

ЛЕСНОЙ ВЕСТНИК / FORESTRY BULLETIN

Научно-информационный журнал

№ 3 ' 2025 Том 29

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 ВГЛТУ им. Г.Ф. Морозова, Воронеж

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

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

Запруднов Вячеслав Ильич, д-р техн. наук, профессор,
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

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

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

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

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

Котиев Георгий Олегович, д-р техн. наук, профессор,
МГТУ им. Н.Э. Баумана, Москва

Кох Нильс Элерс, д-р агрономии в области лесной политики,
профессор, Президент IUFORO, 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

Полуэктов 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. Рязской

Учредитель МГТУ им. Н.Э. Баумана

Зарегистрирован Федеральной службой по надзору в сфере связи,
информационных технологий и массовых коммуникаций

Свидетельство о регистрации ПИ № ФС 77-68118 от 21.12.2016

Входит в перечень утвержденных ВАК РФ изданий для публикации трудов
соискателей ученых степеней

Материалы настоящего журнала могут быть перепечатаны и 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 09.06.2025

Тираж 600 экз.

Заказ №

Объем 24,25 п. л.

Цена свободная

LESNOY VESTNIK / FORESTRY BULLETIN

Scientific Information journal
No. 3 ' 2025 Vol. 29

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 IUFR0, the Center of forest
and landscape planning of university Copenhagen, Denmark
Komarov Evgeniy Gennadiyevich, Professor, Dr. Sci. (Tech.), BMSTU
(Mytishchi branch), Moscow
Kotiev George Olegovich, 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 polity 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)
Pasztor, 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
Schepashchenko Dmitry Gennadiyevich, 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 TSNIMASH, Korolev

Assistant Editor Raseva Elena Aleksandrovna

Editor L.V. Sivay

Translation by M.A. Karpukhina

Electronic version by Yu.A. Ryazhskaya

Founder BMSTU

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

Publishing house
141005, Mytishchi, Moscow Region, Russia
1st Institutskaya street, 1
(498) 687-41-33
les-vest@bmstu.ru
It is sent for the press 09.06.2025
Circulation 600 copies
Order №
Volume 24,25 p. p.
Price free

СОДЕРЖАНИЕ

БИОЛОГИЧЕСКИЕ И ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЕ АСПЕКТЫ ЛЕСНОГО ХОЗЯЙСТВА

Бессчетнова Н.Н., Бессчетнов В.П., Бабаев Р.Н., Бабаев А.Н. Сравнительная оценка пигментного состава листьев березы карельской (<i>Betula pendula</i> var. <i>carelica</i> Merckl.) и березы повислой (<i>Betula pendula</i> Roth)	5
Крекова Я.А., Чеботько Н.К. Результаты испытания семенного потомства плюсовых деревьев сосны обыкновенной (<i>Pinus sylvestris</i> L.) в Северном Казахстане	17
Коротков С.А., Захаров В.П., Лежнев Д.В., Шматов И.Н. Особенности депонирования углерода лесными культурами на примере восточной части Вологодской области	27
Мамедова С.К., Вайс А.А., Мельник А.И., Михайлов П.В., Неповинных А.Г. Углеродный пул живого напочвенного покрова пригородных территорий Красноярска	40
Малиновских А.А., Чичкарев А.С. Антропогенная устойчивость сосновых насаждений в пригородных лесах г. Барнаула	52
Тагирова О.В., Кулагин А.Ю. Сезонная изменчивость листьев березы повислой (<i>Betula pendula</i> Roth) в условиях промышленного загрязнения окружающей среды (Уфимский промышленный центр, Республика Башкортостан)	65
Куклина Т.Э. Фенологические наблюдения в работах Г.Э. Иоганзена (по материалам отдела рукописей и книжных памятников Научной библиотеки Томского государственного университета и Государственного архива Томской области)	92
Пинягина Н.Б., Горшенина Н.С. Изменение производственно-экономических показателей отраслей лесного комплекса в условиях адаптации экономики России к современной ситуации	111

ЛАНДШАФТНАЯ АРХИТЕКТУРА

Лаврова О.П. Группы декоративных травянистых растений многолетней культуры по динамике габитуса	127
Кругляк В.В., Гурьева Е.И., Дьяконова А.А. Принципы формирования природоподобных растительных сообществ в зоне лечебно-оздоровительных учреждений города Воронежа	139

ДЕРЕВООБРАБОТКА И ХИМИЧЕСКАЯ ПЕРЕРАБОТКА ДРЕВЕСИНЫ

Олиференко Г.Л., Грибанова А.К., Иванкин А.Н., Вагапов Р.К., Устюгов А.В. Ингибиторы коррозии на основе соединений растительного происхождения	156
Евдокимов Ю.М., Мещеряков А.В., Прохоров В.Ю., Гудков М.А. Лотос-эффект и регулирование адгезионной прочности. Обзор	169

МАТЕМАТИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ

Барсукова М.Н., Иванько Я.М., Ковадло И.А., Цыренжапова В.В. Параметрическая оптимизация получения продовольственной продукции с учетом особенностей характеристик временных рядов	181
---	-----

CONTENTS

BIOLOGICAL AND TECHNOLOGICAL ASPECTS OF FORESTRY

Besschetnova N.N., Besschetnov V.P., Babaev R.N., Babaev A.N.

Comparative assessment of pigment composition in Karelian birch (*Betula pendula* var. *carelica* Merckl.) and Silver birch (*Betula pendula* Roth) leaves 5

Krekova Y.A., Chebotko N.K.

Test results of half-sibs plus Scots pine (*Pinus sylvestris* L.) trees in Northern Kazakhstan 17

Korotkov S.A., Zakharov V.P., Lezhnev D.V., Shmatkov I.N.

Carbon sequestration by forest crops in eastern part of Vologda region 27

Mamedova S.K., Vays A.A., Mel'nik A.I.,

Mikhaylov P.V., Nepovinnikh A.G.

Ground vegetation carbon stock in Krasnoyarsk suburban territories 40

Malinovskikh A.A., Chichkarev A.S.

Anthropogenic sustainability of pine plantations in Barnaul City suburban forests 52

Tagirova O.V., Kulagin A.Yu.

Seasonal variability of birch leaves (*Betula pendula* Roth) under conditions of industrial environment pollution (Ufa industrial centre, Republic of Bashkortostan) 65

Kuklina T.E.

Phenological observations in G.E. Ioganzen works (based on archive materials of Rare Books and Manuscripts Department of Tomsk State University Research Library and State Archive of Tomsk region) 92

Pinyagina N.B., Gorshenina N.S.

Changes in production and economic indicators of forestry sector as Russia's economy adapts to current situation 111

LANDSCAPE ARCHITECTURE

Lavrova O.P.

Groups of ornamental perennial herbaceous plants by habitus dynamics 127

Kruglyak V.V., Gur'eva E.I., D'yakonova A.A.

Nature-like plant communities formation principles in Voronezh health and leisure institutions 139

WOODWORKING AND CHEMICAL WOOD PROCESSING

Oliferenko G.L., Gribanova A.K., Ivankin A.N.,

Vagapov R.K., Ustyugov A.V.

Corrosion inhibitors based on compounds of plant origin 156

Evdokimov Yu.M., Meshcheryakov A.V.,

Prokhorov V.Yu., Gudkov M.A.

Lotus effect and adhesion strength adjustment. Overview 169

MATH MODELING

Barsukova M.N., Ivan'ov Ya.M., Kovadlo I.A., Tsyrenzhapova V.V.

Parametric optimisation of food production taking into account time series characteristics 181

СРАВНИТЕЛЬНАЯ ОЦЕНКА ПИГМЕНТНОГО СОСТАВА ЛИСТЬЕВ БЕРЕЗЫ КАРЕЛЬСКОЙ (*BETULA PENDULA* VAR. *CARELICA* MERCKL.) И БЕРЕЗЫ ПОВИСЛОЙ (*BETULA PENDULA* ROTH)

Н.Н. Бессчетнова^{1✉}, В.П. Бессчетнов¹, Р.Н. Бабаев², А.Н. Бабаев³

¹ФГБОУ ВО «Нижегородский государственный агротехнологический университет имени Л.Я. Флорентьева», Россия, 603107, г. Нижний Новгород, пр. Гагарина, д. 97

²Союз лесовладельцев Нижегородской области, Россия, 603005, г. Нижний Новгород, ул. Нестерова, д. 9, оф. 203

³Министерство лесного хозяйства и охраны объектов животного мира Нижегородской области, Россия, 603134, г. Нижний Новгород, ул. Костина, д. 2

besschetnova1966@mail.ru

Представлены результаты исследования пигментного состава листьев представителей рода Береза (*Betula* L.): березы повислой (*Betula pendula* Roth) и березы карельской (*Betula pendula* var. *carelica* Merckl.). Установлены незначительные различия средних значений суммарного содержания пигментов каждого исследованного растения. Выявлено незначительное преимущество содержания пластидных пигментов у аборигенного вида по сравнению с интродуцированным. Определено преобладание хлорофилла *b* над хлорофиллом *a* у обоих растений. Зафиксированы различия изученных представителей рода Береза по содержанию и соотношению пластидных пигментов, подтверждена их существенность. Отмечено достоверное влияние различий в принадлежности сравниваемых образцов к типичной форме и разновидности березы с декоративной текстурой древесины на формирование фенотипической изменчивости. Доказаны обусловленность генотипическая фенотипических различий изученных представителей рода Береза по содержанию и соотношению пластидных пигментов и фактическая обособленность их близкого произрастания в однородных лесных условиях. Указано сильное влияние неорганизованных факторов, иногда имеющих преобладающий характер.

Ключевые слова: береза карельская, береза повислая, листовой аппарат, пигментный состав, хлорофилл *a*, хлорофилл *b*, каротиноиды

Ссылка для цитирования: Бессчетнова Н.Н., Бессчетнов В.П., Бабаев Р.Н., Бабаев А.Н. Сравнительная оценка пигментного состава листьев березы карельской (*Betula pendula* var. *carelica* Merckl.) и березы повислой (*Betula pendula* Roth) // Лесной вестник / Forestry Bulletin, 2025. Т. 29. № 3. С. 5–16. DOI: 10.18698/2542-1468-2025-3-5-16

Последовательная реализация целей, указанных в распоряжении Правительства РФ от 11 февраля 2021 года № 312-р «Об утверждении Стратегии развития лесного комплекса Российской Федерации до 2030 года», предусматривает неуклонное расширение перечня товаров, производимых из древесного сырья, и повышение их качества. Наряду с совершенствованием и модернизацией технологий и инструментальной базы деревообработки немаловажное значение имеет обеспечение предприятий отрасли высокосортной древесиной, в том числе посредством приоритетной эксплуатации целевых промышленных плантаций. Их видовой состав на современном этапе можно существенно улучшить, вовлекая в хозяйственный оборот наиболее востребованные древесные породы, в частности многочислен-

ных представителей рода Береза (*Betula* L.) [1–6], выступающих как аборигенами, так и экзотами на обширной территории Российской Федерации. Эти породы широко распространены в условиях умеренного климата Северного полушария. Как обладатели хозяйственно важных признаков представители рода Береза исследуются по разным направлениям [1–15]. В Нижегородском Поволжье сформированы естественные насаждения березы повислой (*Betula pendula* Roth) и созданы искусственные посадки различного целевого назначения ее формы — березы карельской (*Betula pendula* var. *carelica* Merckl.), выступающей интродуцентом. Однако регионально ориентированных исследований биологических особенностей и экологических реакций березы карельской в условиях Нижегородской области крайне недостаточно и исследования весьма ограничены [1–3].

Цель работы

Цель работы — сравнительная оценка пигментного состава листьев березы карельской и березы повислой, формирующегося в лесорастительных условиях Правобережья Нижегородской области.

Материалы и методы

Объекты исследования: аборигенный вид — береза повислая и ее форма, являющаяся для Нижегородской области интродуцентом, — береза карельская. Обследованные объекты дислоцированы в Нижегородской области — городской округ Арзамас, Кирилловский сельсовет. Насаждение березы повислой естественное, имеет 5-й класс возраста, его координаты: 55.438365° с. ш., 43.918564° в. д. Участок с искусственными посадками березы карельской расположен вблизи аборигенного вида, создан в 1976 г. сеянцами, выращенными из семян, полученных из Архангельска, и имеет координаты 55.438074° с. ш., 43.917924° в. д. Близость произрастания объектов свидетельствует о выравниваемости условий их произрастания.

Предмет исследования: особенности сравниваемых разновидностей березы по содержанию и балансу пластидных пигментов, участвующих в фотосинтезе.

Методологическая платформа организации работ базировалась на принципе единственного логического различия и базовых требованиях к организации опыта. Реализация программы предусматривала привлечение полевых стационарных и лабораторных методов. Теоретической платформой построения рабочих методик служили фундаментальные и современные публикации по указанной тематике, касающиеся лиственных [16–18], хвойных [19–21] деревьев [22, 23] и кустарников [24, 25].

Содержание и соотношение различных форм хлорофилла и каротиноидов в листовом аппарате традиционно являются информативным признаком сравнительной оценки древесных видов [26, 27]. Достаточно результативным и весьма точным методом исследования пигментного состава листового аппарата признан спектрофотометрический анализ [22, 23, 28–38], позволяющий оценить концентрацию пигментов по оптической плотности вытяжки из измельченной листовой пластины в 96%-м этаноле.

Лабораторный анализ выполнен в аналитической лаборатории ФГБОУ ВО НГТУ им. Л.Я. Флорентьева. В первую очередь были выполнены нарезка и взвешивание листовых пластин массой 1 г на лабораторных электрон-

ных весах модели Acculab VICON VIC-300d3 (точность до 0,001 г) с последующим измельчением и перемалыванием навески до размера частиц 30...40 мкм. В ходе измельчения в фарфоровую ступку к листовой массе для лучшего растирания добавляли крошку стекла и для нейтрализации клеточного сока крошку карбоната кальция CaCO_3 . Получившуюся субстанцию через два слоя фильтровальной бумаги переносили в мерные стаканы объемом 50 мл. В целях недопущения разрушения хлорофилла работы проводились в затемненном помещении, а полученный экстракт помещался на отстой в темный шкаф на 1–2 ч. Когда субстанция отстаивалась, ее переносили в кварцевую кювету объемом 4 мл и длиной оптического пути 10 мм, после чего кювету с экстрактом и контрольную кювету с 96%-м этанолом помещали в спектрофотометр СФ-2000 с программным обеспечением GRASS GIS 7.6.1 / QGIS 3.4, позволяющим строить на мониторе компьютера спектры поглощения и фиксировать их максимумы. Оценку давали при длинах волн: 665 нм (хлорофилл *a*), 649 нм (хлорофилл *b*), 452,5 нм (каротиноиды). Концентрацию рассчитывали по уравнениям Ветштейна — Хольма для оптически чистого 96%-го этанола, примененного в опыте [22, 23, 28–38].

Проведение работ и формирование выборок осуществлено в соответствии с общепринятыми методическими рекомендациями [39–41]. Для перерасчета содержания анализируемых пигментов листового аппарата на единицу сухого вещества определяли его наличие в каждой навеске листовых пластин после высушивания до абсолютно сухого состояния в лабораторных сушильных шкафах HS 61 А. Обработка полученных данных осуществлялась в программе Excel [42]. Статистический и дисперсионный анализы выполнены с учетом существующих методических разработок [39–41, 43, 44].

Результаты и обсуждение

Выполненные экспериментальные работы показали заметные различия в пигментном составе исследованных видов березы (рис. 1–4).

По содержанию хлорофилла *a* в листовом аппарате наибольшее среднее значение наблюдается у дерева 4 березы карельской — $0,887 \pm 0,03$ мг/г, а наименьший — у дерева 9 этой же породы — $0,571 \pm 0,02$ мг/г. Береза повислая имеет более умеренное содержание хлорофилла *a* — в среднем $0,815 \pm 0,01$ мг/г, а диапазон значений составляет 0,447 мг/г, что практически в 2 раза меньше, чем у березы карельской — 0,827 мг/г (см. рис. 1).

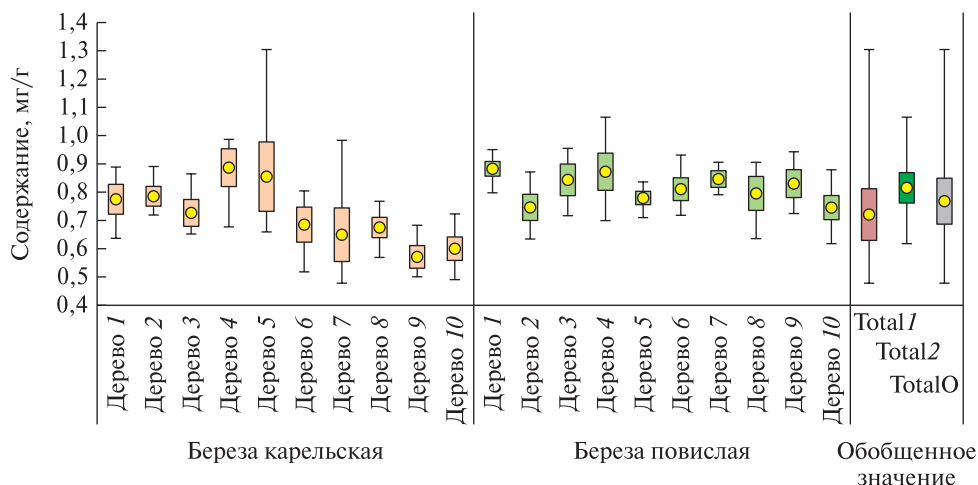


Рис. 1. Содержание хлорофилла *a* в листьях исследованных видов березы (норма $M \pm 2/3\sigma$); здесь и на рис. 2–4: 1–10 учетные растения

Fig. 1. Chlorophyll *a* content in the leaves of the studied birch species (the norm is $M \pm 2/3\sigma$); here and in fig. 2–4: 1–10 accounting plants

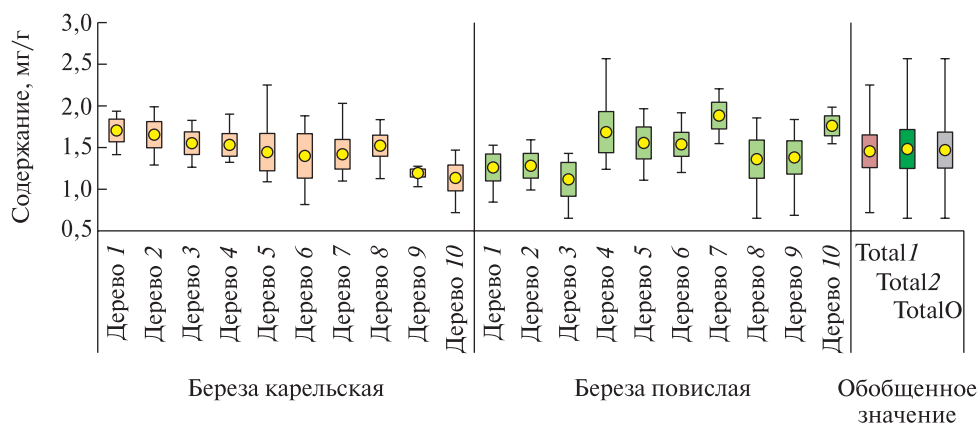


Рис. 2. Содержание хлорофилла *b* в листьях исследованных видов березы (норма $M \pm 2/3\sigma$)

Fig. 2. Chlorophyll *b* content in the leaves of the studied birch species (the norm is $M \pm 2/3\sigma$)

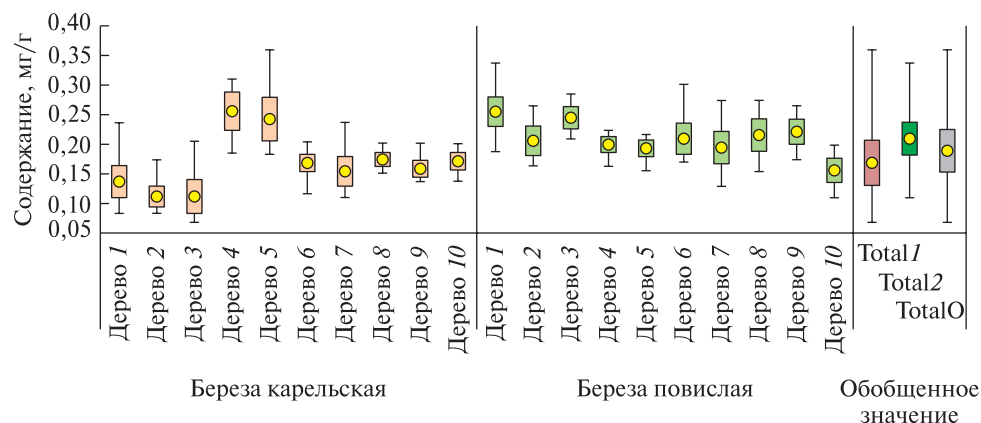


Рис. 3. Содержание каротиноидов в листьях исследованных видов березы (норма $M \pm 2/3\sigma$)

Fig. 3. Carotenoids content in the leaves of the studied birch species (the norm is $M \pm 2/3\sigma$)

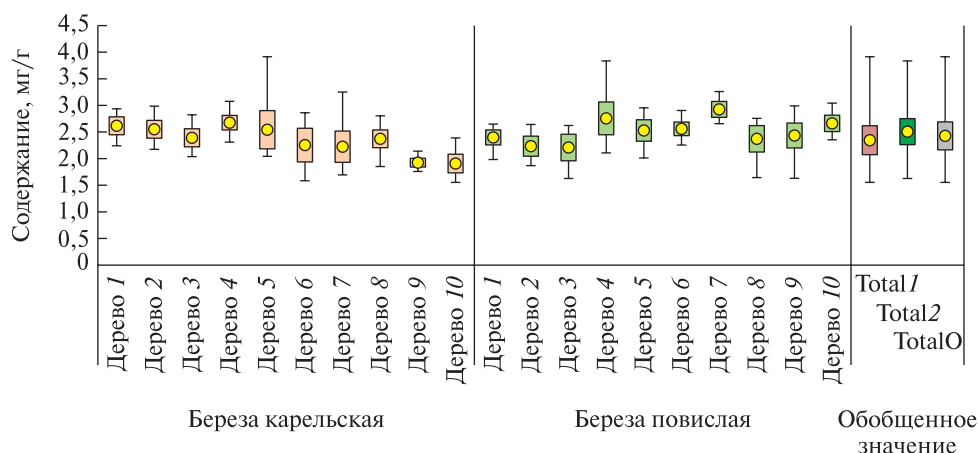


Рис. 4. Суммарное содержание пигментов в листьях исследованных видов березы (норма $M \pm 2/3\sigma$)

Fig. 4. The total content in the leaves of the studied birch species (the norm is $M \pm 2/3\sigma$)

По содержанию хлорофилла *b* ситуация обратная. Более умеренный средний разброс значений имеет береза карельская — 1,53 мг/г. Минимум ($1,119 \pm 0,1$ мг/г) и максимум ($1,883 \pm 0,08$ мг/г) содержания хлорофилла *b* наблюдается у березы повислой (деревья 3 и 7 соответственно). При этом следует отметить близость средних значений содержания этого пигмента в обоих случаях: у березы карельской — $1,456 \pm 0,03$ мг/г, у березы повислой — $1,483 \pm 0,04$ мг/г (см. рис. 2).

