых функции принадлежности равны единице) для уровней  $X_l, l = 1, m$  шкалы, используемой для оценки характеристики  $X$ . При этом эксперт не уверен в точности их границ  $(x_l^1, x_l^2), l = 1, m$ , а поэтому предполагает, что  $x_l^1$  принадлежит  $(x_l^{11}, x_l^{12}), l = 1, m$ , а  $x_l^2$  принадлежит  $(x_l^{21}, x_l^{22})$ . Тогда формализациями уровней  $X_l, l = 1, m$  будут являться интервальные нечеткие множества второго типа  $\tilde{X}_l = (\underline{\tilde{X}}_l, \overline{\tilde{X}}_l), l = 1, m$ :

$$\underline{\tilde{X}}_1 = \left( 0, x_1^{21}, 0, \frac{x_2^{11} - x_1^{22}}{2} \right),$$

$$\overline{\tilde{X}}_1 = \left( 0, x_1^{22}, 0, \frac{x_2^{11} - x_1^{22}}{2} \right),$$

$$\underline{\tilde{X}}_l = \left( x_l^{12}, x_l^{21}, \frac{x_l^{11} - x_{l-1}^{22}}{2}, \frac{x_{l+1}^{11} - x_l^{22}}{2} \right),$$

$$\overline{\tilde{X}}_l = \left( x_l^{11}, x_l^{22}, \frac{x_l^{11} - x_{l-1}^{22}}{2}, \frac{x_{l+1}^{11} - x_l^{22}}{2} \right),$$

$$\underline{\tilde{X}}_m = \left( x_m^{12}, 1, \frac{x_m^{11} - x_{m-1}^{22}}{2}, 0 \right),$$

$$\overline{\tilde{X}}_m = \left( x_m^{11}, 1, \frac{x_m^{11} - x_{m-1}^{22}}{2}, 0 \right), l = \overline{2, m-1}.$$

Для формализации данных, полученных от единственного эксперта (экзаменатора), предлагается использовать нечеткие числа.

Если эксперт (экзаменатор) не уверен в принадлежности значений уровня используемой шкалы, то для формализации полученных от него данных предлагается использовать нечеткие множества второго типа.

Отдельно следует обратить внимание на случай формализации данных, полученной от разных экспертов (экзаменаторов) в целях выработки группового критерия оценки характеристики образовательного процесса. Если групповой критерий формализуется с помощью нечетких чисел, то существует большая вероятность потери индивидуальной информации, полученной от каждого эксперта (экзаменатора).

Формализация группового критерия на основе нечетких множеств второго типа позволяет учесть индивидуальные критерии экспертов (экзаменаторов) с помощью нижних и верхних функций принадлежности, которые соответствуют этим множествам.

Следовательно, можно сделать вывод о том, что при формализации индивидуальных критериев экспертов (экзаменаторов) в целях получения группового критерия оценки характеристики образовательного процесса предпочтительно использовать нечеткие множества второго типа.

Рассмотрим формализованный подход на основе  $Z$ -чисел. Отличие от формализованного подхода на основе интервальных нечетких множеств второго типа состоит в том, что оценкой уверенности эксперта (экзаменатора) в достоверности представленной информации является не интервал, а нечеткое множество. Преимущество такого представления состоит в том, что эксперт может оценить достоверность словами «Недостоверно», «Не очень достоверно», «Достоверно», «Очень достоверно», «Абсолютно достоверно», которые без труда будут формализованы с помощью нечетких множеств.

Используя полученные от эксперта данные, построим лингвистическую переменную с названием «Достоверность информации» и терминами: «Недостоверно», «Не очень достоверно», «Достоверно», «Очень достоверно», «Абсолютно достоверно», в соответствии которым поставим нечеткие числа  $\tilde{R}_p$ ,  $p = 1, 5$ .

Информация, полученная в результате оценки характеристики  $X$  образовательного процесса, формализуется в виде множества лингвистических  $Z$ -чисел:  $Z = (\tilde{X}_l, \tilde{R}_l)$ ,  $l = 1, m$  а нечеткое число  $\tilde{R}_l$  равно одному из нечетких чисел  $\tilde{R}_p$ ,  $p = 1, 5$ .

Подобная формализация открывает новые возможности представления, анализа и прогноза данных образовательного процесса с учетом ее достоверности, а также позволяет уменьшить субъективную составляющую и риски ошибок.