Содержание каротиноидов менее стабильно по сравнению с другими пигментами. В этом случае минимум средних значений ($0,112 \pm 0,01$ мг/г), отмеченный у деревьев 2 и 3 березы карельской, в 2,3 раза меньше максимального показателя ($0,256 \pm 0,02$ мг/г), который наблюдался у дерева 4 того же вида. При этом общий диапазон лимитов рассматриваемой характеристики листового аппарата составляет у березы карельской — 0,292 мг/г, а у березы повислой — 0,228 мг/г.

По суммарному содержанию пигментов средние значения каждого исследованного растения имеют незначительные различия: береза карельская — $2,346 \pm 0,04$ мг/г и береза повислая — $2,508 \pm 0,04$ мг/г. Рассмотренный выше разброс значений по каротиноидам нивелировался за счет относительной выравниваемости значений по другим пигментам. Общей тенденцией явилось то, что по сумме всех пигментов в листовом аппарате средние значения каждого из исследуемых деревьев так или иначе стремятся к общему среднему по опыту значению — $2,457 \pm 0,03$ мг/г. При этом итоговый максимум данного параметра листового аппарата отмечен у дерева 8 березы повислой

($2,924 \pm 0,07$ мг/г), а минимум — у дерева 10 березы карельской ($1,908 \pm 0,08$ мг/г).

Двухфакторный иерархический дисперсионный анализ, который вполне применим к многоуровневым комплексам, состоящим из разновидностей березы и представляющим их особей, позволил получить отдельные оценки эффективности влияния на формирование общего фона фенотипической изменчивости каждого из организованных факторов — в данном случае формовой принадлежности (А), индивидуальных различий исследуемых деревьев (повторности) (В), их взаимодействия (АВ), а также неорганизованного фактора (Z), вызывающего внутригрупповую или остаточную дисперсию, индуцированную пестротой фона не учитываемых в опыте внешних факторов (табл. 1).

Введенные в дисперсионный анализ сравнения разновидностей березы указывают на наличие существенных различий между ними (по фактору А) практически по всем исследуемым признакам от 7,44 (признак 3) до 69,4 (признак 4). По содержанию хлорофилла *b* (признак 2) влияние фактора А оказалось недостоверным (0,52 при $F_{A05/01} = 3,96/6,96$). Индивидуальные различия исследуемых деревьев (фактор В) оказались достоверными по всем исследуемым признакам. Опытные значения критерия Фишера, принимая значения от 3,40 (признак 2) до 11,91 (признак 6), превышают соответствующие минимально допустимые пределы на 5%-м и 1%-м уровне значимости. Влияние фактора В находится в диапазоне: от $10,16 \pm 4,49$ % (по Плохинскому) и $5,96 \pm 4,70$ % (по Снедекору) у признака 2 до $24,84 \pm 3,76$ % (по Плохинскому) и $18,32 \pm 4,08$ % (по Снедекору) у признака 6.

Т а б л и ц а 1

**Двухфакторный дисперсионный анализ содержания
пластидных пигментов и сухого вещества в листовой массе**
Two-factor dispersion analysis of the content of plastid pigments and dry matter in the leaf mass

Содержание	Источник дисперсии, факторы влияния	Опытный критерий Фишера $F_{оп}$	Доля влияния фактора			
			По Плохинскому		По Снедекору	
			сила влияния фактора	ошибка показателя силы влия- ния фактора	сила влияния фактора	ошибка показателя силы влия- ния фактора
Хлорофилл <i>a</i> (признак 1)	Формы березы (А)	61,36	0,1513	0,0047	0,2192	0,0043
	Особи (В)	10,51	0,2331	0,0383	0,1727	0,0414
	Взаимодействие (АВ)	7,75	0,1719	0,0414	0,2450	0,0377
	Остаток (Z)	—	0,4437	0,5563	0,3631	0,6369
Хлорофилл <i>b</i> (признак 2)	Формы березы (А)	0,52	0,0017	0,0055	–0,0024	0,0056
	Особи (В)	3,40	0,1016	0,0449	0,0596	0,0470
	Взаимодействие (АВ)	9,96	0,2980	0,0351	0,4455	0,0277
	Остаток (Z)	—	0,5986	0,4014	0,4973	0,5027
Сумма хлорофиллов <i>a</i> и <i>b</i> (признак 3)	Формы березы (А)	7,44	0,0243	0,0054	0,0320	0,0054
	Особи (В)	4,38	0,1288	0,0436	0,0839	0,0458
	Взаимодействие (АВ)	8,79	0,2585	0,0371	0,3871	0,0306
	Остаток (Z)	—	0,5883	0,4117	0,4970	0,5030
Каротиноиды (признак 4)	Формы березы (А)	69,40	0,1443	0,0048	0,1844	0,0045
	Особи (В)	7,94	0,1486	0,0426	0,0935	0,0453
	Взаимодействие (АВ)	17,78	0,3328	0,0334	0,4525	0,0274
	Остаток (Z)	—	0,3743	0,6257	0,2696	0,7304
Сумма пластидных пигментов (признак 5)	Формы березы (А)	12,74	0,0422	0,0053	0,0607	0,0052
	Особи (В)	4,88	0,1456	0,0427	0,1003	0,0450
	Взаимодействие (АВ)	7,23	0,2157	0,0392	0,3222	0,0339
	Остаток (Z)	—	0,5965	0,4035	0,5168	0,4832
Сухое вещество (признак 6)	Формы березы (А)	53,94	0,1251	0,0049	0,1778	0,0046
	Особи (В)	11,91	0,2484	0,0376	0,1832	0,0408
	Взаимодействие (АВ)	10,03	0,2092	0,0395	0,3032	0,0348
	Остаток (Z)	—	0,4173	0,5827	0,3358	0,6642

Примечание. Здесь и в табл. 2: F_{05}/F_{01} — табличные значения критерия Фишера на 5%-м и 1%-м уровнях значимости ($F_{A05/01} = 3,96/6,96$; $F_{B05/01} = 1,99/2,64$; $F_{AB05/01} = 1,99/2,64$).

у признака 6. Эффект взаимодействия организованных факторов (фактор АВ) по всем рассматриваемым признакам оказался статистически значимым и был способен вызывать формирование существенных различий. Наибольшая результативность данного эффекта достигается у признака 4: $33,28 \pm 3,34$ % (по Плохинскому) и $45,25 \pm 2,74$ % (по Снедекору). По исследуемым признакам (см. табл. 1) весьма отчетливо прослеживается доминирующее влияние фоновой пестроты неучитываемых в опыте внешних факторов, к которым справедливо можно отнести условия местопроизрастания исследуемых объектов (фактор Z). На его долю приходится соответственно от 37,43 % (признак 4) до 59,86 % (признак 2).

Результаты двухфакторного дисперсионного анализа по производным признакам содержания пигментов в листовом аппарате аналогичным способом представлены в табл. 2.

По содержанию как пластидных пигментов, так и сухого вещества в листьях разновидностей березы (см. табл. 1) их производные признаки проявились достаточно заметно (см. табл. 2). Разница в значениях исследуемых производных признаков содержания пластидных пигментов у березы повислой и березы карельской (фактор А) отчетливо выражена и уверенно выше табличных значений ($F_{A05/01} = 3,96/6,96$). Вместе с тем доля влияния фактора А незначительна и находится в диапазоне от $6,38 \pm 0,52$ % (по Плохинскому) и $7,78 \pm 0,51$ % (по Снедекору)

Т а б л и ц а 2

**Двухфакторный дисперсионный анализ соотношения показателей
содержания пластидных пигментов в листовой массе**

Two-way ANOVA of the ratio of indicators of the content of plastid pigments in the leaf mass

Содержание	Источник дисперсии, факторы влияния	Опытный критерий Фишера $F_{оп}$	Доля влияния фактора			
			По Плохинскому		По Снедекору	
			сила влияния фактора	ошибка показателя силы влия- ния фактора	сила влияния фактора	ошибка показателя силы влия- ния фактора
Отношение содержа- ния хлорофилла <i>a</i> к со- держанию хлорофилла <i>b</i> (признак 7)	Формы березы (А)	23,82	0,0749	0,0051	0,1059	0,0050
	Особи (В)	3,84	0,1086	0,0446	0,0659	0,0467
	Взаимодействие (АВ)	8,86	0,2506	0,0375	0,3644	0,0318
	Остаток (Z)	—	0,5659	0,4341	0,4639	0,5361
Отношение содержа- ния хлорофилла <i>a</i> к содержанию каротино- идов (признак 8)	Формы березы (А)	38,75	0,0638	0,0052	0,0778	0,0051
	Особи (В)	13,72	0,2035	0,0398	0,1311	0,0434
	Взаимодействие (АВ)	29,40	0,4360	0,0282	0,5851	0,0207
	Остаток (Z)	—	0,2966	0,7034	0,2060	0,7940
Отношение содержа- ния хлорофилла <i>b</i> к содержанию каротино- идов (признак 9)	Формы березы (А)	39,08	0,0820	0,0051	0,1004	0,0050
	Особи (В)	5,97	0,1127	0,0444	0,0655	0,0467
	Взаимодействие (АВ)	22,65	0,4276	0,0286	0,5706	0,0215
	Остаток (Z)	—	0,3777	0,6223	0,2636	0,7364
Доля содержания хло- рофилла <i>a</i> (признак 10)	Формы березы (А)	24,38	0,0739	0,0051	0,1051	0,0050
	Особи (В)	5,05	0,1379	0,0431	0,0911	0,0454
	Взаимодействие (АВ)	8,88	0,2423	0,0379	0,3542	0,0323
	Остаток (Z)	—	0,5459	0,4541	0,4496	0,5504
Доля содержания хло- рофилла <i>b</i> (признак 11)	Формы березы (А)	28,77	0,0799	0,0051	0,1061	0,0050
	Особи (В)	3,79	0,0948	0,0453	0,0533	0,0473
	Взаимодействие (АВ)	13,01	0,3252	0,0337	0,4586	0,0271
	Остаток (Z)	—	0,5000	0,5000	0,3820	0,6180
Доля содержания каро- тиноидов (признак 12)	Формы березы (А)	32,49	0,0716	0,0052	0,0861	0,0051
	Особи (В)	3,79	0,0752	0,0462	0,0382	0,0481
	Взаимодействие (АВ)	23,02	0,4565	0,0272	0,6022	0,0199
	Остаток (Z)	—	0,3967	0,6033	0,2735	0,7265
Отношение содержания каротиноидов к сум- марному содержанию хлорофилла <i>a</i> и хлоро- филла <i>b</i> (признак 13)	Формы березы (А)	31,34	0,0707	0,0052	0,0854	0,0051
	Особи (В)	3,57	0,0725	0,0464	0,0362	0,0482
	Взаимодействие (АВ)	22,20	0,4507	0,0275	0,5968	0,0202
	Остаток (Z)	—	0,4061	0,5939	0,2815	0,7185

у признака 8 до $8,20 \pm 0,51$ % (по Плохинскому) и $10,04 \pm 0,50$ % (по Снедекору) у признака 12.

Уровень дисперсии между исследуемыми деревьями (фактор В) заметно ниже, чем по разновидностям березы (фактор А). При этом табличные значения критерия Фишера ($F_{B05/01} = 1,99/2,64$) ниже полученных опытным путем. Влияния фактора В варьирует по Плохинскому от $7,25 \pm 4,64$ % (признак 13) до $20,35 \pm 3,98$ % (признак 8).

Взаимодействие организованных факторов (фактор АВ) оказалось также статистически значимым по всем исследуемым признакам. Все опытные значения критерия Фишера преодолели табличные значения как на 5%-м, так

и на 1%-м уровне значимости: при $F_{AB05/01} = 1,99/2,64$. Возможность нахождения оценок соответствующей дисперсии обеспечил следующий диапазон фактических значений: от 8,86 (признак 7) до 29,40 (признак 8). Ее наибольшее значение зафиксировано по доле содержания каротиноидов (признак 12) $45,65 \pm 2,72$ % (по Плохинскому) и $60,22 \pm 1,99$ % (по Снедекору), а наименьшее — по доле содержания хлорофилла *a* (признак 10) до $24,23 \pm 3,79$ % (по Плохинскому) и $35,42 \pm 3,23$ % (по Снедекору).

Влияние неорганизованного фактора (Z) иногда преобладало и достигало отметки 56,59 % (отношение содержания хлорофилла *a* к содержанию хлорофилла *b*). Данный

факт вполне логичен и объясняется тем, что пигментный состав и, соответственно, производные признаки от его наличия в листовых пластинках находятся в зависимости от внешних условий среды.

Выводы

Фенотипические различия изученных представителей рода березы по содержанию и соотношению пластидных пигментов обусловлены генотипически, что обосновано фактом их близкого произрастания на фоне однородных лесных условий. Двухфакторный дисперсионный анализ подтвердил факт различий между сравниваемыми формами и особями. Выявленный в процессе его реализации эффект влияния различных факторов на общую фенотипическую изменчивость позволил признать наличие генотипической обусловленности зарегистрированных видовых несходств по важнейшим характеристикам пигментного состава листовой массы исследованных видов. Однако наряду с межвидовыми различиями в эксперименте зафиксирована индивидуальная изменчивость особей, которую в определенной степени можно рассматривать как проявление внутривидового полиморфизма. Кроме того, в ряде случаев преобладает влияние неорганизованных факторов (до 59,86 %).

Список литературы

- [1] Бабаев Р.Н., Бессчетнова Н.Н., Бессчетнов В.П. Лигнификация ксилемы разных видов березы при интродукции в условиях Нижегородской области // Известия Санкт-Петербургской лесотехнической академии, 2021. № 235. С. 40–56.
- [2] Дерюгин А.А., Рыбакова Н.А., Глазунов Ю.Б. Модель формирования березово-еловых насаждений в условиях южной тайги Русской равнины // Изв. вузов. Лесной журнал, 2024. № 3. С. 23–45.
- [3] Егоров А.Б., Бубнов А.А., Постников А.М., Павлюченкова Л.Н. Биологическая, лесоводственная и экономическая эффективность ухода за березой с применением гербицида Магнум // Труды Санкт-Петербургского научно-исследовательского института лесного хозяйства, 2024. № 3. С. 86–97.
- [4] Tripepi R.R., Mitchell C.A. Metabolic response of river birch and European birch and European birch roots to hypoxia // Plant Physiology, 1984, v. 76, iss. 1, pp. 31–35. DOI 10.1104/pp.76.1.31
- [5] Pothier D., Margolis A. Analysis of growth and light interception of balsam fir and white birch saplings following precommercial thinning // Annals of Forest Science, 1991, v. 48, no. 2, pp. 123–132. DOI: 10.1051/forest:19910201
- [6] Zhao X.Y., Bian X.Y., Li Z.X., Wang X., Yang C.J., Liu G.F., Jiang J., Kentbayev Y., Kentbayeva B., Yang Ch.P. Genetic stability analysis of introduced *Betula pendula*, *B. kirghisorum* and *B. pubescens* families in saline-alkali soil of northeastern China // Scandinavian J. of Forest Research, 2014, no. 4, 26 p. DOI: 10.1080/02827581.2014.960892
- [7] Pedieu R., Riedl B., Pichette A. Properties of white birch (*Betula papyrifera*) outer bark particleboards with reinforcement of coarse wood particles in the core layer // Annals of Forest Science, 2008, v. 65, no. 7, pp. 1–9. DOI: 10.1051/forest:2008053
- [8] Kaitaniemi P., Lintunen A. Neighbor identity and competition influence tree growth in Scots pine, Siberian larch, and silver birch // Annals of Forest Science, 2010, v. 67, no. 6, pp. 1–7. DOI: 10.1051/forest/2010017
- [9] Behrend A.M., Pommerening A. Growing at the edge: Modelling sapling colonization, performance, and effective range of mountain birch (*Betula pubescens* ssp. *tortuosa*) // Ecological Modelling, 2025, v. 503, pp. 1–10. DOI: 10.1016/j.ecolmodel.2025.111073
- [10] Грязькин А.В., Самсонова И.Д., Новикова М.А., Фан Т.Л., Ванджурак Г.В., Ву В.Х. Изменчивость биометрических показателей бересты в зависимости от характеристик древостоя // Известия Санкт-Петербургской лесотехнической академии, 2018. № 222. С. 94–109. DOI 10.21266/2079-4304.2018.222.94-109.
- [11] Грязькин А.В., Беляева Н.В., Данилов Д.А., Ванджурак Г.В., Хунг Ву Ван. Изменчивость толщины и массы коры березы по длине ствола // ИзВУЗ Лесной журнал, 2019. № 2(368). С. 32–39. DOI: 10.17238/issn0536-1036.2019.2.32
- [12] Завьялов К.Е. Морфология и химический состав листьев опытных культур березы повислой (*Betula pendula* Roth) в условиях магнезитового загрязнения // Известия Оренбургского государственного аграрного университета, 2013. № 3(41). С. 230–232.
- [13] Коновалов В.Ф. Береза повислая на Южном Урале (Структура популяций, селекция и воспроизводство): дис. ... д-ра с.-х. наук, 06.03.01. Йошкар-Ола, 2003. 503 с.
- [14] Коновалов В.Ф., Ямбаев Ю.А., Галеев Э.И., Дуношкин Е.В. Плюсовая селекция березы повислой в республике Башкортостан: итоги и перспективы развития. Специальный выпуск. Материалы междунар. науч.-практ. конф. «Актуальные проблемы дендрэкологии и адаптации растений» // Аграрная Россия, 2009. № 6-II. С. 140–141. DOI: 10.30906/1999-5636-2009-0-140-141
- [15] Ямбаев Ю.А., Коновалов В.Ф., Музафарова А.А., Галеев Э.И. Формирование генофонда популяций березы при колонизации новых местообитаний // Аграрная наука, 2009. № 4. С. 16–17.
- [16] Silla F., González-Gil A., González-Molina M.E., Mediavilla S., Escudero A. Estimation of chlorophyll in Quercus leaves using a portable chlorophyll meter: effects of species and leaf age // Annals of Forest Science, 2010, v. 67, no. 1, pp. 1–7. DOI 10.1051/forest/2009093
- [17] Daas C., Montpied P., Hanchi B., Dreyer E. Responses of photosynthesis to high temperatures in oak saplings assessed by chlorophyll-a fluorescence: inter-specific diversity and temperature-induced plasticity // Annals of Forest Science, 2008, v. 65, no. 3, pp. 1–7. DOI 10.1051/forest:2008002
- [18] Kraj W. Chlorophyll degradation and the activity of chlorophyllase and Mg-dechelate during leaf senescence in *Fagus sylvatica* // Dendrobiology, 2015, v. 74, pp. 43–57. DOI 10.12657/denbio.074.005

- [19] Пахарькова Н.В., Масенцова И.В., Сорокина Г.А., Гетте И.Г., Калабина А.А. Позднякова Е.Е. Сезонные изменения пигментного комплекса хвои сосны сибирской в условиях высотной поясности Западного Саяна // Хвойные бореальной зоны, 2024. Т. XLII. № 2. С. 22–29.
- [20] Сунцова Л.Н., Иншаков Е.М., Лисотова Е.В., Суслина М.А. О состоянии пигментного аппарата хвойных в условиях урбанизированной среды города Красноярск // Хвойные бореальной зоны, 2023. Т. XLI. № 5. С. 399–405. С. 399–405.
- [21] Lichtenthaler H.K., Rinderle U., Haitz M. Seasonal variations in photosynthetic activity of spruces as determined by chlorophyll fluorescence // *Annals of Forest Science*, 1989, v. 46, pp. 483–489. DOI: 10.1051/forest:198905ART0108
- [22] Бабаев Р.Н., Бессчетнова Н.Н., Бессчетнов В.П. Пигментация листовых пластин представителей рода береза (*Betula* L.) // *Лесной вестник / Forestry Bulletin*, 2022. Т. 26. № 3. С. 29–38. DOI: 10.18698/2542-1468-2022-3-29-38
- [23] Бабаев Р.Н., Бессчетнова Н.Н., Бессчетнов В.П. Многопараметрический анализ пигментного состава листового аппарата представителей рода *Betula* L. // *Вестник Поволжского государственного технологического университета. Серия: Лес. Экология. Природопользование*. 2023. № 3(59). С. 42–54.
- [24] Зонтиков Д.Н., Зонтикова С.А., Малахова К.В. Сравнительный анализ некоторых морфометрических показателей устьичного аппарата и содержания хлорофилла у *Rubus chamaemorus* L. с различным уровнем плоидности // *Труды Санкт-Петербургского научно-исследовательского института лесного хозяйства*, 2022. № 3. С. 59–69.
- [25] Zarek M. Seasonal fluctuations of photosynthetic pigments content in *Taxus baccata* needles // *Dendrobiology*, 2016, v. 76, pp. 13–24. DOI: 10.12657/denbio.076.002
- [26] Oksanen E., Freiwald V., Prozherina N., Matti Rousi M. Photosynthesis of birch (*Betula pendula*) is sensitive to springtime frost and ozone // *Canadian J. of Forest Research*, 2005, v. 35, no. 3, pp. 703–712. DOI 10.1139/x05-007
- [27] Reis L.A.C., de Oliveira J.A., Farnese F. dos S., Rosado A.M., Reis L.A.C. Chlorophyll fluorescence and water content parameters are good biomarkers for selecting drought tolerant eucalyptus clones // *Forest Ecology and Management*, 2021, v. 481, pp. 1–10. DOI 10.1016/j.foreco.2020.118682
- [28] Шлык А.А. О спектрофотометрическом определении хлорофиллов *a* и *b* // *Биохимия*, 1968. Т. 33. Вып. 2. С. 275–285.
- [29] Шлык А.А. Определение хлорофилла и каротиноидов в экстрактах зеленых листьев // *Биохимические методы в физиологии растений / под ред. О.А. Павлиновой. М.: Наука*, 1971. С. 154–170.
- [30] Houppis J.L.J., Surano K.A., Cowles S., Shinn J.H. Chlorophyll and carotenoid concentrations in two varieties of *Pinus ponderosa* seedlings subjected to long-term elevated carbon dioxide // *Tree Physiology*, 1988, v. 4, iss. 2, pp. 187–193. DOI 10.1093/treephys/4.2.187
- [31] Lichtenthaler H.K., Wellburn A.R. Determinations of total carotenoids and chlorophylls *a* and *b* of leaf extracts in different solvents // *Biochemical Society Transactions*, 1983, v. 11, no. 6, pp. 591–592.
- [32] Lichtenthaler H.K. Chlorophyll *a* and carotenoids: pigments of photosynthetic biomembranes // *Methods in Enzymology: Plant Cell Membranes*, 1987, v. 148, pp. 350–382. DOI 10.1016/0076-6879(87)48036-1
- [33] Lidholm J., Gustafsson P. A functional promoter shift of a chloroplast gene: a transcriptional fusion between a novel *psbA* gene copy and the *trnK*(UUU) gene in *Pinus contorta* // *The Plant J.*, 1992, v. 2, iss. 6, pp. 875–886. DOI 10.1046/j.1365-3113x.1992.t01-4-00999.x
- [34] Porra R.G., Thomson W.A., Kriedemann P.E. Determination of accurate extinction coefficients and simultaneous equations for assaying chlorophylls *a* and *b* extracted with four different solvents: verification of the concentration of chlorophyll standards by atomic absorption spectroscopy // *Biochimica et Biophysica Acta*, 1989, v. 975, pp. 384–394. DOI 10.1016/S0005-2728(89)80347-0
- [35] Rosenthal S.I., Camm E.L. Photosynthetic decline and pigment loss during autumn foliar senescence in western larch (*Larix occidentalis*) // *Tree Physiology*, 1997, v. 17, no.12, pp. 767–775. DOI 10.1093/treephys/17.12.767
- [36] Schoefs B., Franck F. Chlorophyll Synthesis in Dark-Grown Pine Primary Needles // *Plant Physiology*, 1998, v. 118, pp. 1159–1168. DOI https://doi.org/10.1104/pp.118.4.1159
- [37] Skuodiene L. Quantitative changes in amino acid proline and chlorophyll in the needles of *Picea abies* Karst. (L.) during stress and adaptation // *Biologija*, 2001, no. 2, pp. 54–56.
- [38] Wellburn A.R. The Spectral Determination of Chlorophylls *a* and *b*, as well as Total Carotenoids, Using Various Solvents with Spectrophotometers of Different Resolution // *J. of plant physiology*, 1994, v. 144, iss. 3, pp. 307–313. DOI 10.1016/S0176-1617(11)81192-2
- [39] Mason R.L., Gunst R.F., Hess J.L. Statistical Design and Analysis of Experiments: With Applications to Engineering and Science. Hoboken, New Jersey (Printed in the USA): Wiley-Interscience, Wiley Series in Probability and Statistics, 2003, 752 p.
- [40] Srinagesh K. The Principles of Experimental Research. Waltham, Massachusetts (United States): Butterworth-Heinemann, 2005, 432 p.
- [41] Dean A. Voss D., Draguljić D. Design and Analysis of Experiments (Springer Texts in Statistics). Heidelberg, Germany: Springer-Verlag GmbH, 2017, 865 p.
- [42] Хэлворсон М. Эффективная работа с Microsoft Office 2006. СПб.: Питер, 2000. С. 1234.
- [43] Mead R., Curnow R.N., Hasted A.M. Statistical Methods in Agriculture and Experimental Biology. New York: Chapman and Hall/CRC, 2003, 488 p.
- [44] Zar J.H. Biostatistical Analysis. Edinburg Gate: Pearson New International edition, 2014, 756 p.

Сведения об авторах

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

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

Бабаев Рамис Натигович — кандидат с.-х. наук, заместитель генерального директора Союза лесовладельцев Нижегородской области, lp-ram17@yandex.ru

Бабаев Артем Натигович — консультант сектора защиты леса, Министерство лесного хозяйства и охраны объектов животного мира Нижегородской области, beedoed@mail.ru

Поступила в редакцию 17.12.2024.

Одобрено после рецензирования 14.01.2025.

Принята к публикации 25.03.2025.

COMPARATIVE ASSESSMENT OF PIGMENT COMPOSITION IN KARELIAN BIRCH (*BETULA PENDULA* VAR. *CARELICA* MERCKL.) AND SILVER BIRCH (*BETULA PENDULA* ROTH) LEAVES

N.N. Besschetnova^{1✉}, V.P. Besschetnov¹, R.N. Babaev², A.N. Babaev³

¹Nizhny Novgorod State Agrotechnological University named after L.Y. Florentyev, 97, Gagarin av., 603107, Nizhny Novgorod, Russia

²Union of Forest Owners of the Nizhny Novgorod region, 9, Nesterova st., 603005, Nizhny Novgorod, Russia

³Ministry of Forestry and Protection of Wildlife of the Nizhny Novgorod region, 2, Kostina st., 603134, Nizhny Novgorod, Russia

besschetnova1966@mail.ru

The pigment composition in the leaves of two Birch (*Betula* L.) congeners, namely Silver birch (*Betula pendula* Roth) and Karelian birch (*Betula pendula* var. *carelica* Merckl.), have been studied. The principle of the only logical difference is observed, as well as the basic requirements for its formulation during experiments. Field full-scale methods of collecting the source material from the fixation of morphometric parameters of the leaf apparatus in the laboratory were applied. It was found that the average values of each studied plant have minor differences in the total pigment content, they are for Karelian birch $2,346 \pm 0,04$ mg/g and for Silver birch $2,508 \pm 0,04$ mg/g. A slight advantage of the content of plastid pigments in the native species relative to the introduced one was noted. The predominance of chlorophyll b over chlorophyll a was found in both plants, which in turn is explained by the high density of crown closure in plantations of natural and artificial origin. The differences between the studied representatives of the genus birch in the content and ratio of plastid pigments were recorded and their significance was confirmed by the results of two-factor dispersion analysis. There was a significant influence of differences in the affiliation of the compared samples to the typical form and variety of birch with decorative wood texture on the formation of phenotypic variability, which reached $15,33 \pm 0,47$ % (according to the Plokhinsky method) and $21,92 \pm 0,43$ % (according to the Snedekor algorithm). It is proved that the phenotypic differences of the studied genus birch in the content and ratio of plastid pigments are genotypically determined and justified by the fact of their close growth against the background of homogeneous forest conditions. At the same time, there is a strong influence of unorganized factors, which in some cases were predominant and reached 59,86 %.

Keywords: Karelian birch, Silver birch, leaf apparatus, pigment composition, chlorophyll a, chlorophyll b, carotenoids

Suggested citation: Besschetnova N.N., Besschetnov V.P., Babaev R.N., Babaev A.N. *Sravnitel'naya otsenka pigmentnogo sostava list'ev berezy karel'skoy (Betula pendula var. carelica Merckl.) i berezy povisloy (Betula pendula Roth)* [Comparative assessment of pigment composition in Karelian birch (*Betula pendula* var. *carelica* Merckl.) and Silver birch (*Betula pendula* Roth) leaves]. *Lesnoy vestnik / Forestry Bulletin*, 2025, vol. 29, no. 3, pp. 5–16. DOI: 10.18698/2542-1468-2025-3-5-16

References

- [1] Babaev R.N., Besschetnova N.N., Besschetnov V.P. *Lignifikatsiya ksilemy raznykh vidov berezy pri introduktsii v usloviyakh Nizhegorodskoy oblasti* [Xylem lignification of different birch species during introduction in the Nizhny Novgorod region]. *Izvestiya Sankt-Peterburgskoy lesotekhnicheskoy akademii* [Bulletin of the St. Petersburg Forest Engineering Academy], 2021, no. 235, pp. 40–56.
- [2] Deryugin A.A., Rybakova N.A., Glazunov Yu.B. *Model' formirovaniya berezovo-elovykh nasazhdeniy v usloviyakh yuzhnoy taygi Russkoy ravniny* [Model of formation of birch-spruce plantations in the southern taiga of the Russian Plain]. *Forestry Journal*, 2024, no. 3, pp. 23–45.
- [3] Egorov A.B., Bubnov A.A., Postnikov A.M., Pavlyuchenkova L.N. *Biologicheskaya, lesovodstvennaya i ekonomicheskaya effektivnost' ukhoda za berezoy s primeneniem gerbitsida Magnum* [Biological, silvicultural and economic efficiency of birch care using the herbicide Magnum]. *Trudy Sankt-Peterburgskogo nauchno-issledovatel'skogo instituta lesnogo khozyaystva* [Proceedings of the St. Petersburg Research Institute of Forestry], 2024, no. 3, pp. 86–97.
- [4] Tripepi R.R., Mitchell C.A. Metabolic response of river birch and European birch and European birch roots to hypoxia. *Plant Physiology*, 1984, v. 76, iss. 1, pp. 31–35. DOI 10.1104/pp.76.1.31
- [5] Pothier D., Margolis A. Analysis of growth and light interception of balsam fir and white birch saplings following precommercial thinning. *Annals of Forest Science*, 1991, v. 48, no. 2, pp. 123–132. DOI: 10.1051/forest:19910201
- [6] Zhao X.Y., Bian X.Y., Li Z.X., Wang X., Yang C.J., Liu G.F., Jiang J., Kentbayev Y., Kentbayeva B., Yang Ch.P. Genetic stability analysis of introduced *Betula pendula*, *B. kirghisorum* and *B. pubescens* families in saline-alkali soil of northeastern China. *Scandinavian J. of Forest Research*, 2014, no. 4, 26 p. DOI: 10.1080/02827581.2014.960892
- [7] Pedieu R., Riedl B., Pichette A. Properties of white birch (*Betula papyrifera*) outer bark particleboards with reinforcement of coarse wood particles in the core layer. *Annals of Forest Science*, 2008, v. 65, no. 7, pp. 1–9. DOI: 10.1051/forest:2008053
- [8] Kaitaniemi P., Lintunen A. Neighbor identity and competition influence tree growth in Scots pine, Siberian larch, and silver birch. *Annals of Forest Science*, 2010, v. 67, no. 6, article no. 604, pp. 1–7. DOI: 10.1051/forest/2010017
- [9] Behrend A.M., Pommerening A. Growing at the edge: Modelling sapling colonization, performance, and effective range of mountain birch (*Betula pubescens* ssp. *tortuosa*) // *Ecological Modelling*, 2025, v. 503, pp. 1–10. DOI: 10.1016/j.ecolmodel.2025.111073
- [10] Gryaz'kin A.V., Samsonova I.D., Novikova M.A., Fan T.L., Vandzhurak G.V., Vu V.Kh. *Izmenchivost' biometricheskikh pokazateley beresty v zavisimosti ot kharakteristik drevostoya* [Variability of birch bark biometric indicators depending on the characteristics of the stand]. *Izvestiya Sankt-Peterburgskoy lesotekhnicheskoy akademii* [Bulletin of the St. Petersburg Forest Engineering Academy], 2018, no. 222, pp. 94–109.
- [11] Gryaz'kin A.V., Belyaeva N.V., Danilov D.A., Vandzhurak G.V., Khung V.V. *Izmenchivost' tolshchiny i massy kory berezy po dline stvola* [Variability of the thickness and weight of birch bark along the trunk length]. *Forestry Journal*, 2019, no. 2 (368), pp. 32–39.
- [12] Zav'yalov K.E. *Morfologiya i khimicheskiy sostav list'ev opytnykh kul'tur berezy povisloy (Betula pendula Roth) v usloviyakh magnezitovogo zagryazneniya* [Morphology and chemical composition of leaves of experimental crops of silver birch (*Betula pendula* Roth) under magnesite pollution]. *Izvestiya Orenburgskogo gosudarstvennogo agrarnogo universiteta* [Bulletin of the Orenburg State Agrarian University], 2013, no. 3 (41), pp. 230–232.
- [13] Konovalov V.F. *Bereza povislavaya na Yuzhnom Urale (Struktura populyatsiy, selektsiya i vosproizvodstvo)* [Silver birch in the Southern Urals (Population structure, selection and reproduction)]. *Dis. Dr. Sci. (Agric.)*, 06.03.01. Yoshkar-Ola, 2003, 503 p.
- [14] Konovalov V.F., Yanbaev Yu.A., Galeev E.I., Dunyushkin E.V. *Phyusovaya selektsiya berezy povisloy v respublike Bashkortostan: itogi i perspektivy razvitiya* [Plus selection of silver birch in the Republic of Bashkortostan: results and development prospects]. *Agrarnaya Rossiya* [Agrarnaya Rossiya], 2009, no. 6-II, special issue: materials of the international scientific-practical conf. «Actual problems of dendroecology and plant adaptation», pp. 140–141.
- [15] Yanbaev Yu.A., Konovalov V.F., Muzafarova A.A., Galeev E.I. *Formirovanie genofonda populyatsiy berezy pri kolonizatsii novykh mestoobitaniy* [Formation of the gene pool of birch populations during colonization of new habitats]. *Agrarnaya nauka* [Agrarian science], 2009, no. 4, pp. 16–17.
- [16] Silla F., González-Gil A., González-Molina M.E., Mediavilla S., Escudero A. Estimation of chlorophyll in *Quercus* leaves using a portable chlorophyll meter: effects of species and leaf age. *Annals of Forest Science*, 2010, v. 67, no. 1, pp. 1–7. DOI 10.1051/forest/2009093
- [17] Daas C., Montpied P., Hanchi B., Dreyer E. Responses of photosynthesis to high temperatures in oak saplings assessed by chlorophyll-a fluorescence: inter-specific diversity and temperature-induced plasticity. *Annals of Forest Science*, 2008, v. 65, no. 3, article no. 305, pp. 1–7. DOI 10.1051/forest:2008002
- [18] Kraj W. Chlorophyll degradation and the activity of chlorophyllase and Mg-dechelataase during leaf senescence in *Fagus sylvatica*. *Dendrobiology*, 2015, v. 74, pp. 43–57. DOI 10.12657/denbio.074.005
- [19] Pakhar'kova N.V., Masentsova I.V., Sorokina G.A., Gette I.G., Kalabina A.A. *Pozdnyakova E.E. Sezonnye izmeneniya pigmentnogo kompleksa khvoi sosny sibirskoy v usloviyakh vysotnoy poyasnosti Zapadnogo Sayana* [Seasonal changes in the pigment complex of Siberian pine needles in the conditions of altitudinal zonation of the Western Sayan]. *Khvoynye boreal'noy zony* [Conifers of the boreal zone], 2024, v. XLII, no. 2, pp. 22–29.
- [20] Suntsova L.N., Inshakov E.M., Lisotova E.V., Suslina M.A. *O sostoyanii pigmentnogo apparata khvoynykh v usloviyakh urbanizirovannoy sredy goroda Krasnoyarska* [On the state of the pigment apparatus of conifers in the urbanized environment of the city of Krasnoyarsk]. *Khvoynye boreal'noy zony* [Conifers of the boreal zone], 2023, v. XLI, no. 5, pp. 399–405.

- [21] Lichtenthaler H.K., Rinderle U., Haitz M. Seasonal variations in photosynthetic activity of spruces as determined by chlorophyll fluorescence // *Annals of Forest Science*, 1989, v. 46, pp. 483–489. DOI: 10.1051/forest:198905ART0108
- [22] Babaev R.N., Besschetnova N.N., Besschetnov V.P. *Pigmentatsiya listovykh plastin predstaviteley roda bereza (Betula L.)* [Genus birch (*Betula L.*) leaf plates pigmentation]. *Lesnoy vestnik / Forestry Bulletin*, 2022, vol. 26, no. 3, pp. 29–38. DOI: 10.18698/2542-1468-2022-3-29-38
- [23] Babaev R.N., Besschetnova N.N., Besschetnov V.P. *Mnogoparametricheskii analiz pigmentnogo sostava listovogo apparata predstaviteley roda Betula L.* [Multiparameter analysis of the pigment composition of the leaf apparatus of representatives of the genus *Betula L.*]. *Vestnik Povolzhskogo gosudarstvennogo tekhnologicheskogo universiteta. Seriya: Les. Ekologiya. Prirodopol'zovanie* [Bulletin of the Volga State Technological University. Series: Forest. Ecology. Nature Management], 2023, no. 3(59), pp. 42–54.
- [24] Zontikov D.N., Zontikova S.A., Malakhova K.V. *Sravnitel'nyy analiz nekotorykh morfometricheskikh pokazateley ust'ichnogo apparata i sodержaniya khlorofilla u Rubus chamaemorus L. s razlichnym urovnem ploidnosti* [Comparative analysis of some morphometric parameters of the stomatal apparatus and chlorophyll content in *Rubus chamaemorus L.* with different ploidy levels]. *Trudy Sankt-Peterburgskogo nauchno-issledovatel'skogo instituta lesnogo khozyaystva* [Proceedings of the St. Petersburg Forestry Research Institute], 2022, no. 3, pp. 59–69.
- [25] Zarek M. Seasonal fluctuations of photosynthetic pigments content in *Taxus baccata* needles. *Dendrobiology*, 2016, v. 76, pp. 13–24. DOI: 10.12657/denbio.076.002
- [26] Oksanen E., Freiwald V., Prozherina N., Matti Rousi M. Photosynthesis of birch (*Betula pendula*) is sensitive to spring-time frost and ozone. *Canadian J. of Forest Research*, 2005, v. 35, no. 3, pp. 703–712. DOI 10.1139/x05-007
- [27] Reis L.A.C., de Oliveira J.A., Farnese F. dos S., Rosado A.M., Reis L.A.C. Chlorophyll fluorescence and water content parameters are good biomarkers for selecting drought tolerant eucalyptus clones. *Forest Ecology and Management*, 2021, v. 481, pp. 1–10. DOI 10.1016/j.foreco.2020.118682
- [28] Shlyk A.A. *O spektrofotometricheskom opredelenii khlorofillov a i b* [On spectrophotometric determination of chlorophylls a and b]. *Biokhimiya* [Biochemistry], 1968, v. 33, iss. 2, pp. 275–285.
- [29] Shlyk A.A. *Opredelenie khlorofilla i karotinoidov v ekstraktakh zelenykh list'ev* [Determination of chlorophyll and carotenoids in green leaf extracts]. *Biokhimicheskie metody v fiziologii rasteniy* [Biochemical methods in plant physiology]. Ed. O.A. Pavlinova. Moscow: Nauka, 1971, pp. 154–170.
- [30] Houpis J.L.J., Surano K.A., Cowles S., Shinn J.H. Chlorophyll and carotenoid concentrations in two varieties of *Pinus ponderosa* seedlings subjected to long-term elevated carbon dioxide. *Tree Physiology*, 1988, v. 4, iss. 2, pp. 187–193. DOI 10.1093/treephys/4.2.187
- [31] Lichtenthaler H.K., Wellburn A.R. Determinations of total carotenoids and chlorophylls a and b of leaf extracts in different solvents. *Biochemical Society Transactions*, 1983, v. 11, no. 6, pp. 591–592.
- [32] Lichtenthaler H.K. Chlorophyll a and carotenoids: pigments of photosynthetic biomembranes. *Methods in Enzymology: Plant Cell Membranes*, 1987, v. 148, pp. 350–382. DOI 10.1016/0076-6879(87)48036-1
- [33] Lidholm J., Gustafsson P. A functional promoter shift of a chloroplast gene: a transcriptional fusion between a novel psbA gene copy and the trnK(UUU) gene in *Pinus contorta*. *The Plant J.*, 1992, v. 2, iss. 6, pp. 875–886. DOI 10.1046/j.1365-3113x.1992.t01-4-00999.x
- [34] Porra R.G., Thomson W.A., Kriedemann P.E. Determination of accurate extinction coefficients and simultaneous equations for assaying chlorophylls a and b extracted with four different solvents: verification of the concentration of chlorophyll standards by atomic absorption spectroscopy. *Biochimica et Biophysica Acta*, 1989, v. 975, pp. 384–394. DOI 10.1016/S0005-2728(89)80347-0
- [35] Rosenthal S.I., Camm E.L. Photosynthetic decline and pigment loss during autumn foliar senescence in western larch (*Larix occidentalis*). *Tree Physiology*, 1997, v. 17, no.12, pp. 767–775. DOI 10.1093/treephys/17.12.767
- [36] Schoefs B., Franck F. Chlorophyll Synthesis in Dark-Grown Pine Primary Needles. *Plant Physiology*, 1998, v. 118, pp. 1159–1168. DOI <https://doi.org/10.1104/pp.118.4.1159>
- [37] Skuodiene L. Quantitative changes in aminoacid proline and chlorophyll in the needles of *Picea abies* Karst. (L.) during stress and adaptation. *Biologija*, 2001, no. 2, pp. 54–56.
- [38] Wellburn A.R. The Spectral Determination of Chlorophylls a and b, as well as Total Carotenoids, Using Various Solvents with Spectrophotometers of Different Resolution. *J. of plant physiology*, 1994, v. 144, iss. 3, pp. 307–313. DOI 10.1016/S0176-1617(11)81192-2
- [39] Mason R.L., Gunst R.F., Hess J.L. *Statistical Design and Analysis of Experiments: With Applications to Engineering and Science*. Hoboken, New Jersey (Printed in the USA): Wiley-Interscience, Wiley Series in Probability and Statistics, 2003, 752 p.
- [40] Srinagesh K. *The Principles of Experimental Research*. Waltham, Massachusetts (United States): Butterworth-Heinemann, 2005, 432 p.
- [41] Dean A. Voss D., Draguljić D. *Design and Analysis of Experiments* (Springer Texts in Statistics). Heidelberg, Germany: Springer-Verlag GmbH, 2017, 865 p.
- [42] Khelvorson M. *Effektivnaya rabota s Microsoft Office 2006* [Effective work with Microsoft Office 2006]. St. Petersburg: Piter, 2000, p. 1234.
- [43] Mead R., Curnow R.N., Hasted A.M. *Statistical Methods in Agriculture and Experimental Biology*. New York: Chapman and Hall/CRC, 2003, 488 p.
- [44] Zar J.H. *Biostatistical Analysis*. Edinburg Gate: Pearson New International edition, 2014, 756 p.