В зависимости от доступности и полноты поступающих данных образовательного процесса появляется возможность выбрать один (или несколько) типов нечетких множеств для их формализации и последующего анализа.

**Примеры.** Рассмотрим результаты оценки знаний по математике у обучающихся. Формализуем их с помощью лингвистической переменной. Будем считать, что 10 % обучающихся получили оценку «2», 30 % — «3», 40 % — «4» и 20 % обучающихся получили оценку «5». Согласно работе [4] и полученной информации, термины «2», «3», «4», «5» лингвистической переменной «Знания по математике» имеют следующие функции принадлежности:

$$\tilde{2} = (0, 0,05, 0, 0,1);$$

$$\tilde{3} = (0,15, 0,25, 0,1, 0,3);$$

$$\tilde{4} = (0,55, 0,7, 0,3, 0,2);$$

$$\tilde{5} = (0,9, 1, 0,2, 0).$$

Все функции принадлежности являются  $T$ -числами, площади трапеций, ограниченных этими функциями соответственно для термов «2», «3», «4», «5» равны 0,1; 0,3; 0,4; 0,2.

Рассмотрим формализацию оценок знаний обучающихся на основе нечетких множеств второго типа [4].

Построение функций принадлежности осуществляется с учетом информации, на основе которой выше была построена лингвистическая переменная [5]. Будем считать, что при стремлении степени уверенности к единице интервал значений соответствующей функции принадлежности сужается и стремится к точечному значению. При стремлении степени уверенности к нулю интервал значений соответствующей функции принадлежности расширяется и имеет максимальную длину из всех возможных значений.

Функции принадлежности интервальных нечетких множеств второго типа, формализующих оценки «2», «3», «4», «5», получаем в виде

$$\tilde{2} = (\underline{\mu}_2(x), \overline{\mu}_2(x)), \underline{\mu}_2(x) = (0, 0,05, 0, 0,1),$$

$$\overline{\mu}_2(x) = (0, 0,05, 0, 0,15);$$

$$\tilde{3} = (\underline{\mu}_3(x), \overline{\mu}_3(x)), \underline{\mu}_3(x) = (0,15, 0,25, 0,05, 0,3),$$

$$\overline{\mu}_3(x) = (0,15, 0,25, 0,1, 0,35);$$

$$\tilde{4} = (\underline{\mu}_4(x), \overline{\mu}_4(x)), \underline{\mu}_4(x) = (0,55, 0,7, 0,25, 0,2),$$

$$\overline{\mu}_4(x) = (0,55, 0,7, 0,3, 0,25);$$

$$\tilde{5} = (\underline{\mu_5(x)}, \overline{\mu_5(x)}), \underline{\mu_5(x)} = (0,9, 1, 0,15, 0),$$

$$\overline{\mu_5(x)} = (0,9, 1, 0,2, 0).$$

Построим формализованное представление оценок знаний обучающихся на основе  $Z$ -чисел.

Функции принадлежности нечетких чисел, формализующих оценки «2», «3», «4», «5», не ограничивая общности, представим в виде

$$\tilde{2} = (0, 0,05, 0, 0,1);$$

$$\tilde{3} = (0,15, 0,25, 0,1, 0,3);$$

$$\tilde{4} = (0,55, 0,7, 0,3, 0,2);$$

$$\tilde{5} = (0,9, 1, 0,2, 0).$$

Построим лингвистическую переменную «Достоверность» с термами «Недостоверно», «Не очень достоверно», «Достоверно», «Очень достоверно», «Абсолютно достоверно» и соответствующими им нечеткими числами  $\tilde{R}_p, p = \overline{1,5}$ :

$$\tilde{R}_1 = (0, 0, 0,25), \tilde{R}_2 = (0,25, 0,25, 0,25),$$

$$\tilde{R}_3 = (0,5, 0,25, 0,25), \tilde{R}_4 = (0,75, 0,25, 0,25),$$

$$\tilde{R}_5 = (1, 0,25, 0).$$

Экзаменатору предлагается оценить достоверность информации, выбрав один из термов лингвистической переменной «Достоверность».