Authors' information

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

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

Babayev Ramis Natigovich — Cand. Sci. (Agriculture), Deputy Director General of the Union of Forest Owners of the Nizhny Novgorod region, lp-ram17@yandex.ru

Babayev Artem Natigovich — Consultant of the Forest Protection Sector of the Ministry of Forestry and Wildlife Protection of the Nizhny Novgorod region, beedoed@mail.ru

Received 17.12.2024.

Approved after review 14.01.2025.

Accepted for publication 25.03.2025.

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

РЕЗУЛЬТАТЫ ИСПЫТАНИЯ СЕМЕННОГО ПОТОМСТВА ПЛЮСОВЫХ ДЕРЕВЬЕВ СОСНЫ ОБЫКНОВЕННОЙ (*PINUS SYLVESTRIS* L.) В СЕВЕРНОМ КАЗАХСТАНЕ

Я.А. Крекова✉, Н.К. Чеботько

ТОО «Казахский научно-исследовательский институт лесного хозяйства и агролесомелиорации имени А.Н. Букейхана» (КазНИИЛХА им. А.Н. Букейхана), Республика Казахстан, 021704, г. Щучинск, ул. Кирова, д. 58

yana24.ru@mail.ru

Приведены результаты испытания полусибсовых потомств плюсовых деревьев сосны обыкновенной в испытательных культурах трех генераций, созданных в северной части Казахского мелкосопочника (Акмолинская область, Северный Казахстан). Определена сохранность деревьев полусибсов в испытательных культурах в возрасте 36...37 лет, которая в среднем составила 55,67 %. Выявлено, что потомство первой генерации превысило высоту потомств второй и третьей генераций на 15,35...15,95 %, но по диаметру ствола оказалось меньше на 7,55...8,31 %. Определена доля семей с превышением показателей над контрольными образцами на достоверном уровне ($p < 0,05$) по высоте дерева — 42,03 % и по диаметру ствола — 9,65 %. Установлен селекционный эффект по высоте ствола в среднем на уровне 7,39 % (1,29 м), а по диаметру ствола — 14,10 % (2,79 см). Установлено, что менее половины (47,12 %) отобранных и испытываемых плюсовых деревьев сосны обыкновенной проявили стабильность по показателям роста в полусибсовом потомстве.

Ключевые слова: лесная селекция, *Pinus sylvestris* L., высота дерева, диаметр ствола, продуктивность, испытательные культуры, полусибсы

Ссылка для цитирования: Крекова Я.А., Чеботько Н.К. Результаты испытания семенного потомства плюсовых деревьев сосны обыкновенной (*Pinus sylvestris* L.) в Северном Казахстане // Лесной вестник / Forestry Bulletin, 2025. Т. 29. № 3. С. 17–26. DOI: 10.18698/2542-1468-2025-3-17-26

Для повышения качества лесных насаждений, в том числе сосновых, в странах СНГ, ближнего и дальнего зарубежья были разработаны программы по селекционному улучшению деревьев на объектах единого генетико-селекционного комплекса. За время реализации программ был накоплен определенный опыт и получены результаты, освещенные в работах [1–6]. Эффективность плюсовой селекции древесных растений по продуктивности можно оценить по результатам изучения роста семенного потомства (семей) плюсовых деревьев в экспериментальных (испытательных) культурах. Если селектируемый признак, например средняя высота дерева испытываемой совокупности семей будет статистически значимо отличаться от контрольного образца, то массовый отбор в данной популяции можно считать эффективным [1]. А использование селекционно-улучшенного материала даже в результате простых отборов может значительно увеличить продуктивность создаваемых насаждений [7].

Сосна обыкновенная (*Pinus sylvestris* L.) по биологическим свойствам, сочетанию хозяйственной ценности, продуктивности, рас-

пространенности и широкой экологической пластичности справедливо считается одной из наиболее ценных древесных пород не только в Евразии, но и во всем мире. Данный вид является классическим примером непрерывной географической изменчивости популяционных систем, где изменения генетической структуры, фенотипических признаков и свойств в отсутствие выраженного горного рельефа происходят плавно, следуя в широтном и особенно меридиальном направлениях за изменением фотопериода и других макроклиматических параметров [8–11]. В таких случаях границы внутривидовых и многих видовых таксонов проводятся достаточно условно. Морфологические, биологические и эколого-физиологические особенности сосны обыкновенной в естественных насаждениях, которые напрямую связаны с одним из важных направлений этого вида — селекцией на быстроту роста и устойчивость подробно описаны в работе [12].

Результаты изучения сосны обыкновенной в испытательных культурах направлены на теоретическое и практическое обоснование селекционных работ по сохранению, улучшению и воспроизводству генетического потенциала вида. В то же время к важным отнесен вопрос

изучения влияния селекционных мероприятий (отбора лучших с хозяйственной точки зрения генотипов) на уровень генетического разнообразия. Заложенные по стандартной схеме лесных культур испытательные культуры имеют в настоящее время довольно широкий диапазон возраста насаждений, что позволяет провести соответствующую оценку. В результате такой оценки потомств плюсовых деревьев и насаждений в целом становится возможным сохранение и воспроизводство лесных насаждений путем внедрения наиболее ценных генотипов [13–17].

Завершающей формой постоянной лесосеменной базы основных лесообразующих пород служат лесосеменные плантации, которые создаются путем вегетативного или семенного размножения выделенных по фенотипу лучших деревьев [18, 19]. Для создания лесосеменных плантаций второго порядка сосны обыкновенной можно использовать маточники с повышенными урожайностью и ростом в высоту на 10,8 % [20].

В Казахстане сосна обыкновенная — это одна из основных лесообразующих пород, занимающая третье место по площади в лесном фонде Республики после саксаула и березы. Насаждения сосны обыкновенной распространены по территории юго-восточной, западной и центральной частей Казахстана, однако основные площади насаждений сосны обыкновенной сосредоточены в Северном и Восточном Казахстане (84 %) [21]. В Северном Казахстане, где были проведены исследования, находится второй крупный пространственно изолированный район произрастания сосны обыкновенной. Этот район охватывает территорию от островных боров Кокшетау-Мунчактинского мелкосопочника Акмолинской области и до Каркаралинских низкогорий Карагандинской области [22]. Сосны из этого района отличаются узкокронностью, мелкошишечностью, большим участием особей с гладкой молодой корой зеленовато-оранжевой окраски и тонкой старой корой и наименьшей численностью деревьев с пластинчатой старой корой. У деревьев чаще распространены острый угол прикрепления боковых побегов к стволу и средняя степень очищенности ствола от сучьев. В насаждениях наблюдается повышенное представительство деревьев с плоским апофизом шишек и пониженным продуцированием тяжелых (крупных) семян серого цвета и пестрой окраски. Преобладают деревья с густым ветвлением и охвоением и с короткой и маложивущей хвоей.

Изучая сосну обыкновенную в выделенных изолированных районах Казахстана, ученые

КазНИИЛХА пришли к выводу о том, что сосняки Казахского мелкосопочника и Калбинского хребта самые древние [23]. Основанием такого предположения стало выявленное небольшое количество вторичных перетяжек при исследовании числа хромосом в их кариотипе, а чем больше вторичных перетяжек, тем моложе популяция сосны.

С 1960 г. проводились обширные работы по закладке опытных селекционно-генетических объектов, в том числе архивов клонов плюсовых деревьев и испытательных культур для изучения наследственных свойств отобранных деревьев и дальнейшего сортвыведения [24]. В настоящее время возраст клонов плюсовых деревьев и испытательных культур плюсовых деревьев сосны обыкновенной достигли II класса возраста. Согласно установленным нормативным документам Казахстана в данной возрастной группе проводится предварительная оценка эффективности проведенного отбора плюсовых деревьев [25, 26]. В связи с этим начато проведение необходимых обследований некоторых селекционных объектов, дана оценка их количественным и качественным признакам [27, 28].

Цель работы

Цель работы — селекционно-генетическая оценка плюсовых деревьев сосны обыкновенной (*Pinus sylvestris* L.) в результате испытания полусибсового потомства в трех генерациях.

Материалы и методы

Исследования были проведены для 36–37-летних полусибсов плюсовых деревьев сосны обыкновенной в Акмолинской области Северного Казахстана в испытательных культурах в трех генерациях (табл. 1).

В испытательных культурах представлено потомство 53 плюсовых деревьев сосны обыкновенной. При этом во всех трех генерациях испытательных культур произрастает полусибсовое потомство от 35 плюсовых деревьев, доля которых от общего количества семей в первой генерации составляет 74,47 %, во второй — 83,33 % и в третьей — 70,00 %. Две семьи — № 9 и № 22 встречаются в одной из генераций (в третьей и первой соответственно). Остальные одноименные семьи растут только в двух генерациях — в первой и второй или первой и третьей, или второй и третьей.

Руководили созданием испытательных культур канд. биол. наук В.И. Мосин и канд. с.-х. наук А.И. Бреусова. Испытательные культуры

Т а б л и ц а 1

Общая характеристика испытательных культур

General characteristics of test crops

Испытательные культуры	Год создания	Занимаемая площадь, га	Географические координаты	Количество потомств/семей, шт.	Сохранность, %
Первая генерация	1984	4,06	52°56'48,7"N 70°16'29,8"E	47	57,53
Вторая генерация	1986	4,6	52°56'40,7"N 70°16'15,0"E	42	49,92
Третья генерация	1987	5,0	52°56'43,0"N 70°16'29,5"E	50	59,57

были заложены на участках, аналогичных по условиям произрастания материнских деревьев:

микрорельеф: слабая возвышенность с микропонижениями;

почвы: черноземы обыкновенные, не засолены;

глубина вскипания: 160 см в аллювиальном горизонте;

содержание гумуса: в пахотном горизонте — 3,69...3,03, в черноземах — 10,69 %;

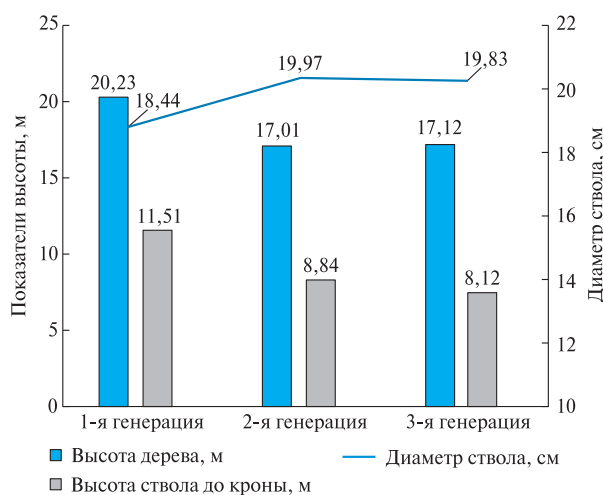
глубина грунтовых вод: 5...7 м;

емкость поглощения: 36...45 мг-экв на 100 г почвы;

обеспеченность почв подвижными формами азота — высокая (содержание до 60 мг на 1000 г), фосфора — низкая (10 мг на 100 г), калия — от средней до высокой (15...18 мг на 100 г).

Для создания испытательных культур были выращены двулетние сеянцы, высаженные под меч Колесова с открытой корневой системой. Размещали растения по схеме 2×2 м, размер опытной делянки составлял 16×16 м (256 м²). Нумерация делянок и рядов в пределах делянки установлена с востока на запад, нумерация посадочных мест — по каждому ряду с севера на юг. В каждой опытной делянке было высажено по 64 растения. Количество повторностей каждой семьи зависело от числа выращенных сеянцев и варьировало от 1 до 4. Размещение повторных делянок осуществлялось на расстоянии не менее 30 м. Контрольными образцами служило потомство нормальных деревьев от свободного опыления. Делянки с контрольными образцами были размещены через каждые 10 опытных делянок.

Для изучения роста, определения различий между семьями полусибсов и контрольными образцами, дальнейшего отбора в испытательных культурах первой, второй и третьей генераций были проведены измерения основных таксационных показателей [29]. Общая высота измерялась с помощью электронного высоотомера Haglof (Haglöf Sweden®, Швеция) с точностью ±0,5 м, диаметр ствола на высоте



Показатели роста испытательных культур
Growth indicators of test crops

1,3 м от поверхности земли — мерной вилкой Haglof (Haglöf Sweden®, Швеция) при точности определения до 1 мм. Камеральная обработка данных проведена в программе MS Excel 2021 с использованием методов статистического анализа [30].

Результаты и обсуждение

Средняя сохранность деревьев полусибсов по всем объектам на момент обследования составила 55,67 %, при наивысшей в испытательных культурах третьей генерации (59,57 %) и наименьшей во второй генерации (49,92 %). При общей характеристике средних таксационных показателей по высоте дерева, высоте ствола до кроны и диаметре ствола были выявлены различия между испытательными культурами полусибсов (рисунок).

Деревья в испытательных культурах первой генерации (36 лет) отличались наибольшей средней высотой — $20,23 \pm 0,09$ м, которая достоверно превышала на 15,35...15,95 % среднюю высоту семей в третьей и второй генерациях

Т а б л и ц а 2

**Сравнительная характеристика средних значений высоты деревьев полусибсов
в испытательных культурах относительно контрольных образцов**

**Comparative characteristics of the average values of the tree height in the half-sibs
in test crops relative to the control samples**

Высота дерева	Среднее значение	Доля семей	Отношение к контрольным образцам	
	м	%	м	%
Первая генерация (контрольные образцы $20,00 \pm 0,24$ м)				
Больше контрольных образцов	$20,77 \pm 0,09$	56,16	0,77	3,87
Достоверно больше контрольных образцов, $p < 0,05$	$21,20 \pm 0,09$	28,77	1,20	5,99
Меньше контрольных образцов	$19,44 \pm 0,08$	43,84	0,56	2,78
Вторая генерация (контрольные образцы $16,48 \pm 0,27$ м)				
Больше контрольных образцов	$17,45 \pm 0,11$	74,07	0,97	5,88
Достоверно больше контрольных образцов, $p < 0,05$	$17,93 \pm 0,13$	40,74	1,45	8,80
Меньше контрольных образцов	$15,88 \pm 0,10$	25,93	0,6	3,60
Третья генерация (контрольные образцы $16,37 \pm 0,24$ м)				
Больше контрольных образцов	$17,29 \pm 0,06$	90,79	0,92	5,62
Достоверно больше контрольных образцов, $p < 0,05$	$17,58 \pm 0,06$	56,58	1,21	7,39
Меньше контрольных образцов	$15,57 \pm 0,18$	9,21	0,8	4,89

соответственно ($t_{\Phi} = 24,13$; $t_{0,05} = 1,98$; ($t_{\Phi} > t_{0,05}$) и $t_{\Phi} = 20,12$; $t_{0,05} = 1,98$; ($t_{\Phi} > t_{0,05}$)). Также для полусибсов первой генерации установлен наименьший средний диаметр ствола — $18,44 \pm 0,15$ см, который был меньше на 7,55...8,31 % по сравнению с остальными объектами исследования ($t_{\Phi} = 24,13$; $t_{0,05} = 1,98$; ($t_{\Phi} > t_{0,05}$) и $t_{\Phi} = 20,12$; $t_{0,05} = 1,98$; ($t_{\Phi} > t_{0,05}$)). Предположительно, на особенности роста полусибсов первой генерации (меньшие показатели среднего диаметра ствола, при наибольших показателях высоты по сравнению с деревьями в других генерациях) могли оказать влияние абиотические факторы в первый год роста испытательных культур и микрорельеф.

В испытательных культурах второй и третьей генераций (37 лет) показатели средней высоты ($17,00 \pm 0,12$ м и $17,12 \pm 0,08$ м соответственно) и среднего диаметра ствола ($19,97 \pm 0,20$ см и $19,83 \pm 0,19$ см соответственно) были по значениям максимально близки между собой и не имели достоверных отличий. Протяженность ствола до начала кроны у семей полусибсов в генерациях была в пределах от 8,12 м (третья генерация) до 11,51 м (первая генерация).

Для оценки эффективности плюсовой селекции важное значение имеет количество элиты, т. е. семей, статистически значимо превышаю-

щих контрольные образцы по селективируемому признаку. Исследования в этом направлении представляют большой практический интерес. Нашими исследователями установлено, что на севере Казахского мелкосопочника испытание плюсовых деревьев сосны обыкновенной по семенному потомству до 10-летнего возраста не дало результатов. В испытательных культурах трех генераций высший ранг по высоте дерева сохраняют от 15 до 50 % семей. По семенному потомству отбор по росту в высоту можно проводить к возрасту дифференциации растений, т. е. к 20...25 годам [31].

В результате полученных нами новых данных (табл. 2), было установлено, что у большей доли семей (в среднем 73,67 %) показатели высоты были больше, чем у контрольных образцов.

Однако проведенный анализ t -критерия Стьюдента показал достоверность превышения высоты дерева над контрольными образцами (при $p < 0,05$) у менее чем половины испытываемых семей (среднее по всем генерациям 42,03 %), селекционный эффект которых был в пределах 7,39 %. Превышение высоты деревьев над контрольными образцами в среднем составило 1,29 м.

Испытания потомства плюсовых деревьев сосны обыкновенной были проведены в ряде

Т а б л и ц а 3

**Сравнительная характеристика средних значений диаметра ствола полусибсов
в испытательных культурах относительно контрольных образцов**

**Comparative characteristics of the average values of the half-sibs trunk diameter
in test crops relative to the control samples**

Диаметр ствола	Среднее значение	Доля семей	Отношение к контрольным образцам	
	м	%	м	%
Первая генерация (контрольные образцы $18,32 \pm 0,53$ см)				
Больше контрольных образцов	$19,44 \pm 0,16$	49,32	1,12	6,10
Достоверно больше контрольных образцов, $p < 0,05$	$21,12 \pm 0,27$	9,59	2,80	15,29
Меньше контрольных образцов	$17,48 \pm 0,10$	50,68	0,84	4,61
Вторая генерация (контрольные образцы $20,62 \pm 0,70$ см)				
Больше контрольных образцов	$21,76 \pm 0,22$	33,30	1,14	5,50
Достоверно больше контрольных образцов, $p < 0,05$	$23,41 \pm 0,48$	5,61	2,79	13,50
Меньше контрольных образцов	$19,08 \pm 0,16$	66,73	1,54	7,50
Третья генерация (контрольные образцы $20,15 \pm 0,64$ см)				
Больше контрольных образцов	$21,54 \pm 0,18$	40,79	1,39	6,89
Достоверно больше контрольных образцов, $p < 0,05$	$22,92 \pm 0,28$	13,75	2,77	13,50
Меньше контрольных образцов	$18,65 \pm 0,12$	59,21	1,50	7,43

стран СНГ и получены результаты эффективности отбора по фенотипу. Согласно более ранним сведениям, доля элиты сосны обыкновенной, в частности, в пределах Украины изменялась от 2 до 90 %, в Белоруссии — от 13 до 18 %, превышая контрольные образцы на 10 % и более. В Прибалтике этот показатель был значительно больше: в Литве — 20...50 %, а в Латвии, по данным В.М. Роне [32], отбор плюсовых деревьев по фенотипу был признан неперспективным. Более поздними исследованиями семенного потомства сосны обыкновенной, например в таежной зоне Карелии, установлено, что доля элитных деревьев этого вида составила 33,3 % [33].

В настоящее время, с увеличением возраста созданных культур, получены новые данные для проведения оценки. По результатам исследований 13-, 19- и 20-летних испытательных культур сосны обыкновенной, было предложено первоначальную оценку семей проводить после завершения первого этапа формирования насаждения, поскольку этот этап соответствует возрастной стабилизации коэффициента внутрисемейной изменчивости высоты деревьев в пределах 5–6 %, которая произойдет примерно в возрасте 22...25 лет при схеме создания культур $3,0 \times 0,8$ м [34].

Анализ результатов роста деревьев в испытательных культурах сосны обыкновенной,

созданных в 1980–1990-е годы в разных регионах России, Украины, Белоруссии, Литвы, Латвии, показал противоречивые результаты. Так, в России (Воронежская и Оренбургская области) соответственно 20...45 и 75 % семей плюсовых деревьев превысили данные по контрольным образцам на 6...26 %. В условиях Украины (на западе, севере и северо-востоке страны) у 60...90 % семей плюсовых деревьев сосны обыкновенной высота деревьев была достоверно больше контрольных образцов [1]. По другим обобщенным сведениям, относительно роста испытательных культур, приведены данные о эффективности плюсового отбора в среднем 8...9 %, однако в зависимости от вида и региона его произрастания он может находиться в пределах от 2...5 до 13...15 % [35]. Приведенные данные согласуются с полученными нами результатами, где семьи полусибсов по высоте превышали контрольные образцы на 7,39 %.

Кроме того, анализ диаметра ствола полусибсов на высоте 1,3 м от поверхности земли показал превышение над контрольными образцами для 41,14 % семей по трем генерациям (табл. 3).

При этом отмечено снижение доли семей, превышающих контрольные образцы на достоверном уровне значимости (при $p < 0,05$)

до 9,65 % в среднем по всем генерациям. Средний диаметр ствола этих семей превысил данные по контрольным образцам на 14,10 %, или 2,79 см.

В исследованиях Н.Н. Бессчетновой [36] также приводятся сведения об уменьшении числа семей полусибсов плюсовых деревьев сосны обыкновенной, достоверно отличающихся по диаметру ствола от контрольных образцов в отличие от высоты деревьев в испытательных культурах. Предполагается, что полное смыкание крон полусибсов могло способствовать возникновению конкурентных условий, стимулирующих рост деревьев в высоту и ослабление их развития по диаметру ствола.

Проявление различий в росте у потомства плюсового дерева может изменяться в зависимости от вклада каждого из опылителей и от условий года наблюдений. В связи с этим определение общей комбинационной способности приемлемо как минимум по двум любым урожаям [37]. Нами был проведен соответствующий анализ по трем генерациям, в каждой из которых были выделены семьи с достоверным превышением показателей контрольных образцов. В результате из всего набора испытываемых семей выделено 32,03 % или 17 наиболее ценных (семьи полусибсов № 2, 4, 5, 10, 16, 18, 20, 29, 30, 39, 42, 46, 47, 49, 50, 70, 72), которые отличаются наибольшей высотой не менее чем в двух генерациях. К числу наиболее продуктивных отнесено 15,09 % или 8 семей плюсовых деревьев (семьи полусибсов № 1, 3, 13, 21, 36, 45, 52, 73), которые отличаются наибольшими показателями как по высоте, так и по диаметру ствола.

Таким образом, проведенные испытания потомств плюсовых деревьев сосны обыкновенной на территории Северного Казахстана показали эффективность отбора на уровне 47,12 %, т. е. менее половины плюсовых деревьев подтвердили генетическую стабильность признака (высота дерева и диаметр ствола) в потомстве.

Выводы

У полусибсов в испытательных культурах первой генерации наибольшая высота — $20,23 \pm 0,09$ м (превышение на 1,66...3,23 м) и наименьший средний диаметр ствола — $18,44 \pm 0,15$ см (меньше на 0,92...1,53 см) по сравнению с остальными потомствами. Селекционный эффект по высоте в среднем составил 7,39 %, по диаметру 14,10 %. Доля семей (в среднем по всем генерациям), достоверно превышающих контрольные образцы по высоте составила 42,03 %, по диаметру ствола — 9,65 %.

Из всего набора испытываемых семей, только у 32,03 % выявлено достоверное превышение по высоте не менее чем в двух генерациях. К числу наиболее продуктивных отнесено 15,09 % семей, достоверно превышающих контрольные образцы по показателям средней высоты и диаметра ствола не менее чем в двух генерациях. Общая эффективность по количеству отобранных плюсовых деревьев сосны обыкновенной соответствовала уровню 47,12 %, у которых в полусибсовом потомстве проявилась стабильность по показателям роста.

Данное исследование финансируется Министерством экологии, геологии и природных ресурсов Республики Казахстан (ИРН BR10263776).

Список литературы

- [1] Видякин А.И. Эффективность плюсовой селекции древесных растений // Хвойные бореальной зоны, 2010. Т. 27. № 1–2. С. 18–24.
- [2] Бессчетнов В.П., Бессчетнова Н.Н., Орнатский А.Н. Лесное семеноводство: проблемы и перспективы развития на селекционно-генетической основе: Материалы Междунар. науч.-практ. конф. «Инновации и технологии в лесном хозяйстве», 22–23 марта 2011 г., Санкт-Петербург, ФГУ «СПбНИИЛХ» // Труды Санкт-Петербургского научно-исследовательского института лесного хозяйства. СПб.: Изд-во СПбНИИЛХ, 2011. С. 10–14.
- [3] Корчагин О.М., Семенов М.А., Вариводина И.Н., Камалов Р.М., Кострикин В.А., Царев В.А., Спицына В.И. Развитие генетико-селекционных методов повышения продуктивности лесов // Лесохозяйственная информация, 2020. № 4. С. 5–22.
- [4] Царев А.П., Лаур Н.В., Царев В.А., Царева Р.П. Современное состояние лесной селекции в Российской Федерации: тренд последних десятилетий // ИзВУЗ. Лесной журнал, 2021. № 6(384). С. 38–55.
- [5] Тараканов В.В., Паленова М.М., Паркина О.В., Роговцев Р.В., Третьякова Р.А. Лесная селекция в России: достижения, проблемы, приоритеты (обзор) // Лесохозяйственная информация, 2021. № 1. С. 100–143.
- [6] Ковалевич А., Падутов В., Баранов О., Сидор А., Каган Д., Ивановская С. Сохранение и рациональное использование лесов на селекционно-генетической основе // Наука и инновации, 2022. № 4(230). С. 12–17.
- [7] Царев А.П., Лаур Н.В., Царев В.А. Экономическая эффективность лесной селекции // Ученые записки Петрозаводского государственного университета, 2012. № 8. Т. 2. С. 35–39.
- [8] Раевский Б.В. Селекционно-генетическая оценка клонов сосны обыкновенной на лесосеменных плантациях первого порядка. Петрозаводск: Изд-во Карельского научного центра РАН, 2006. 91 с.
- [9] Коропачинский И.Ю., Встовская Т.Н. Древесные растения Азиатской России. Новосибирск: Гео, 2012. 707 с.

- [10] Przybylski P., Matras J., Sułkowska M. Genetic variability of Scots pine (*Pinus sylvestris* L.) in maternal regions of provenance // *Folia Forestalia Polonica. Series A*, 2015, no. 57(2), pp. 112–119. DOI: 10.1515/ffp-2015-0011
- [11] Brichta J., Vacek S., Vacek Z., Cukor J., Mikeska M., Bílek L., Šimůnek V., Gallo J., Brabec P. Importance and potential of Scots pine (*Pinus sylvestris* L.) in 21st century // *Central European Forestry J.*, 2023, v.69, iss. 1, pp. 3–20. DOI: 10.2478/forj-2022-0020
- [12] Правдин Л.Ф. Сосна обыкновенная. Изменчивость, внутривидовая систематика и селекция. М.: Наука, 1964. 190 с.
- [13] Есичев А.О., Бессчетнова Н.Н., Бессчетнов В.П. Наследственная обусловленность пигментного состава хвои представителей рода Лиственница // *Лесной вестник / Forestry Bulletin*, 2021. Т. 25. № 5. С. 5–13. DOI: 10.18698/2542-1468-2021-5-5-13
- [14] Rosvall O., Mullin T.J., Lindgren D. Controlling parent contributions during positive assortative mating and selection increases gain in long-term forest tree breeding // *Forest Genetics*, 2003, no. 10(1), pp. 35–53.
- [15] Жигунов А.В., Бондаренко А.С., Николаева М.А. Первые результаты отбора элитных деревьев ели европейской в Ленинградской области // *ИзВУЗ Лесной журнал*, 2012. № 3. С. 43–50.
- [16] Ishibashi V., Junior P.C.F., Martinez D.T., Higa A.R. Genetic selection of *Pinus taeda* L. through multi-environment trial // *Floresta*, 2021, no. 51(1), pp. 211–219. DOI: 10.5380/rf.v51i1.68057
- [17] Раевский Б.В., Игнатенко Р.В., Новиченок Е.В., Прокопюк В.М., Куклина К.К. Современное состояние селекции и семеноводства хвойных пород // *ИзВУЗ Лесной журнал*, 2022. № 6. С. 9–37.
- [18] Ефимов Ю.П. Семенные плантации в селекции и семеноводстве сосны обыкновенной. Воронеж: Истоки, 2010. 253 с.
- [19] Зеленьяк А.К., Иозус А.П., Макаров В.М. К вопросу генетической оценки перспективности отобранного селекционного материала сосны для лесосеменных плантаций Нижнего Поволжья // *Современные проблемы науки и образования*, 2013. № 4. URL: <https://science-education.ru/ru/article/view?id=9986> (дата обращения 22.02.2024).
- [20] Рогозин М.В. Программа селекции сосны и ели по прямым и коррелирующим признакам в Пермском крае // *Лесохозяйственная информация*, 2018. № 2. С. 85–95.
- [21] Пояснительная записка к материалам государственного лесного кадастра и кадастра особо охраняемых лесных территорий лесного фонда Республики Казахстан по состоянию на 01.01.2021. Алматы: Изд-во Казахского лесоустроительного предприятия, 2021. 138 с.
- [22] Шульга В.В. Внутривидовая изменчивость сосны обыкновенной на юге ее ареала (в Казахстане) // *Леса и древесные породы Северного Казахстана*. Л.: Наука, 1974. С. 66–71.
- [23] Мосин В.И., Шульга В.В., Бреусова А.И. Полиморфизм, отбор и испытание сосны в Казахстане: Всесоюз. совещ. по лесной генетике, селекции и семеноводству, 1–4 ноября 1983 г., г. Петрозаводск. Тезисы докл. Петрозаводск: Карельский филиал АН СССР, 1983. С. 27–29.
- [24] Крекова Я.А., Чеботько Н.К. История и развитие лесной селекции в Казахстане // *Повышение эффективности лесного комплекса: Материалы Пятой* Всерос. нац. науч.-практ. конф. с междунар. участием 22 мая 2019 г., г. Петрозаводск. Петрозаводск: Изд-во ПетрГУ, 2019. С. 54–56.
- [25] Приказ Министра охраны окружающей среды Республики Казахстан от 27 августа 2013 года № 258-Ө: «Об утверждении Правил выявления, создания и эксплуатации объектов селекционно-семеноводческого назначения». URL: <https://adilet.zan.kz/rus/docs/V1300008751> (дата обращения 05.02.2024).
- [26] Приказ Министра сельского хозяйства Республики Казахстан от 12 июля 2011 года № 14-1/392: «Об утверждении возраста рубки леса на территории государственного лесного фонда». URL: <https://adilet.zan.kz/rus/docs/V1100007101> (дата обращения 05.02.2024).
- [27] Чеботько Н.К., Крекова Я.А., Бейсенбай А.Б., Шарипова А.К. Оценка клонового потомства плюсовых деревьев сосны обыкновенной на севере Казахского мелкосопочника // *3I: intellect, idea, innovation — интеллект, идея, инновация*, 2022. № 4. С. 212–221. DOI: 10.52269/22266070_2022_4_212
- [28] Крекова Я.А., Чеботько Н.К. Исследования потомства плюсовых деревьев *Pinus sylvestris* L. в испытательных культурах первой генерации // *Природообустройство*, 2023. № 3. С. 130–136. DOI: 10.26897/1997-6011-2023-3-130-136
- [29] Мартынов А.Н., Мельников Е.С., Ковязин В.Ф., Аникин А.С., Минаев В.Н., Беляева Н.В. Основы лесного хозяйства и таксация леса. СПб.: Лань, 2008. 372 с.
- [30] Багинский В.Ф., Лапицкая О.В. Биометрия в лесном хозяйстве. Гомель: Изд-во ГГУ им. Ф. Скорины, 2017. 276 с.
- [31] Бреусова А.И., Чеботько Н.К. Оценка наследственных свойств плюсовых деревьев сосны обыкновенной по потомству // *Среда и жизнедеятельность. Кустанайская область Республики Казахстан. Кустанай: Кустанайский печатный двор*, 1994. С. 174–175.
- [32] Роне В.М. Генетический анализ лесных популяций. М.: Наука, 1980. 160 с.
- [33] Белоусова А.А. Испытание семенного потомства плюсовых деревьев сосны обыкновенной в условиях таежной зоны // *Международный журнал гуманитарных и естественных наук*, 2016. № 1–5. С. 251–255.
- [34] Видякин А.И., Хорькова Е.Ю., Клабукова Т.П. Результаты предварительной оценки плюсовых деревьев сосны и ели в испытательных культурах Вятского лесосеменного района // *Лесохозяйственная информация*, 2002. № 6. С. 41–42.
- [35] Бессчетнов В.П., Бессчетнова Н.Н. Проблемы и перспективы развития отечественной лесной селекции // *Материалы Междунар. агробиотехнол. симп., посвящ. 80-летию чл.-кор. РАН, заслуж. деятеля науки РФ В.В. Сочнева: «150 инноваций совершенствования ветеринарного обеспечения сельских и городских территорий»*, 23–25 сентября 2015 г., Нижний Новгород. Нижний Новгород: Изд-во НГСХА; «БИКАР», 2015. Т. 2. С. 116–120.
- [36] Воробьев Р.А., Бессчетнова Н.Н., Бессчетнов В.П., Тютин А.Ю. Таксационные показатели клонов плюсовых деревьев ели европейской в архиве клонов в Нижегородской области // *Хвойные бореальной зоны*, 2023. Т. 41. № 1. С. 12–23.
- [37] Рогозин М.В. Общая комбинационная способность *Pinus sylvestris* L. на семенных участках // *Сибирский лесной журнал*, 2014. № 2. С. 53–61.

Сведения об авторах

Крекова Яна Алексеевна  — канд. с.-х. наук, зав. отделом селекции, ТОО «Казахский научно-исследовательский институт лесного хозяйства и агролесомелиорации имени А.Н. Букейхана», yana24.ru@mail.ru

Чеботко Надежда Константиновна — канд. с.-х. наук, вед. науч. сотр. отдела селекции, ТОО «Казахский научно-исследовательский институт лесного хозяйства и агролесомелиорации имени А.Н. Букейхана», chebotkon@mail.ru

Поступила в редакцию 18.03.2024.

Одобрено после рецензирования 25.11.2024.

Принята к публикации 25.03.2025.

TEST RESULTS OF HALF-SIBS PLUS SCOTS PINE (*PINUS SYLVESTRIS* L.) TREES IN NORTHERN KAZAKHSTAN

Y.A. Krekova , **N.K. Chebotko**

A.N. Bukeikhan Kazakh Research Institute of Forestry and Agroforestry, 58, Kirov st., 021704, Shchuchinsk, Republic of Kazakhstan

yana24.ru@mail.ru

The test results of plus Scots pine half-sibs trees in three generations progeny test growing in the northern part of the Kazakh Upland (Akmola region, Northern Kazakhstan) are presented. The survival rate of the half-sibs in progeny test at the age of 36...37 years has been determined, averaging 55,67 %. It was revealed that offspring of the first generation exceed the tree height of the second and third generation offspring by 15,35...15,95 %, however, the trunk diameter is smaller by 7,55...8,31 %. The proportion of families with excess indicators over control samples has been determined at a significant level ($p < 0,05$) in terms of tree height — 42,03 % and trunk diameter — 9,65 %. Genetic progress through selection has been established at an average of 7,39 % (1,29 m) in tree height and 14,1% (2,79 sm) in trunk diameter. Less than half (47,12 %) of the selected and tested plus Scots pine trees showed stability in terms of growth in half-sibs offspring.

Keywords: forest selection, *Pinus sylvestris* L., tree height, trunk diameter, productivity, test crops, half-sibs

Suggested citation: Krekova Y.A., Chebotko N.K. *Rezultaty ispytaniya semennogo potomstva plusovykh derev'ev sosny obyknovennoy (Pinus sylvestris L.) v Severnom Kazakhstane* [Test results of half-sibs plus Scots pine (*Pinus sylvestris* L.) trees in Northern Kazakhstan]. *Lesnoy vestnik / Forestry Bulletin*, 2025, vol. 29, no. 3, pp. 17–26. DOI: 10.18698/2542-1468-2025-3-17-26

References

- [1] Vidyakin A.I. *Effektivnost' plusovoy seleksii drevesnykh rasteniy* [Efficiency of plus selection of woody plants]. *Khvoynye boreal'noy zony* [Conifers of the boreal area], 2010, t. 27, no. 1–2, pp. 18–24.
- [2] Besschetnov V.P., Besschetnova N.N., Ornatskiy A.N. *Lesnoe semenovodstvo: problemy i perspektivy razvitiya na selekcionno-geneticheskoy osnove* [Forest seed production: problems and prospects for development on a selection-genetic basis]. *Innovatsii i tekhnologii v lesnom khozyaystve: mater. Mezhdunar. nauch.-prakt. konf. Ser. «Trudy Sankt-Peterburgskogo nauch.-issled. in-ta lesn. khoz-va»* [Innovations and technologies in forestry: materials of the International Scientific and Practical Conference. Series «Proceedings of the Sankt-Petersburg Forestry Research Institute»]. Sankt-Peterburg: Sankt-Peterburgskiy NIILKh, 2011, pp. 10–14.
- [3] Korchagin O.M., Semenov M.A., Varivodina I.N., Kamalov R.M., Kostrikin V.A., Tsarev V.A., Spitsyna V.I. *Razvitiye genetiko-selektsionnykh metodov povysheniya produktivnosti lesov* [Development of genetic and selection methods for increasing forest productivity]. *Lesokhozyaystvennaya informatsiya* [Forestry information], 2020, no. 4, pp. 5–22.
- [4] Tsarev A.P., Laur N.V., Tsarev V.A., Tsareva R.P. *Sovremennoe sostoyanie lesnoy seleksii v Rossiyskoy Federatsii: trend poslednikh desyatiletiy* [The Current State of Forest Breeding in the Russian Federation: The Trend of Recent Decades]. *IzVUZ Lesnoy zhurnal*, 2021, no. 6(384), pp. 38–55.
- [5] Tarakanov V.V., Palenova M.M., Parkina O.V., Rogovtsev R.V., Tret'yakova R.A. *Lesnaya selektsiya v Rossii: dos-tizheniya, problemy, priority (obzor)* [Forest selection in Russia: achievements, problems, priorities (review)] *Lesokhozyaystvennaya informatsiya* [Forestry information], 2021, no. 1, pp. 100–143.
- [6] Kovalevich A., Padutov V., Baranov O., Sidor A., Kagan D., Ivanovskaya S. *Sokhraneniye i ratsional'noye ispol'zovaniye lesov na selekcionno-geneticheskoy osnove* [Conservation and rational use of forests on a selection and genetic basis]. *Nauka i innovatsii* [Science and innovation], 2022, no. 4(230), pp. 12–17.