Таким образом, оценки знаний обучающихся на основе  $Z$ -чисел представляются следующим образом:

$$Z_2 = (\tilde{2}, \tilde{Q}_2), \quad Z_3 = (\tilde{3}, \tilde{Q}_3),$$

$$Z_4 = (\tilde{4}, \tilde{Q}_4), \quad Z_5 = (\tilde{5}, \tilde{Q}_5),$$

где  $\tilde{Q}_2, \tilde{Q}_3, \tilde{Q}_4, \tilde{Q}_5$  равны соответственно одному из нечетких чисел  $\tilde{R}_p, p = \overline{1,5}$ .

Формализация данных образовательного процесса на основе  $Z$ -чисел позволяет представлять полученную информацию с определенным уровнем достоверности, тем самым повышая устойчивость конечных результатов и уменьшая риски ошибок в процедурах принятия решений.

В зависимости от типа поступающей информации выбирается соответствующий тип нечетких множеств для ее адекватной формализации и дальнейшего анализа.

## Выводы

Разработанные и проанализированные модели формализации данных образовательного процесса показали, что теория нечетких множеств позволяет создавать модели, которые адекватно и полно отображают характеристики образовательного процесса, а также шкалы, используемые для их оценки, и оценочные действия экспертов.

Для каждой модели приведен числовой пример, который делает все теоретические разработки прозрачными и понятными при решении практических задач.

Совокупный теоретический и практический подход к построению моделей формализации данных образовательного процесса дает пользователям возможность выбора модели для снижения риска ошибок при выработке управляющих решений, а исследователям новые идеи для построения новых моделей и совершенствования известных.

## Список литературы

- [1] Zadeh L.A. Fuzzy logic and approximate reasoning // *Synthese*, 1975, v. 80, pp. 407–428.
- [2] Poleshchuk O.M., Komarov E.G., Chernova T.V. Influence of research and development activities on professional performance of aerospace students // *AIP Conference Proceedings*, 2019, no. 2171(1), p. 140003. DOI: 10.1063/1.5133293
- [3] Poleshchuk O.M., Tumor S.V. The Analysis of Student Performance During Face-to-Face and Distance Learning under Z-Information // *Lecture Notes in Electrical Engineering*, 2022, v. 857, pp. 393–402. DOI: 10.1007/978-3-030-94202-1\_37
- [4] Poleshchuk O., Komarov E. Expert Fuzzy Information Processing // *Studies in Fuzziness and Soft Computing*, 2011, v. 268, pp. 1–239.
- [5] Ryjov A. Fuzzy Linguistic Scales: Definition, Properties and Applications. *Soft Computing in Measurement and Information Acquisition. Studies in Fuzziness and Soft Computing* // Reznik L., Kreinovich V. (eds). 2003, v. 127. DOI: 10.1007/978-3-540-36216-6\_3
- [6] Poleshchuk O.M. Creation of linguistic scales for expert evaluation of parameters of complex objects based on semantic scopes // *International Russian Automation Conf. (RusAutoCon–2018)*, 2018, pp. 1–6.
- [7] Runkler T.A., Katz C. Fuzzy clustering by particle swarm optimization // *Proceedings of the IEEE Int. Conf. on Fuzzy Systems*, 2006, pp. 34–41.
- [8] Liu H.C., Yih J.M., Wu D.B., Liu S.W. Fuzzy C-mean clustering algorithms based on Picard iteration and particle swarm optimization // *Proceedings of the Int. Workshop on Geoscience and Remote Sensing (ETT and GRS–2008)*, 2008, pp. 75–84.
- [9] Poleshchuk O., Komarov E. The determination of rating points of objects with qualitative characteristics and their usage in decision making problems // *Int. J. of Computational and Mathematical Sciences*, 2009, v. 3, no. 7, pp. 360–364.