- [7] Tsarev A.P., Laur N.V., Tsarev V.A. *Ekonomicheskaya effektivnost' lesnoy selektsii* [Economic efficiency of forest selection]. Uchenye zapiski Petrozavodskogo gos. un-ta [Scientific notes of Petrozavodsk State University], 2012, no. 8, t. 2, pp. 35–39.
- [8] Raevskiy B.V. *Seleksionno-geneticheskaya otsenka klonov sosny obyknovennoy na lesosemennykh plantatsiyakh pervogo poryadka* [Selection and genetic assessment of Scots pine clones on first-order forest seed plantations: Educational and methodological manual]. Petrozavodsk: Karel'skiy nauchnyy tsentr RAN, 2006, 91 p.
- [9] Koropachinskiy I.Yu., Vstovskaya T.N. *Drevesnye rasteniya Aziatskoy Rossii* [Woody plants of Asian Russia]. Novosibirsk: Geo, 2012, 707 p.
- [10] Przybylski P., Matras J., Sulowska M. Genetic variability of Scots pine (*Pinus sylvestris* L.) in maternal regions of provenance. *Folia Forestalia Polonica. Series A*, 2015, no. 57(2), pp. 112–119. DOI: 10.1515/ffp-2015-0011
- [11] Brichta J., Vacek S., Vacek Z., Cukor J., Mikeska M., Bilek L., Šimůnek V., Gallo J., Brabec P. Importance and potential of Scots pine (*Pinus sylvestris* L.) in 21st century. *Central European Forestry J.*, 2023, v.69, iss. 1, pp. 3–20. DOI: 10.2478/forj-2022-0020
- [12] Pravdin L.F. *Sosna obyknovennaya. Izmenchivost, vnutrividovaya sistematika i selekciya* [Scots pine. Variation, intra-specific taxonomy and selection]. Moscow: Nauka, 1964, 190 p.
- [13] Yesichev A.O., Besschetnova N.N., Besschetnov V.P. *Nasledstvennaya obuslovlennost' pigmentnogo sostava khvoi predstaviteley roda listvennitsa* [Hereditary dependence of pigment composition in genus larch needles]. *Lesnoy vestnik / Forestry Bulletin*, 2021, vol. 25, no. 5, pp. 5–13. DOI: 10.18698/2542-1468-2021-5-5-13
- [14] Rosvall O., Mullin T.J., Lindgren D. Controlling parent contributions during positive assortative mating and selection increases gain in long-term forest tree breeding. *Forest Genetics*, 2003, no. 10(1), pp. 35–53.
- [15] Zhigunov A.V., Bondarenko A.S., Nikolaeva M.A. *Pervye rezul'taty otbora elitnykh derev'ev eli evropeyskoy v Leningradskoy oblasti* [The first results of the selection of elite Norway spruce trees in the Leningrad region]. *IzVUZ Lesnoy zhurnal*, 2012, no. 3, pp. 43–50.
- [16] Ishibashi V., Junior P.C.F., Martinez D.T., Higa A.R. Genetic selection of *Pinus taeda* L. through multi-environment trial. *Floresta*, 2021, no. 51(1), pp. 211–219. DOI: 10.5380/rf.v51i1.68057
- [17] Raevskiy B.V., Ignatenko R.V., Novichonok E.V., Prokopyuk V.M., Kuklina K.K. *Sovremennoe sostoyanie selektsii i semenovodstva khvoynykh porod* [The Current State of Conifer Species Breeding and Seed Production]. *IzVUZ Lesnoy zhurnal*, 2022, no. 6, pp. 9–37.
- [18] Efimov Yu.P. *Semennye plantatsii v selektsii i semenovodstve sosny obyknovennoy* [Seed plantations in selection and seed production of Scots pine]. Voronezh: Istoki, 2010, 253 p.
- [19] Efimov Yu.P. *Semennye plantatsii v selektsii i semenovodstve sosny obyknovennoy* [To the question of genetic assess the prospects of selected breeding material of pine seed plantations of the Lower Volga region]. *Sovremennye problemy nauki i obrazovaniya* [Modern problems of science and education], 2013, no. 4. Available at: <https://science-education.ru/ru/article/view?id=9986> (accessed 22.02.2024).
- [20] Rogozin M.V. *Programma selektsii sosny i eli po pryamym i korreliiruyushchim priznakam v Permskom krae* [Breeding program for pine and spruce based on direct and correlating traits in the Perm region] // *Lesokhozyaystvennaya informatsiya* [Forestry information], 2018, no. 2, pp. 85–95.
- [21] *Poyasnitel'naya zapiska k materialam gosudarstvennogo lesnogo kadastra i kadastra osobo okhranyaemykh lesnykh territoriy lesnogo fonda Respubliki Kazakhstan po sostoyaniyu na 01.01.2021* [Explanatory note to the materials of the state forest cadastre and cadastre of specially protected forest areas of the forest fund of the Republic of Kazakhstan as of 01.01.2021]. Almaty: Respublikanskoe gosudarstvennoe kazennoe predpriyatie «Kazakhskoe lesoustroitel'noe predpriyatie», 2021, 138 p.
- [22] Shul'ga V.V. *Vnutrividovaya izmenchivost' sosny obyknovennoy na yuge ee areala (v Kazakhstane)* [Intraspecific variability of Scots pine in the south of its range (in Kazakhstan)]. *Lesa i drevesnye porody Severnogo Kazakhstana* [Forests and tree species of Northern Kazakhstan]. Leningrad: Nauka. Leningr. otd-nie, 1974, pp. 66–71.
- [23] Mosin V.I., Shul'ga V.V., Breusova A.I. *Polimorfizm, otbor i ispytanie sosny v Kazakhstane* [Polymorphism, selection and testing of pine in Kazakhstan]. *Vsesoyuz. soveshch. po lesnoy genetike, selektsii i semenovodstvu: tezisy dokl.* [All-Union Conference on Forest Genetics, Breeding and Seed Production], 1–4 noyabrya 1983 g., g. Petrozavodsk. Petrozavodsk: KF AN SSSR, 1983, pp. 27–29.
- [24] Krekova Ya.A., Chebot'ko N.K. *Istoriya i razvitie lesnoy selektsii v Kazakhstane* [History and development of forest selection in Kazakhstan]. *Povyshenie effektivnosti lesnogo kompleksa: mater. Pyatoy Vseros. nats. nauch.-prakt. konf. s mezhdunar. uch.* [Increasing the efficiency of the forestry complex]. Petrozavodsk: PGU, 2019, pp. 54–56.
- [25] *Prikaz Ministra okhrany okruzhayushchey sredy Respubliki Kazakhstan ot 27 avgusta 2013 goda № 258-Ø: «Ob utverzhdenii Pravil vyyavleniya, sozdaniya i ekspluatatsii ob'ektov seleksionno-semenovodcheskogo naznacheniya»* [Order of the Minister of Environmental Protection of the Republic of Kazakhstan dated August 27, 2013 No. 258-Ø: «About approval of Rules of identification, creation and operation of subjects to selection and seed-growing appointment»]. URL: <https://adilet.zan.kz/rus/docs/V1300008751> (data obrasheniya: 05.02.2024).
- [26] *Prikaz Ministra selskogo hozyajstva Respubliki Kazakhstan ot 12 iyulya 2011 goda № 14-1/392: «Ob utverzhdenii vozrasta rubki lesa na territorii gosudarstvennogo lesnogo fonda»* [Order of the Minister of Agriculture of the Republic of Kazakhstan dated July 12, 2011 No. 14-1/392: «About approval of the age of forest felling on the territory of the state forest fund»]. Available at: <https://adilet.zan.kz/rus/docs/V1100007101> (accessed 05.02.2024).
- [27] Chebot'ko N.K., Krekova Ya.A., Beysenbay A.B., Sharipova A.K. *Otsenka klonovogo potomstva plyusovykh derev'ev sosny obyknovennoy na severe Kazakhskogo melkosopochnika* [Assessment of clonal progeny of plus trees of Scots pine in the north of the Kazakh Uplands]. *3I: intellect, idea, innovation — intellekt, ideya, innovatsiya* [3I: Intellect, Idea, Innovation], 2022, no. 4, pp. 212–221. DOI: 10.52269/22266070_2022_4_212

- [28] Krekova Ya.A., Chebot'ko N.K. *Issledovaniya potomstva plyusovykh derev'ev Pinus sylvestris L. v ispytatel'nykh kul'turakh pervoy generatsii* [Studies of the progeny of plus trees *Pinus sylvestris* L. in test crops of the first generation]. Prirodobustroystvo [Nature management], 2023, no. 3, pp. 130–136. DOI: 10.26897/1997-6011-2023-3-130-136
- [29] Martynov A.N., Mel'nikov E.S., Kovyazin V.F., Anikin A.S., Minaev V.N., Belyaeva N.V. *Osnovy lesnogo khozyaystva i taksatsiya lesa* [Fundamentals of forestry and forest taxation]. St. Petersburg: Lan', 2008, 372 p.
- [30] Baginskiy V.F., Lapitskaya O.V. *Biometriya v lesnom khozyaystve* [Biometrics in forestry]. Gomel: GGU im. F. Sko-riny, 2017, 276 p.
- [31] Breusova A.I., Chebot'ko N.K. *Otsenka nasledstvennykh svoystv plyusovykh derev'ev sosny obyknovennoy po potomstvu* [Assessment of the hereditary properties of Scots pine plus trees based on their offspring]. Sreda i zhiznedeyatel'nost'. Kustanayskaya oblast' Respubliki Kazakhstan [Environment and life. Kostanay region of the Republic of Kazakhstan]. Kustanay: Kustanayskiy pechatnyy dvor, 1994, pp. 174–175.
- [32] Rone V.M. *Geneticheskiy analiz lesnykh populyatsiy* [Genetic analysis of forest populations]. Moscow: Nauka, 1980, 160 p.
- [33] Belousova A.A. *Ispytanie semennogo potomstva plyusovykh derev'ev sosny obyknovennoy v usloviyakh taizhnoy zony* [Testing the seed progeny of plus-sized Scots pine trees in the Taiga]. Mezhdunarodnyy zhurnal gumanitarnykh i estestvennykh nauk [International J. of Humanities and Sciences], 2016, no. 1–5, pp. 251–255.
- [34] Vidyakin A.I., Khor'kova E.Yu., Klabukova T.P. *Rezultaty predvaritel'noy otsenki plyusovykh derev'ev sosny i eli v ispytatel'nykh kul'turakh Vyatskogo lesosemennogo rayona* [Results of a preliminary assessment of plus pine and spruce trees in test crops of the Vyatka forest seed region]. Lesokhozyaystvennaya informatsiya [Forestry information], 2002, no. 6, pp. 41–42.
- [35] Besschetnov V.P., Besschetnova N.N. *Problemy i perspektivy razvitiya otechestvennoy lesnoy seleksii* [Problems and prospects for the development of domestic forest selection]. Mater. mezhdunar. agrobiotekhnologicheskogo simpoziuma, posvyashch. 80-letiyu chlena-korrespondenta RAN, zasluzh. deyatelya nauki RF V.V. Sochneva: 150 innovatsiy sovershenstvovaniya veterinarnogo obespecheniya sel'skikh i gorodskikh territoriy [Materials of the international agrobiotechnological symposium dedicated to the 80th anniversary of the corresponding member of the wounds, Honored Scientist of the Russian Federation V.V. Sochneva: 150 innovations for improving veterinary provision of rural and urban areas of the Higher Professional Educational Institution of the Nizhny Novgorod State Agricultural Academy]. N. Novgorod: NGSKhA, «BIKAR», 2016, t. 2, pp. 116–120.
- [36] Vorob'ev R.A., Besschetnova N.N., Besschetnov V.P., Tyutin A.Yu. *Taksatsionnye pokazateli klonov plyusovykh derev'ev eli evropeyskoy v arkhive klonov v Nizhegorodskoy oblasti* [Taxation indicators of clones of plus trees of European spruce in the clone archive in the Nizhny Novgorod region]. Khvoynye boreal'noy zony [Conifers of the boreal zone], 2023, v. 41, no. 1, pp. 12–23.
- [37] Rogozin M.V. *Obshchaya kombinatsionnaya sposobnost' Pinus sylvestris L. na semennykh uchastkakh* [General combinative ability of *Pinus sylvestris* L. in seed plots]. Sibirskiy lesnoy zhurnal [Siberian Forest Journal], 2014, no. 2, pp. 53–61.

This study is funded by the Ministry of Ecology, Geology and Natural Resources of the Republic of Kazakhstan (IRN BR10263776).

Authors' information

Krekova Yana Alekseevna✉ — Cand. Sci. (Agriculture), Head of the Breeding department, A.N. Bukeikhan Kazakh Research Institute of Forestry and Agroforestry, yana24.ru@mail.ru

Chebotko Nadezhda Konstantinovna — Cand. Sci. (Agriculture), Leading Researcher of the Breeding department, A.N. Bukeikhan Kazakh Research Institute of Forestry and Agroforestry, chebotkon@mail.ru

Received 18.03.2024.

Approved after review 25.11.2024.

Accepted for publication 25.03.2025.

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

ОСОБЕННОСТИ ДЕПониРОВАНИЯ УГЛЕРОДА ЛЕСНЫМИ КУЛЬТУРАМИ НА ПРИМЕРЕ ВОСТОЧНОЙ ЧАСТИ ВОЛОГОДСКОЙ ОБЛАСТИ

С.А. Коротков^{1, 2✉}, В.П. Захаров³, Д.В. Лежнев², И.Н. Шматков⁴

¹МГТУ им. Н.Э. Баумана (Мытищинский филиал), Россия, 141005, Московская обл., г. Мытищи, ул. 1-я Институтская, д. 1

²Институт лесоведения Российской академии наук, Россия, 143030, Московская обл., с. Успенское, ул. Советская, д. 21

³ГАУ МО «Мособллес», Россия, 143082, Московская область, Одинцовский городской округ, д. Раздоры, Рублево-Успенское шоссе, 1-й километр, д. 1А

⁴АНО «Зеленый свет», Россия, 248010, Калужская обл., г. Калуга, ул. Чичерина, д. 29, пом. 55

skorotkov-71@mail.ru

Представлены результаты комплексной оценки депонирования углерода лесными культурами ели европейской (*Picea abies* (L.) H.Karst.) в раннем возрасте на территории восточной части Вологодской области. Проанализирован видовой состав древесно-кустарниковой растительности на вырубках. Приведено описание видового состава живого напочвенного покрова на пробных площадях, заложенных в участках лесных культур различного возраста. Определена общая фитомасса лесных культур ели в зависимости от их возраста. Установлено увеличение ежегодных приростов по высоте после достижения возраста старше 5 лет. Приведены основные таксационные характеристики и количественные данные по объему депонирования углерода в лесных культурах ели возрастом от 1 до 8 лет. **Ключевые слова:** депонирование углерода, лесные культуры, ель европейская, *Picea abies* (L.) H. Karst., фитомасса, изменение климата, конверсионный коэффициент, Вологодская область

Ссылка для цитирования: Коротков С.А., Захаров В.П., Лежнев Д.В., Шматков И.Н. Особенности депонирования углерода лесными культурами на примере восточной части Вологодской области // Лесной вестник / Forestry Bulletin, 2025. Т. 29. № 3. С. 27–39. DOI: 10.18698/2542-1468-2025-3-27-39

В настоящее время большое внимание уделяется значению лесных насаждений в противодействии глобальным изменениям климата [1]. Леса способны к долгосрочному изъятию углерода из атмосферы, следовательно, лесовосстановление и сохранение лесных ландшафтов, предотвращение деградации лесов являются эффективной мерой компенсации углеродного следа и антропогенных воздействий, приведенных к углеродному эквиваленту [2, 3].

Современные изменения климата характеризуются некоторыми важными тенденциями. В частности, изменения по отдельным регионам могут существенно отличаться от глобальных трендов. Согласно опубликованным данным [4–6], среднегодовая аномалия температуры в целом по Российской Федерации достигла около 1,6 °С, что выше глобальной на 0,9 °С, если сравнить с доиндустриальным периодом. В отдельных регионах отмечается рост среднегодовой температуры воздуха, а также увеличение вегетационного периода и повышение частоты опасных природных явлений [7].

Согласно результатам сравнения данных различных моделей климатических изменений на ближайшую перспективу (СМIP6), в течение XXI в. температура и влажность воздуха, по усредненным данным, на территории Северной Евразии продолжают активный рост, в отличие от всей остальной территории [8, 9].

Накопление углерода лесными экосистемами можно рассматривать в качестве одной из важнейших экосистемных функций [10, 11]. По данным исследований [12], проведенных с использованием обратного моделирования, объем запаса углерода в год на суше оценивается примерно в 600...720 Мт С/год. При этом экосистемное и ландшафтное разнообразие лесов обуславливает неоднородность накопления углерода в лесных культурах в зависимости от различных условий. В связи с этим их создание рассматривается как один из инструментов достижения соответствующих целей в сфере лесоклиматических проектов [13].

Изменения климата вызывают ускорение сукцессионных процессов, что влечет за собой трансформацию растительных экосистем [14], а также способствует их восстановлению после

различных нарушений [15, 16]. Изменения климатических показателей в первую очередь влияют на формирование будущих лесов [17].

Леса выполняют различные экологические функции, в том числе климаторегулирующие, которые на локальном и глобальном уровне смягчают последствия изменений климата. Это следует учитывать на всех этапах формирования лесных экосистем: от создания лесных культур — до рубок ухода в насаждениях старшего возраста. От качества проведения лесокультурных работ зависят эффективность лесовосстановления, продуктивность и устойчивость формируемых насаждений [18–20].

Ключевое значение в качестве наземного поглотителя углерода имеет надземная биомасса леса [21]. Определяющим фактором появления мертвой древесины, формирования лесной подстилки и накопления углерода почвой, с одной стороны, и самостоятельным резервуаром углерода — с другой, является древостой [22]. Для корректной оценки объема запаса углерода, депонированного в виде фитомассы деревьев в насаждениях, созданных в результате лесовосстановления или лесоразведения, необходимо проведение исследований депонирующей способности искусственных насаждений различного возраста.

При оценке бюджета углерода в фитомассе насаждений, как правило, используются данные о ходе роста и биологической продуктивности лесов, учитывающие местные особенности развития древостоев и применяемых технологий лесокультурных работ [23–25]. Однако данный подход имеет существенный недостаток, важный для краткосрочного и среднесрочного прогнозирования, — данные по динамике хода роста и продуктивности насаждений, как правило, включают в себя данные о насаждениях в возрасте от 20 лет (реже от 10) [26].

Таким образом, оценить результативность действий по компенсации углеродного следа до достижения насаждениями возраста 20 лет можно лишь используя некие ретроспективные оценки достижения целевых показателей насаждения. Срок 20 и даже 10 лет — существенный для реализации лесоклиматического проекта, и для частного сектора экономики такой срок компенсации углеродного следа обычно не является оптимальным. В условиях экологической и климатической нестабильности, быстро изменяющейся обстановки и конъюнктуры рынка важно иметь следующие возможности:

1) оценивать эффективность предпринимаемых мер по компенсации углеродного следа посредством создания лесных насаждений в раннем возрасте;

2) прогнозировать объемы депонирования углерода в лесных насаждениях в возрасте до 10 лет.

Для решения этой проблемы необходимо получить данные о ходе роста и биологической продуктивности лесных культур в раннем возрасте. Это позволит точнее понимать динамику накопления углерода в фитомассе на ранних этапах формирования древостоя, лучше оценивать эффективность предпринимаемых мер по сокращению углеродного следа и повысить точность прогнозирования при внедрении новых проектов. На сегодняшний день особенности накопления углерода в фитомассе лесных культур в раннем возрасте и методы их оценки исследованы недостаточно.

Цель работы

Цель работы — проведение комплексной оценки депонирования углерода лесными культурами ели европейской (*Picea abies* (L.) H.Karst.) в возрасте от 1 до 8 лет на территории Вологодской области.

Объекты и методы исследования

Объектами исследования стали девять участков лесных культур ели европейской, созданные различным посадочным материалом в восточной части Вологодской области.

Территория Вологодской области занимает северную часть Восточно-Европейской равнины на высоте 150...200 м н. у. м. Для рельефа характерно чередование невысоких моренных холмов, гряд и возвышенностей с обширными, местами заболоченными, низинами. Рельеф восточной части региона представляет собой волнисто-увалистую равнину. Ледниковые формы здесь практически не сохранились. Преобладают формы рельефа, образованные поверхностным стоком. Многочисленные притоки р. Северная Двина и р. Волга расчленили эту возвышенность на отдельные увалистые равнины [27].

Тотемское и Тарногское лесничества Вологодской области по лесорастительному районированию расположены в таежной зоне южно-таежного лесного района европейской части Российской Федерации [28]. Территории лесничеств находятся в пределах Скандинавско-Русской провинции Европейской области умеренного пояса. Основным типом почв в регионе проведения работ являются подзолистые почвы, представленные подтипами типичных подзолистых и дерново-подзолистых почв; на пониженных частях рельефа отмечаются болотно-подзолистые и болотные почвы.

Т а б л и ц а 1

Характеристика объектов исследования

Research objects characteristics

Номер пробной площади	Лесничество	Участковое лесничество	Квартал	Выдел	Вид посадочного материала*	Возраст, лет	Год посадки	Площадь участка, га
1	Тотемское	Калининское	45	4, 5	ОКС	3	2021	23,5
2	Тотемское	Толшменское	3	11, 12, 14	«—»	4	2020	38,2
3	Тотемское	Толшменское	3	17, 22, 24	ЗКС	1	2022	17,5
4	Тотемское	Тотемское	121	18	ОКС	8	2016	3,7
5	Тарногское	Шебеньгское	142	17	«—»	1	2023	21,0
6	Тотемское	Толшменское	3	1, 7, 8, 12	«—»	2	2022	43,7
7	Тотемское	Толшменское	63	11	ЗКС	6	2018	4,6
8	Тотемское	Тотемское	70	3, 7	ОКС	5	2019	4,5
9	Тотемское	Тотемское	26	38, 45	«—»	7	2017	18,4

*ОКС — посадочный материал с открытой корневой системой; ЗКС — посадочный материал с закрытой корневой системой.

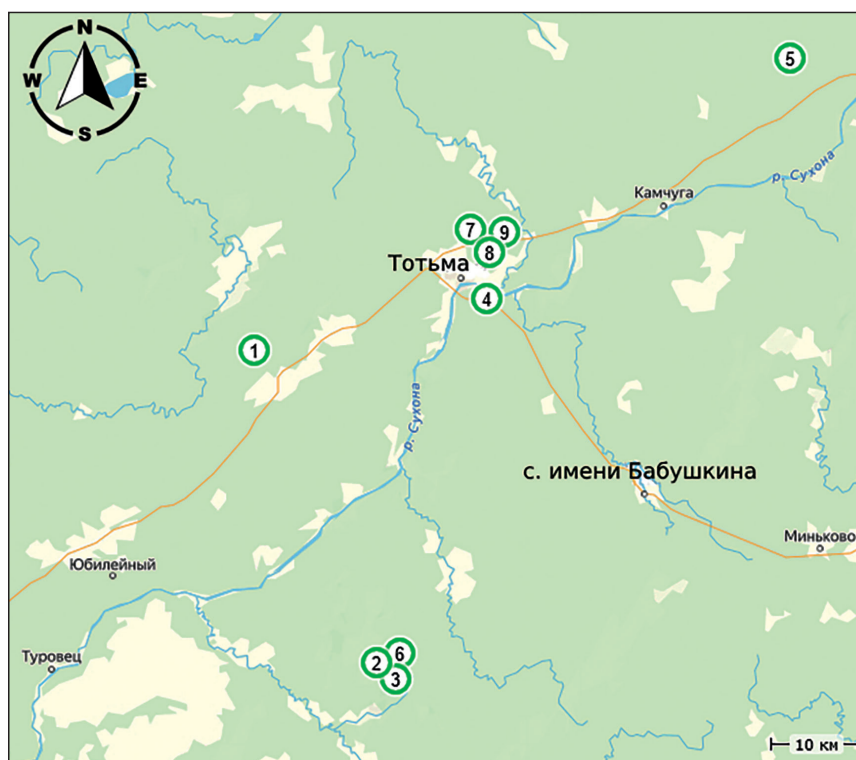


Рис. 1. Карта-схема расположения объектов исследования в Вологодской области (цифрами обозначены номера пробных площадей)

Fig. 1. Location map of the study objects in the Vologda region (the figures indicate the numbers of the test plots)

Сбор и обработка полевого материала осуществлялись в течение летнего периода 2023 г. Было заложено девять пробных площадей на лесокультурных участках. Использовался посадочный материал ели европейской с открытой (ОКС) и закрытой (ЗКС) корневыми системами (табл. 1). По классификации В.Н. Сукачева [29], исследуемые

лесные культуры находятся в местообитаниях, соответствующих группе типов леса ельники зеленомошники. На всех объектах исследования шаг посадки варьирует от 0,5 до 0,9 м. Ширина междурядий составляет от 4 до 5 м. Лесные культуры ели созданы на нераскорчеванных вырубках механической подготовкой борозд (рис. 1).

Для однократных измерений таксационных параметров лесных культур пробные площади закладывали в однородной среде по условиям местопроизрастания, составу, возрасту и по количеству посадочных мест. Размеры пробной площади определяли количеством экземпляров ели (от 250 шт.). Количество исследуемых рядов на пробной площади варьировало от 2 до 4 [30, 31].

При сплошном перечете было учтено более 2300 саженцев, у которых измеряли диаметр ствола у шейки корня и на высоте основания последнего прироста, а также высоту культур и размер кроны. Приросты по высоте являются показателями состояния культур. Их измеряли по мутовкам для каждого вегетационного периода у более чем 700 саженцев. В целях уточнения первоначальной густоты культур на каждом участке замерялось расстояние между рядами и посадочными местами в ряду.

Возраст культур определялся во время подготовительных работ по имеющейся в лесничествах документации. Дополнительно проводился анализ видового состава древесно-кустарниковой растительности и составлялось описание видового состава живого напочвенного покрова на вырубках. Показатель точности проведенного опыта не превышал 5 %.

Депонирование углерода учитывается по фракциям накопления углерода в стволе, ветвях, корнях и хвое [32]. Для расчета запасов углерода фитомассы для рассматриваемых лесных участков использовали объемно-конверсионный метод [33, 34].

Определение объема ствола ели в лесных культурах проводилось упрощенным способом срединного сечения по формуле Губера

$$g = \frac{\pi D^2}{4} L,$$

где g — объем ствола, см³;

D — срединный диаметр ствола, см;

L — высота ствола дерева, см.

Запас древесины лесных культур определялся умножением объема среднего ствола на число деревьев, произрастающих на пробной площади, после чего с помощью переводных коэффициентов рассчитывался запас древесины на 1 га.

Для возрастов, меньших стартового возраста (20 лет) таблиц хода роста, была использована линейная экстраполяция от стартового значения до 0 для высоты дерева, диаметра ствола и густоты насаждения. Ввиду нелинейности динамики запасов насаждений, наиболее явно проявляющейся в младших возрастах, для экстраполяции динамики объемного запаса древесины использовали уравнение

$$M_i = \left(\frac{d_{i2}}{d_{s2}} \right) M_s,$$

где M_i — запас насаждения в возрасте i , см³/га;

d_i — средний диаметр насаждения в возрасте i , см;

M_s — запас насаждения в стартовом возрасте таблицы хода роста s ($s > i$), см³/га;

d_s — средний диаметр насаждения в стартовом возрасте таблицы хода роста s , см.

Алгоритм расчета поглощения углерода при создании лесных насаждений производился следующим образом.

Расчет запаса углерода в фитомассе породы k выполнялся по уравнению

$$CPh_k = 0,5M_k \cdot D_k \cdot BEF_k(1 + R_k),$$

где CPh_k — объем запаса углерода фитомассы древесной породы k , т/га;

M_k — запас древесной породы k , см³/га;

D_k — конверсионный коэффициент запаса древесины породы k в фитомассе ствола, кг/см³;

BEF_k — фактор расширения биомассы для породы k (безразмерен);

R_k — отношение подземной биомассы к надземной для породы k ;

0,5 — коэффициент пересчета биомассы из органического вещества в углерод.

Между таксационными запасами древостоев и фитомассой существует взаимосвязь. Фитомассу лесных культур определяли с помощью формулы

$$M = KV,$$

где M — фитомасса, кг;

K — конверсионный коэффициент;

V — объем стволовой древесины, см³.

Конверсионные коэффициенты отражают связь запаса стволовой древесины в коре с фитомассой древостоя. Для преобразования таксационных запасов древесных пород с учетом возрастной структуры в запасы фитомассы стволов, ветвей, корней и хвои конверсионные коэффициенты были рассчитаны по следующей формуле [34].

$$k = \frac{Ph}{M},$$

где k — конверсионный коэффициент, кг/см³;

Ph — фитомасса, кг/га;

M — запас лесных культур, см³/га.

Конверсионный коэффициент рассчитан для ели с учетом групп возраста. Общий конверсионный коэффициент для молодняков ели I класса возраста в европейской части России

Т а б л и ц а 2

Основные виды древесно-кустарниковой растительности на пробных площадях

The main tree and shrubery species in the trial plots

Номер пробной площади	Древесно-кустарниковая растительность
1	Осина (<i>Populus tremula</i> L.), ольха серая (<i>Alnus incana</i> (L.) Moench), береза повислая (<i>Betula pendula</i> Roth), ель европейская (<i>Picea abies</i> (L.) H.Karst.), рябина обыкновенная (<i>Sorbus aucuparia</i> L.), виды рода ива (<i>Salix</i> sp.)
2	Сосна обыкновенная (<i>Pinus sylvestris</i> L.), ель европейская (<i>Picea abies</i> (L.) H.Karst.), береза повислая (<i>Betula pendula</i> Roth), осина (<i>Populus tremula</i> L.), ольха серая (<i>Alnus incana</i> (L.) Moench), рябина обыкновенная (<i>Sorbus aucuparia</i> L.), виды рода ива (<i>Salix</i> sp.), можжевельник обыкновенный (<i>Juniperus communis</i> L.)
3	Сосна обыкновенная (<i>Pinus sylvestris</i> L.), береза повислая (<i>Betula pendula</i> Roth), осина (<i>Populus tremula</i> L.), ольха серая (<i>Alnus incana</i> (L.) Moench), ель европейская (<i>Picea abies</i> (L.) H.Karst.), виды рода ива (<i>Salix</i> sp.), шиповник иглистый (<i>Rosa acicularis</i> Lindl.)
4	Береза повислая (<i>Betula pendula</i> Roth.), ива козья (<i>Salix caprea</i> L.), рябина обыкновенная (<i>Sorbus aucuparia</i> L.), осина (<i>Populus tremula</i> L.), сосна обыкновенная (<i>Pinus sylvestris</i> L.), ель европейская (<i>Picea abies</i> (L.) H.Karst.)
5	Ель европейская (<i>Picea abies</i> (L.) H.Karst.), береза повислая (<i>Betula pendula</i> Roth), осина (<i>Populus tremula</i> L.), рябина обыкновенная (<i>Sorbus aucuparia</i> L.), виды рода ива (<i>Salix</i> sp.)
6	Сосна обыкновенная (<i>Pinus sylvestris</i> L.), ель европейская (<i>Picea abies</i> (L.) H.Karst.), береза повислая (<i>Betula pendula</i> Roth), осина (<i>Populus tremula</i> L.), рябина обыкновенная (<i>Sorbus aucuparia</i> L.), виды рода ива (<i>Salix</i> sp.), шиповник иглистый (<i>Rosa acicularis</i> Lindl.)
7	Береза повислая (<i>Betula pendula</i> Roth), осина (<i>Populus tremula</i> L.), ольха серая (<i>Alnus incana</i> (L.) Moench), рябина обыкновенная (<i>Sorbus aucuparia</i> L.), виды рода ива (<i>Salix</i> sp.), шиповник иглистый (<i>Rosa acicularis</i> Lindl.)
8	Сосна обыкновенная (<i>Pinus sylvestris</i> L.), ель европейская (<i>Picea abies</i> (L.) H.Karst.), береза повислая (<i>Betula pendula</i> Roth), осина (<i>Populus tremula</i> L.), ольха серая (<i>Alnus incana</i> (L.) Moench), рябина обыкновенная (<i>Sorbus aucuparia</i> L.), виды рода ива (<i>Salix</i> sp.)
9	Береза повислая (<i>Betula pendula</i> Roth), осина (<i>Populus tremula</i> L.), сосна обыкновенная (<i>Pinus sylvestris</i> L.), ель европейская (<i>Picea abies</i> (L.) H.Karst.), рябина обыкновенная (<i>Sorbus aucuparia</i> L.), виды рода ива (<i>Salix</i> sp.)

составляет 0,937. Содержание углерода принимается равным 0,5 абсолютно сухой фитомассы дерева. Определены общая фитомасса и запас депонированного углерода лесных культур ели в зависимости от их возраста. Статистическая обработка данных проведена в программе Microsoft Excel 2020, при уровне достоверности $p > 0,95$.

Результаты и обсуждение

Изученные в ходе исследования культуры ели европейской находятся в однотипных условиях местопроизрастания. При создании культур ели использовалась одна и та же технология подготовки почвы, поэтому культуры ели европейской, посаженные на двух участках, отличаются только видом посадочного материала.

В ходе работ установлены виды древесно-кустарниковой и травянистой растительности, преобладающие на пробных площадях (табл. 2, 3).

На объектах исследования помимо высаженных лесных культур ели встречаются деревья и кустарники естественного происхождения.

Состав древесно-кустарниковой растительности характерен для начальных этапов восстановления лесных сообществ зоны южной тайги европейской части Российской Федерации.

На пробных площадях 1–9 отмечены как типичные лесные виды живого напочвенного покрова, сохранившиеся в ходе рубки или восстанавливающиеся по мере формирования лесного сообщества (в частности, ягодные кустарнички (*Vaccinium vitis-idaea* L., *Vaccinium myrtillus* L.), земляника лесная (*Fragaria vesca* L.), щитовник картузианский (*Dryopteris carthusiana* (Vill.) H.P.Fuchs), так и виды, характерные для открытых пространств (в первую очередь вейник наземный (*Calamagrostis epigejos* (L.) Roth), луговик дернистый (*Deschampsia cespitosa* (L.) P.Beauv.), иван-чай узколистный (*Chamaenerion angustifolium* (L.) Scop.). Микрорепрессии в пределах пробных площадей 1–9 заняты типичными для переувлажненных местообитаний видами, такими, как ситник развесистый (*Juncus effusus* L.), тростник обыкновенный (*Phragmites australis* (Cav.) Trin. ex Steud.), погон широко-

Т а б л и ц а 3

Преобладающие виды живого напочвенного покрова на пробных площадях

The predominant types of ground vegetation cover in the trial plots

Номер пробной площади	Преобладающие виды
1	Малина обыкновенная (<i>Rubus idaeus</i> L.), вейник наземный (<i>Calamagrostis epigejos</i> (L.) Roth), ситник развесистый (<i>Juncus effusus</i> L.), рогоз широколистный (<i>Typha latifolia</i> L.), хвощ лесной (<i>Equisetum sylvaticum</i> L.), брусника (<i>Vaccinium vitis-idaea</i> L.), осока волосистая (<i>Carex pilosa</i> Scop.).
2	Вейник наземный (<i>Calamagrostis epigejos</i> (L.) Roth), ситник развесистый (<i>Juncus effusus</i> L.), рогоз широколистный (<i>Typha latifolia</i> L.), иван-чай узколистный (<i>Chamaenerion angustifolium</i> (L.) Scop.), черника (<i>Vaccinium myrtillus</i> L.), брусника (<i>Vaccinium vitis-idaea</i> L.), кукушкин лен (<i>Polytrichum commune</i> Hedw.).
3	Вейник наземный (<i>Calamagrostis epigejos</i> (L.) Roth), ситник развесистый (<i>Juncus effusus</i> L.), брусника (<i>Vaccinium vitis-idaea</i> L.), кукушкин лен (<i>Polytrichum commune</i> Hedw.), рогоз широколистный (<i>Typha latifolia</i> L.).
4	Малина обыкновенная (<i>Rubus idaeus</i> L.), иван-чай узколистный (<i>Chamaenerion angustifolium</i> (L.) Scop.), щучка дернистая (<i>Deschampsia cespitosa</i> (L.) P. Beauv.), вейник наземный (<i>Calamagrostis epigejos</i> (L.) Roth), брусника (<i>Vaccinium vitis-idaea</i> L.), хвощ полевой (<i>Equisetum arvense</i> L.), кукушкин лен (<i>Polytrichum commune</i> Hedw.).
5	Вейник наземный (<i>Calamagrostis epigejos</i> (L.) Roth), ситник развесистый (<i>Juncus effusus</i> L.), кислица (<i>Oxalis acetosella</i> L.), иван-чай узколистный (<i>Chamaenerion angustifolium</i> (L.) Scop.), черника (<i>Vaccinium myrtillus</i> L.), брусника (<i>Vaccinium vitis-idaea</i> L.), кукушкин лен (<i>Polytrichum commune</i> Hedw.), линнея северная (<i>Linnaea borealis</i> L.).
6	Вейник наземный (<i>Calamagrostis epigejos</i> (L.) Roth), малина обыкновенная (<i>Rubus idaeus</i> L.), черника (<i>Vaccinium myrtillus</i> L.), иван-чай узколистный (<i>Chamaenerion angustifolium</i> (L.) Scop.), хвощ лесной (<i>Equisetum sylvaticum</i> L.), брусника (<i>Vaccinium vitis-idaea</i> L.), кукушкин лен (<i>Polytrichum commune</i> Hedw.), рогоз широколистный (<i>Typha latifolia</i> L.), земляника лесная (<i>Fragaria vesca</i> L.).
7	Вейник наземный (<i>Calamagrostis epigejos</i> (L.) Roth), хвощ лесной (<i>Equisetum sylvaticum</i> L.), иван-чай узколистный (<i>Chamaenerion angustifolium</i> (L.) Scop.), щучка дернистая (<i>Deschampsia cespitosa</i> (L.) P. Beauv.), малина обыкновенная (<i>Rubus idaeus</i> L.), земляника лесная (<i>Fragaria vesca</i> L.), щитовник широкий (<i>Dryopteris expansa</i> (C. Presl) Fraser-Jenkins et Jermy), ситник развесистый (<i>Juncus effusus</i> L.), брусника (<i>Vaccinium vitis-idaea</i> L.), кукушкин лен (<i>Polytrichum commune</i> Hedw.), рогоз широколистный (<i>Typha latifolia</i> L.), костяника (<i>Rubus saxatilis</i> L.), вороний глаз обыкновенный (<i>Paris quadrifolia</i> L.), рогоз широколистный (<i>Typha latifolia</i> L.), тростник обыкновенный (<i>Phragmites australis</i> (Cav.) Trin. ex Steud.), щитовник картузианский (<i>Dryopteris carthusiana</i> (Vill.) H.P. Fuchs).
8	Вейник наземный (<i>Calamagrostis epigejos</i> (L.) Roth), малина обыкновенная (<i>Rubus idaeus</i> L.), иван-чай узколистный (<i>Chamaenerion angustifolium</i> (L.) Scop.), кукушкин лен (<i>Polytrichum commune</i> Hedw.), рогоз широколистный (<i>Typha latifolia</i> L.), земляника лесная (<i>Fragaria vesca</i> L.), таволга вязолистная (<i>Filipendula ulmaria</i> (L.) Maxim.), щучка дернистая (<i>Deschampsia cespitosa</i> (L.) P. Beauv.), мать-и-мачеха (<i>Tussilago farfara</i> L.), клевер шуршащий (<i>Trifolium aureum</i> Pollich), голокучник обыкновенный (<i>Gymnocarpium dryopteris</i> (L.) Newman), бодяк полевой (<i>Cirsium arvense</i> (L.) Scop.).
9	Вейник наземный (<i>Calamagrostis epigejos</i> (L.) Roth), иван-чай узколистный (<i>Chamaenerion angustifolium</i> (L.) Scop.), щучка дернистая (<i>Deschampsia cespitosa</i> (L.) P. Beauv.), малина обыкновенная (<i>Rubus idaeus</i> L.), брусника (<i>Vaccinium vitis-idaea</i> L.), кукушкин лен (<i>Polytrichum commune</i> Hedw.), сфагнум (<i>Sphagnum</i> sp.).

листный (*Typha latifolia* L.), сфагновые и политриховые мхи (*Polytrichum* sp., *Sphagnum* sp.).

Информация о разнообразии растительности с указанием географических координат точек встречи конкретных видов загружена в базу данных проекта «Флора России» и регионального подпроекта «Флора Вологодской области» [35].

По результатам анализа видового состава живого напочвенного покрова определен тип вырубки для каждой пробной площади, в частности вейниково-разнотравный (ПП-1), вейниково-

ситниковый (ПП-2 и ПП-3), вейниковый (ПП-4), вейниково-кипрейный (ПП-6), кипрейно-щучковый (ПП-7, ПП-8 и ПП-9).

К возрасту 8 лет средняя высота лесных культур составила $166,23 \pm 4,91$ см, диаметр ствола у корневой шейки — $27,33 \pm 0,80$ мм. Сохранность лесных культур ели варьирует от 62,7 до 98,1 %. (табл. 4).

Для каждой пробной площади определена зависимость высоты дерева от диаметра его ствола (рис. 2).

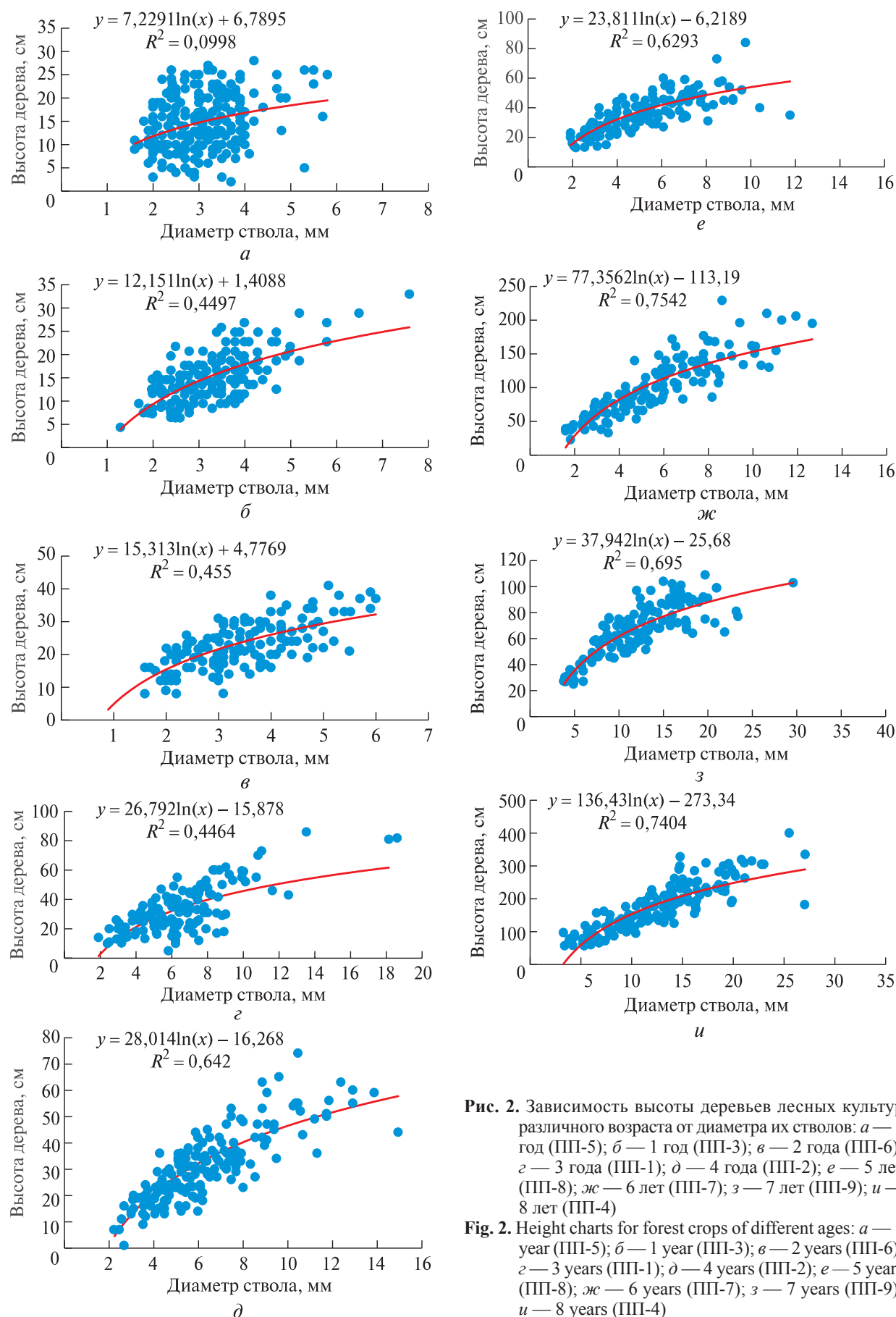


Рис. 2. Зависимость высоты деревьев лесных культур различного возраста от диаметра их стволов: а — 1 год (ПП-5); б — 1 год (ПП-3); в — 2 года (ПП-6); г — 3 года (ПП-1); д — 4 года (ПП-2); е — 5 лет (ПП-8); ж — 6 лет (ПП-7); з — 7 лет (ПП-9); и — 8 лет (ПП-4)

Fig. 2. Height charts for forest crops of different ages: а — 1 year (ПП-5); б — 1 year (ПП-3); в — 2 years (ПП-6); г — 3 years (ПП-1); д — 4 years (ПП-2); е — 5 years (ПП-8); ж — 6 years (ПП-7); з — 7 years (ПП-9); и — 8 years (ПП-4)

Т а б л и ц а 4

Биометрическая оценка лесных культур ели на пробных площадях
Biometric assessment of spruce forest crops in the trial plots

Номер пробной площади	Возраст, лет	Высота, см	Диаметр, мм	Количество, шт./ га
1	3	30,74 ± 0,79	6,02 ± 0,12	2336
2	4	31,28 ± 0,72	5,84 ± 0,13	2944
3	1	15,34 ± 0,34	3,26 ± 0,06	1259
4	8	166,23 ± 4,91	27,33 ± 0,80	1741
5	1	14,46 ± 0,31	2,98 ± 0,04	3325
6	2	22,77 ± 0,45	3,37 ± 0,06	2487
7	6	95,51 ± 3,02	16,41 ± 0,54	1589
8	5	35,47 ± 0,79	6,17 ± 0,16	2308
9	7	66,15 ± 1,23	12,01 ± 0,30	2296

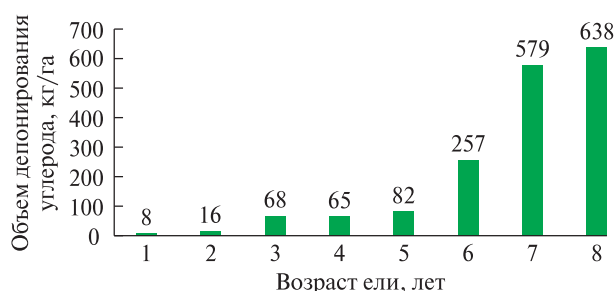


Рис. 3. Динамика депонирования углерода в лесных культурах ели на объектах исследования

Fig. 3. Dynamics of carbon sequestration in spruce forest culture in trial plots

В первые годы жизни лесных культур абсолютный запас стволовой древесины и фитомассы отличается невысокими значениями, однако отмечается их существенный годовой прирост. Заметное увеличение прироста по высоте по сравнению с предыдущими годами отмечается на 3-й (в 4,3 раза — с 13 845 до 59 634 см³/га фитомассы) и 6–7-й годы (в 2,15 и 2,2 раза — 510 492 см³/га фитомассы).