- [10] Chen M., Ludwig A. Particle swarm optimization based fuzzy clustering approach to identify optimal number of clusters // *J. of Artificial Intelligence and Soft Computing Research*, 2014, v. 4, no. 1, pp. 43–56.
- [11] Darwish A., Poleshchuk O. New models for monitoring and clustering of the state of plant species based on semantic spaces // *J. of Intelligent and Fuzzy Systems*, 2014, v. 3, no. 26, pp. 1089–1094.
- [12] Phyoo O., Chaw E. Comparative Study of Fuzzy PSO (FPSO) Clustering Algorithm and Fuzzy C-Means (FCM) Clustering Algorithm // *National J. of Parallel and Soft Computing*, 2019, v. 1, no. 1, pp. 62–67.
- [13] Tanaka H., Ishibuchi H. Identification of possibilistic linear models // *Fuzzy Sets and Systems*, 1991, v. 41, pp. 145–160.
- [14] Chang Y.-H. Hybrid fuzzy least-squares regression analysis and its reliability measures // *Fuzzy Sets and Systems*, 2001, v. 119, pp. 225–246.  
DOI:10.1016/S0165-0114(99)00092-5
- [15] Domrachev V.G., Poleshchuk O.M. On the construction of a regression model under fuzzy source data // *Avtomatika i Telemekhanika*, 2003, v. 11, pp. 74–83.
- [16] Arefi M. Quantitative fuzzy regression based on fuzzy outputs and fuzzy parameters. *Soft Computing-A Fusion of Foundations, Methodologies and Applications*, 2020, v. 24(1), pp. 311–320.  
DOI:10.1007/s00500-019-04424-2
- [17] Liu F., Mendel J.M. Encoding words into interval Type-2 fuzzy sets using an interval approach // *IEEE Trans. Fuzzy Systems*, 2008, v. 16(6), pp. 1503–1521.
- [18] Poleshchuk O., Komarov E. A fuzzy linear regression model for interval type-2 fuzzy sets // *Annual Conf. of the North American Fuzzy Information Processing Society – NAFIPS'2012*, 2012, p. 6290970.  
DOI: 10.1109/NAFIPS.2012.6290970
- [19] Полещук О.М. Кластерный анализ Z-информации на основе эталонной системы нечетких определенных принадлежности // *Лесной вестник / Forestry Bulletin*, 2024, Т. 28, № 2, С. 150–155.  
DOI: 10.18698/2542-1468-2024-2-150-155
- [20] Zadeh L.A. A Note on Z-numbers // *Information Sciences*, 2011, v. 14, no. 181, pp. 2923–2932.
- [21] Sadikoglu F., Huseynov O., Memmedova K. Z-Regression analysis in psychological and educational researches // *Procedia Comput. Sci.*, 2016, v. 102, pp. 385–389. DOI: 10.1016/J.PROCS.2016.09.416
- [22] Poleshchuk O. Fuzzy regression model with input and output Z-numbers // *IOP Conf. Series: Materials Science and Engineering*, 2020, v. 919(5), p. 052041. DOI: 10.1088/1757-899X/919/5/052041
- [23] Poleshchuk O.M. Multiple Z-Regression with Fuzzy Coefficients // *Advances in Intelligent Systems and Computing*, 2021, v. 1306, pp. 63–70.  
DOI: 10.1007/978-3-030-64058-3\_8
- [24] Poleshchuk O. Quintile multiple regression with fuzzy coefficients and initial Z-information // *E3S Web of Conferences*, 2023, v. 431, p. 05015.  
DOI: 10.1051/e3sconf/202343105015
- [25] Jamal M., Khalif K., Mohamad S. The implementation of Z-numbers in fuzzy clustering algorithm for wellness of chronic kidney disease patients // *J. of Physics: Conf. Series*, 2018, v. 1366, p. 012058.
- [26] Aliev R., Guirimov B. Z-number clustering based on general Type-II fuzzy sets // *Advances in Intelligent Systems and Computing*, 2018, v. 896, pp. 270–278.
- [27] Aliev R.A., Pedrycz W., Guirimov B.G., Huseynov O.H. Clustering method for production of Z-numbers based if-then rules // *Information Sciences*, 2020, v. 520, pp. 155–176.
- [28] Полещук О.М. Кластерный анализ экспертной информации на основе Z-чисел // *Лесной вестник / Forestry Bulletin*, 2022, Т. 26, № 1, С. 143–148.  
DOI: 10.18698/2542-1468-2022-1-143-148
- [29] Poleshchuk O. Clustering Z-information based on a system of fuzzy reference requirements // *E3S Web of Conferences*, 2023, v. 420, p. 06022.

## Сведения об авторе

**Полещук Ольга Митрофановна** — д-р техн. наук, профессор, зав. кафедрой «Высшая математика и физика», ФГАОУ ВО «Московский государственный технический университет имени Н.Э. Баумана (национальный исследовательский университет)» (Мытищинский филиал), poleshhukom@bmstu.ru

Поступила в редакцию 27.08.2025.

Одобрено после рецензирования 23.09.2025.

Принята к публикации 04.12.2025.

# EDUCATIONAL PROCESS DATA FORMALIZATION ON BASIS OF VARIOUS FUZZY SETS

**O.M. Poleshchuk**

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

poleshchukom@bmstu.ru

The paper develops models for formalizing the data of the educational process in the conditions of various initial information. For modeling, the paper uses first type fuzzy sets, interval second type fuzzy sets, and Z-numbers. All the constructed models have been analyzed and recommended for use in solving various practical problems. First type fuzzy sets are recommended to be used to formalize statistical data of the educational process, as well as data obtained from a single expert (examiner). Interval second type fuzzy sets are recommended to be used to formalize statistical and expert data of the educational process with random errors, as well as data obtained from a group of experts. Z-numbers are recommended to be used to formalize the data of the educational process, taking into account their reliability. The numerical examples given in the article, together with theoretical justifications, provide an opportunity to choose a model for further data analysis in order to obtain sustainable final results and control decisions based on them.

**Keywords:** educational process, data formalization, fuzzy set, Z-number

**Suggested citation:** Poleshchuk O.M. *Formalizatsiya dannykh obrazovatel'nogo protsessa na osnove nechetkikh mnozhestv raznykh tipov* [Educational process data formalization on basis of various fuzzy sets]. *Lesnoy vestnik / Forestry Bulletin*, 2026, vol. 30, no. 1, pp. 138–146.  
DOI: 10.18698/2542-1468-2026-1-138-146

## References

- [1] Zadeh L.A. Fuzzy logic and approximate reasoning. *Synthese*, 1975, v. 80, pp. 407–428.
- [2] Poleshchuk O.M., Komarov E.G., Chernova T.V. Influence of research and development activities on professional performance of aerospace students. *AIP Conference Proceedings*, 2019, no. 2171(1), p. 140003. DOI: 10.1063/1.5133293
- [3] Poleshchuk O.M., Tumor S.V. The Analysis of Student Performance During Face-to-Face and Distance Learning under Z-Information. *Lecture Notes in Electrical Engineering*, 2022, v. 857, pp. 393–402. DOI: 10.1007/978-3-030-94202-1\_37
- [4] Poleshchuk O., Komarov E. Expert Fuzzy Information Processing. *Studies in Fuzziness and Soft Computing*, 2011, v. 268, pp. 1–239.
- [5] Ryjov A. Fuzzy Linguistic Scales: Definition, Properties and Applications. *Soft Computing in Measurement and Information Acquisition. Studies in Fuzziness and Soft Computing // Reznik L., Kreinovich V. (eds), 2003, v. 127. DOI: 10.1007/978-3-540-36216-6\_3*
- [6] Poleshchuk O.M. Creation of linguistic scales for expert evaluation of parameters of complex objects based on semantic scopes. *International Russian Automation Conf. (RusAutoCon–2018)*, 2018, pp. 1–6.
- [7] Runkler T.A., Katz C. Fuzzy clustering by particle swarm optimization // *Proceedings of the IEEE Int. Conf. on Fuzzy Systems*, 2006, pp. 34–41.
- [8] Liu H.C., Yih J.M., Wu D.B., Liu S.W. Fuzzy C-mean clustering algorithms based on Picard iteration and particle swarm optimization. *Proceedings of the Int. Workshop on Geoscience and Remote Sensing (ETT and GRS–2008)*, 2008, pp. 75–84.
- [9] Poleshchuk O., Komarov E. The determination of rating points of objects with qualitative characteristics and their usage in decision making problems. *Int. J. of Computational and Mathematical Sciences*, 2009, v. 3, no. 7, pp. 360–364.
- [10] Chen M., Ludwig A. Particle swarm optimization based fuzzy clustering approach to identify optimal number of clusters. *J. of Artificial Intelligence and Soft Computing Research*, 2014, v. 4, no. 1, pp. 43–56.
- [11] Darwish A., Poleshchuk O. New models for monitoring and clustering of the state of plant species based on semantic spaces. *J. of Intelligent and Fuzzy Systems*, 2014, v. 3, no. 26, pp. 1089–1094.
- [12] Phyo O., Chaw E. Comparative Study of Fuzzy PSO (FPSO) Clustering Algorithm and Fuzzy C-Means (FCM) Clustering Algorithm. *National J. of Parallel and Soft Computing*, 2019, v. 1, no. 1, pp. 62–67.
- [13] Tanaka H, Ishibuchi H. Identification of possibilistic linear models. *Fuzzy Sets and Systems*, 1991, v. 41, pp. 145–160.
- [14] Chang Y.-H. Hybrid fuzzy least-squares regression analysis and its reliability measures. *Fuzzy Sets and Systems*, 2001, v. 119, pp. 225–246. DOI:10.1016/S0165-0114(99)00092-5
- [15] Domrachev V.G., Poleshchuk O.M. On the construction of a regression model under fuzzy source data. *Avtomatika I Telemekhanika*, 2003, v. 11, pp. 74–83.
- [16] Arefi M. Quantitative fuzzy regression based on fuzzy outputs and fuzzy parameters. *Soft Computing-A Fusion of Foundations, Methodologies and Applications*, 2020, v. 24(1), pp. 311–320. DOI:10.1007/s00500-019-04424-2
- [17] Liu F., Mendel J.M. Encoding words into interval Type-2 fuzzy sets using an interval approach. *IEEE Trans. Fuzzy Systems*, 2008, v. 16(6), pp. 1503–1521.
- [18] Poleshchuk O., Komarov E. A fuzzy linear regression model for interval type-2 fuzzy sets. *Annual Conf. of the North American Fuzzy Information Processing Society – NAFIPS'2012*, 2012, p. 6290970. DOI: 10.1109/NAFIPS.2012.6290970

- [19] Poleshchuk O.M. *Klasternyy analiz Z-informatsii na osnove etalonnoy sistemy nechetkikh opredeleniy prinadlezhnosti* [Cluster analysis of Z-information based on a reference system of fuzzy identification]. *Lesnoy vestnik / Forestry Bulletin*, 2024, vol. 28, no. 2, pp. 150–155. DOI: 10.18698/2542-1468-2024-2-150-155
- [20] Zadeh L.A. A Note on Z-numbers. *Information Sciences*, 2011, v. 14, no. 181, pp. 2923–2932.
- [21] Sadikoglu F, Huseynov O, Memmedova K. Z-Regression analysis in psychological and educational researches. *Procedia Comput. Sci.*, 2016, v. 102, pp. 385–389. DOI: 10.1016/J.PROCS.2016.09.416
- [22] Poleshchuk O. Fuzzy regression model with input and output Z-numbers. *IOP Conf. Series: Materials Science and Engineering*, 2020, v. 919(5), p. 052041. DOI: 10.1088/1757-899X/919/5/052041
- [23] Poleshchuk O.M. Multiple Z-Regression with Fuzzy Coefficients. *Advances in Intelligent Systems and Computing*, 2021, v. 1306, pp. 63–70. DOI: 10.1007/978-3-030-64058-3\_8
- [24] Poleshchuk O. Quintile multiple regression with fuzzy coefficients and initial Z-information. *E3S Web of Conferences*, 2023, v. 431, p. 05015. DOI: 10.1051/e3sconf/202343105015
- [25] Jamal M., Khalif K., Mohamad S. The implementation of Z-numbers in fuzzy clustering algorithm for wellness of chronic kidney disease patients. *J. of Physics: Conf. Series*, 2018, v. 1366, p. 012058.
- [26] Aliev R., Guirimov B. Z-number clustering based on general Type-II fuzzy sets. *Advances in Intelligent Systems and Computing*, 2018, v. 896, pp. 270–278.
- [27] Aliev R.A., Pedrycz W., Guirimov B.G., Huseynov O.H. Clustering method for production of Z-numbers based if-then rules. *Information Sciences*, 2020, v. 520, pp. 155–176.
- [28] Poleshchuk O.M. *Klasternyy analiz ekspertnoy informatsii na osnove Z-chisel* [Cluster analysis of expert information based on Z-numbers]. *Lesnoy vestnik / Forestry Bulletin*, 2022, vol. 26, no. 1, pp. 143–148. DOI: 10.18698/2542-1468-2022-1-143-148
- [29] Poleshchuk O. Clustering Z-information based on a system of fuzzy reference requirements. *E3S Web of Conferences*, 2023, v. 420, p. 06022.

## Author's information

**Poleshchuk Ol'ga Mitrofanovna** — Dr. Sci. (Tech.), Professor, Head of Higher Mathematics and Physics Department, of the BMSTU (Mytishchi branch), poleshhukom@bmstu.ru

Received 27.08.2025.

Approved after review 23.09.2025.

Accepted for publication 04.12.2025.