Проведен анализ динамики запаса стволовой древесины, общей фитомассы и депонирования углерода лесных культур ели на пробных площадях из расчета 3000 шт./га (рис. 3). Фактический объем углерода может варьировать в зависимости от сохранности лесных культур.

Значительное увеличение объема запасов углерода по сравнению с предыдущими годами отмечается на 3-й (в 4,3 раза) и 6–8-й годы (в 2,15; 2,2 и 1,1 раза соответственно). Депонирование углерода находится в прямой зависимости от накопления фитомассы и к 8 годам достигает 638 кг/га при количестве посадочного материала 3000 шт./га.

Создание лесных культур, в том числе выполняющих углерододепонирующую функцию, позволяет превратить вырубку в продуктивные насаждения. Депонирование углерода лесными культурами напрямую обусловлено соблюдением технологии лесовосстановления: качеством подготовительных работ, проведением посадки или посева культур, а также своевременным выполнением агротехнических, лесоводственных уходов и рубок ухода в молодняках.

Вместе с тем важно отметить, что помимо депонирования углерода лесными культурами ели, данный процесс также протекает в древесно-кустарниковой растительности естественного происхождения в междурядьях.

Количественную оценку объема запаса углерода лесными культурами можно использовать в качестве критерия и индикатора оценки эффективности воспроизводства лесов в рамках лесоклиматических проектов.

Результаты проведенного исследования можно использовать в дальнейшем при изучении накопления фитомассы и депонирования углерода в европейской части РФ.

Выводы

1. Показатели продуктивности культур ели европейской в основном зависят от морфометрических характеристик деревьев. К возрасту 8 лет средняя высота лесных культур составляет $166,23 \pm 4,91$ см, диаметр ствола у корневой шейки — $27,33 \pm 0,80$ мм.

2. Значительный объем фитомассы и накопленного углерода находится в надземной части лесных культур.

3. Существенное увеличение прироста по сравнению с предыдущими годами отмечается

на 3-й (в 4,3 раза) и 6–7-й годы (в 2,15 и 2,2 раза соответственно).

4. Ежегодные приросты увеличиваются после достижения деревьями возраста больше 5 лет, что обусловлено выходом лесных культур из-под влияния травянистых растений и улучшением светового режима.

5. В обследованных еловых культурах депонирование углерода к возрасту 8 лет составляет 0,64 т/га из расчета посадки 3000 шт./га.

Благодарности

Данное исследование проведено при финансовой поддержке компании ООО «Свеза» в рамках корпоративной грантовой программы.

Авторы выражают благодарность сотрудникам ООО «Свеза-Лес» и ООО «Свеза-Ресурс»: Н.Ю. Цикиной, П.Н. Кузьминской, М.В. Одинцову и сотрудникам АНО «Зеленый свет», особенно технологу — М.Н. Шматкову за работу по обеспечению условий для проведения исследования.

Список литературы

- [1] О методических указаниях по количественному определению объема поглощения парниковых газов: Распоряжение Министерства природных ресурсов и экологии РФ от 30 июня 2017 г. № 20-р. URL: <http://docs.cntd.ru/document/456077289> (дата обращения 11.03.2024).
- [2] Исаев А.С., Коровин Г.Н., Сухих В.И., Титов С.П., Уткин А.И., Голуб А.А., Пряхников А.А. Экологические проблемы поглощения углекислого газа посредством лесовозобновления и лесоразведения в России. М.: Центр экологической политики, 1995. 156 с.
- [3] Родин А.Р. Лесные культуры. М.: МГУЛ, 2009. 462 с.
- [4] Третий оценочный доклад об изменениях климата и их последствиях на территории Российской Федерации. Общее резюме. СПб.: Научно-технические исследования, 2022. 124 с.
- [5] Allen M.R., Shine K.P., Fuglested J.S., Millar R.J., Cain M., Frame D. J. Macey A.H. A solution to the misrepresentations of CO₂-equivalent emissions of short-lived climate pollutants under ambitious mitigation // *Npj Climate and Atmospheric Science*, 2018, t. 1, no. 1, p. 16.
- [6] Valentini R., Zanolich D., Reyer C., Noce S., Santini M., Lindner M. Climate change in Russia – past, present and future // *Russian forests and climate change*. European Forest Institute Publ., 2020, pp. 45–52.
- [7] 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, v. 34(4), pp. 1279–1287. DOI: 10.1007/s11676-022-01569-z
- [8] Larsén X.G., Imberger M., Hannesdóttir Á., Hahmann A.N. The Impact of Climate Change on Extreme Winds over Northern Europe According to CMIP6 // *Frontiers in ecology research*, 2024, t. 12. DOI: 10.5194/wes-2022-102
- [9] Clayton S.D., Pihkala P., Wray B., Marks E. Psychological and emotional responses to climate change among young people worldwide: Differences associated with gender, age, and country // *Sustainability*, 2023, t. 15, no. 4, p. 3540.
- [10] Kurz W.A., Shaw C.H., Boisvenue C., Stinson G., Metsaranta J., Leckie D., Dyk A., Smyth C., Neilson E.T. Carbon in Canada's boreal forest – a synthesis // *Environ. Rev.*, 2013, no. 21, pp. 260–292.
- [11] Vashum K.T., Jayakumar S. Methods to estimate above-ground biomass and carbon stock in natural forests – a review // *J. Ecosyst. Echogr.*, 2012, no. 2, pp. 1–7.
- [12] Sitch S., Friedlingstein P., Gruber N., Jones S.D., Murray-Tortarolo G., Ahlström, A., Myneni R. Recent trends and drivers of regional sources and sinks of carbon dioxide // *Biogeosciences*, 2015, t. 12, no. 3, pp. 653–679.
- [13] Jandl R., Spathelf P., Bolteet A., Prescott C. Forest adaptation to climate change – is non-management an option? // *Annals of forest science*, 2019, v. 76, no. 2, pp. 1–13.
- [14] Bolte A., Hilbrig L., Kniesel B., Roloff A. Understory dynamics after disturbance accelerate succession from spruce to beech-dominated forest – the Siggaboda case study // *Annals of forest science*, 2014, v. 71, no. 2, pp. 139–147.
- [15] Seidl R., Thom D., Kautz M., Martín-Benito D. Forest disturbances under climate change // *Nature climate change*, 2017, v. 7, no. 6, pp. 395–402.
- [16] O'Hara K.L. What is close-to-nature silviculture in a changing world? // *Forestry: An International J. of Forest Research*, 2016, v. 89, no. 1, pp. 1–6.
- [17] Hickler T., Vohland K., Feehan J., Miller P.A. Projecting the future distribution of European potential natural vegetation zones with a generalized, tree species based dynamic vegetation model // *Global Ecology and Biogeography*, 2012, v. 21, no. 1, pp. 50–63.
- [18] Беляков Д.В. Лежнев Д.В. Оценка сохранения локальных объектов биологического разнообразия в Верховажском районе Вологодской области // Молодые исследователи агропромышленного и лесного комплексов – регионам: сб. науч. тр. по результатам работы IV междунар. молодежной науч.-практ. конф., Вологда — Молочное, 25 апреля 2019 года, т. 3. Вологда; Молочное: Изд-во Вологодской государственной молочнохозяйственной академии им. Н.В. Верещагина, 2019. С. 180–186.
- [19] Мочалов Б.А., Бобушкина С.В. Лесокультурное производство – основа непрерывности лесопользования // *ИзВУЗ Лесной журнал*, 2021. № 4(382). С. 80–96. DOI 10.37482/0536-1036-2021-4-80-96
- [20] Lezhnev D.V. Assessment of forest cultures created by various plant material in the Vologda region // Молодые исследователи агропромышленного и лесного комплексов – регионам: сб. науч. трудов по результатам работы IV междунар. молодежной науч.-практ. конф., Вологда — Молочное, 25 апреля 2019 года, т. 3. Вологда; Молочное: Изд-во Вологодской государственной молочнохозяйственной академии им. Н.В. Верещагина, 2019. С. 158–162.
- [21] Fradette O., Marty C., Tremblay P., Lord D., Boucher J.-F. Allometric Equations for Estimating Biomass and Carbon Stocks in Afforested Open Woodlands with Black Spruce and Jack Pine, in the Eastern Canadian Boreal Forest // *Forests*, 2021, v. 12, p. 59. <https://doi.org/10.3390/f12010059>
- [22] Филиппчук А.Н., Мальшева Н.В., Золина Т.А., Югов А.Н. Бореальные леса России: возможности для смягчения изменения климата // *Лесохозяйственная информация*, 2020. № 1. С. 92–114. DOI 10.24419/LHI.2304-3083.2020.1.10.

- [23] Воронов М.П., Усольцев В.А., Часовских В.П. Исследование методов и разработка информационной системы определения и картирования депонируемого лесами углерода в среде Natural. Екатеринбург: Изд-во УГЛТУ, 2012. 192 с.
- [24] Филипчук А.Н., Малышева Н.В., Моисеев Б.Н., Страхов В.В. Аналитический обзор методик учета выбросов и поглощения лесами парниковых газов из атмосферы // Лесохозяйственная информация, 2016. № 3. С. 36–85.
- [25] Чураков Б.П., Манякина Е.В. Депонирование углерода разновозрастными культурами сосны // Ульяновский медико-биологический журнал, 2012. № 1. С. 125–129.
- [26] Vashum K.T., Jayakumar S. Methods to estimate above-ground biomass and carbon stock in natural forests – a review // J. Ecosyst. Echogr, 2012, no. 2, pp. 1–7.
- [27] Распоряжение губернатора Вологодской области от 30.11.2018 года № 4807-р «Об утверждении лесного плана Вологодской области». URL: <https://dlk.gov35.ru/dokumenty/lesnoy-plan-oblasti/> (дата обращения 01.07.2023).
- [28] Курнаев С.Ф. Лесорастительное районирование СССР. М.: Наука, 1973. 203 с.
- [29] Сукачев В.Н. Избранные труды. Т. 1. М., 1972. 418 с.
- [30] Приказ Министерства природных ресурсов Российской Федерации от 29 декабря 2021 года № 1024 «Об утверждении Правил лесовосстановления, формы, состава, порядка согласования проекта лесовосстановления, оснований для отказа в его согласовании, а также требований к формату в электронной форме проекта лесовосстановления». URL: <https://docs.cntd.ru/document/728111110> (дата обращения 01.07.2023).
- [31] Побединский А.В. Изучение лесовосстановительных процессов. М.: Наука, 1966. 64 с.
- [32] Good Practice Guidance for Land Use, Land-Use Change and Forestry. Methodology Report / Eds. J. Penman, M. Gytarsky, T. Hiraishi, T. Krug, D. Kruger, R. Pipatti, L. Buendia, K. Miwa, T. Ngara, K. Tanabe, F. Wagner. Published by the Institute for Global Environmental Strategies (IGES) for the IPCC, 649 p.
- [33] Уткин А.И., Замолотчиков Д.Г., Гульбе Т.А., Гульбе Я.И. Аллометрические уравнения для фитомассы по данным деревьев сосны, ели, березы и осины в европейской части России // Лесоведение, 1996. № 6. С. 36–46.
- [34] Замолотчиков Д.Г., Уткин А.И., Честных О.В. Коэффициенты конверсии запасов насаждений в фитомассу для основных лесобразующих пород России // Лесная таксация и лесоустройство, 2003. Вып. 1(32). С. 119–127.
- [35] Seregin A.P., Bochkov D.A., Shner J.V. «Flora of Russia» on iNaturalist: A dataset // Biodiversity Data Journal, 2020, v. 8, p. 59249. DOI 10.3897/BDJ.8.e59249

Сведения об авторах

Коротков Сергей Александрович✉ — канд. биол. наук, доцент, МГТУ им. Н.Э. Баумана (Мытищинский филиал); ст. науч. сотр. лаборатории лесоводства и биологической продуктивности, Институт лесоведения Российской академии наук, skorotkov-71@mail.ru

Захаров Владимир Петрович — заместитель начальника отдела экологического просвещения и медиакоммуникаций ГАУ МО «Мособллес», zakharov@forest.ru

Лежнев Даниил Викторович — младший научный сотрудник лаборатории лесоводства и биологической продуктивности, Институт лесоведения Российской академии наук, lezhnev.daniil@yandex.ru

Шматков Иван Николаевич — директор АНО «Зеленый свет», hello@thegreenforest.ru

Поступила в редакцию 13.05.2024.

Одобрено после рецензирования 26.02.2025.

Принята к публикации 25.03.2025.

CARBON SEQUESTRATION BY FOREST CROPS IN EASTERN PART OF VOLOGDA REGION

S.A. Korotkov^{1,2}, V.P. Zakharov³, D.V. Lezhnev², I.N. Shmatkov⁴

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

²Institute of Forestry of the Russian Academy of Sciences, 21, Sovetskaya st., 143030, Uspenskoye village, Moscow reg., Russia

³Mosobles, 1 km, b. 1A, Rublevo-Uspenskoe av., 143082, Razdory village, Odintsovo distr., Moscow reg., Russia

⁴«Zeleny svet» ANO, 29, room 55, Chicherina st., 248010, Kaluga, Kaluga reg., Russia

skorotkov-71@mail.ru

The article presents the results of a comprehensive assessment of carbon sequestration by forest crops of Norway spruce (*Picea abies* (L.) H.Karst.) at an early age in the Vologda region. The objects of the study were nine trial areas in forest crops created by planting material with a bare root and root-balled tree systems. When counting seedlings, the diameter at the root collar was measured, as well as the height and size of the crown, the growth of the apical shoot for each year. The species composition of the woody and shrubby vegetation in the cuttings is analyzed. The description of the species composition of the ground vegetation at the studied objects was carried out. For a correct assessment of the carbon sequestration in the forest crops phytomass created as a result of reforestation or afforestation, it is necessary to conduct studies of the depositing capacity of artificial plantations of various ages. The largest amount of phytomass and carbon sequestration is concentrated in the aboveground parts of trees in forest crops. The total phytomass and the reserve of carbon sequestration in forest crops of spruce were determined depending on their age. An annual increase of apical shoot height after the age above 5 years has been established.

Keywords: carbon deposition, forest crops, spruce, *Picea abies* (L.) H.Karst., phytomass, climate change, conversion coefficient, Vologda region

Suggested citation: Korotkov S.A., Zakharov V.P., Lezhnev D.V., Shmatkov I.N. *Osobennosti deponirovaniya ugleroda lesnymi kul'turami na primere vostochnoy chasti Vologodskoy oblasti* [Carbon sequestration by forest crops in eastern part of Vologda region]. *Lesnoy vestnik / Forestry Bulletin*, 2025, vol. 29, no. 3, pp. 27–39. DOI: 10.18698/2542-1468-2025-3-27-39

References

- [1] *O metodicheskikh ukazaniyakh po kolichestvennomu opredeleniyu ob'ema pogloshcheniya parnikovyykh gazov: Rasporyazhenie Ministerstva prirodnnykh resursov i ekologii RF ot 30 iyunya 2017 g. № 20-r* [On methodological guidelines for quantifying the volume of greenhouse gas uptake: Order No. 20-r of the Ministry of Natural Resources and Ecology of the Russian Federation dated June 30, 2017]. Available at: <http://docs.cntd.ru/document/456077289> (accessed 11.03.2024).
- [2] Isaev A.S., Korovin G.N., Sukhikh V.I., Titov S.P., Utkin A.I., Golub A.A., Pryazhnikov A.A. *Ekologicheskie problemy pogloshcheniya uglekislogo gaza posredstvom lesovozobnovleniya i lesorazvedeniya v Rossii* [Environmental problems of carbon dioxide absorption through reforestation and afforestation in Russia]. Moscow: Tsentr ekologicheskoy politiki [Center of ecological policy], 1995, 156 p.
- [3] Rodin A.R. *Lesnye kul'tury* [Forest crops]. Moscow: MGUL, 2009, 462 p.
- [4] *Tretiy otsenochnyy doklad ob izmeneniyakh klimata i ikh posledstviyakh na territorii Rossiyskoy Federatsii. Obshchee rezyume*. [Third Assessment Report on Climate Changes and Their Consequences on the Territory of the Russian Federation]. St. Petersburg: Naukoemkie tekhnologii [Science-Intensive Technologies], 2022, 124 p.
- [5] Allen M.R., Shine K.P., Fuglestvedt J.S., Millar R.J., Cain M., Frame D. J. Macey A.H. A solution to the misrepresentations of CO₂-equivalent emissions of short-lived climate pollutants under ambitious mitigation. *Npj Climate and Atmospheric Science*, 2018, t. 1, no. 1, p. 16.
- [6] Valentini R., Zanolodchikov D., Reyer C., Noce S., Santini M., Lindner M. Climate change in Russia—past, present and future. Russian forests and climate change. *European Forest Institute Publ.*, 2020, pp. 45–52.
- [7] 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, v. 34(4), pp. 1279–1287. DOI: 10.1007/s11676-022-01569-z
- [8] Larsén X.G., Imberger M., Hannesdóttir A., Hahmann A.N. The Impact of Climate Change on Extreme Winds over Northern Europe According to CMIP6. *Frontiers in energy research*, 2024, t. 12. <https://doi.org/10.5194/wes-2022-102>
- [9] Clayton S.D., Pihkala P., Wray B., Marks E. Psychological and emotional responses to climate change among young people worldwide: Differences associated with gender, age, and country. *Sustainability*, 2023, t. 15, no. 4, p. 3540.
- [10] Kurz W.A., Shaw C.H., Boisvenue C., Stinson G., Metsaranta J., Leckie D., Dyk A., Smyth C., Neilson E.T. Carbon in Canada's boreal forest – a synthesis. *Environ. Rev.*, 2013, no. 21, pp. 260–292.
- [11] Vashum K.T., Jayakumar S. Methods to estimate above-ground biomass and carbon stock in natural forests – a review. *J. Ecosyst. Echogr.*, 2012, no. 2, pp. 1–7.
- [12] Sitch S., Friedlingstein P., Gruber N., Jones S.D., Murray-Tortarolo G., Ahlström, A., Myneni R. Recent trends and drivers of regional sources and sinks of carbon dioxide. *Biogeosciences*, 2015, t. 12, no. 3, pp. 653–679.

- [13] Jandl R., Spathelf P., Bolteet A., Prescott C. Forest adaptation to climate change – is non-management an option?. *Annals of forest science*, 2019, v. 76, no. 2, pp. 1–13.
- [14] Bolte A., Hilbrig L., Kniesel B., Roloff A. Understory dynamics after disturbance accelerate succession from spruce to beech-dominated forest – the Siggaboda case study. *Annals of forest science*, 2014, v. 71, no. 2, pp. 139–147.
- [15] Seidl R., Thom D., Kautz M., Martín-Benito D. Forest disturbances under climate change. *Nature climate change*, 2017, v. 7, no. 6, pp. 395–402.
- [16] O'Hara K.L. What is close-to-nature silviculture in a changing world? *Forestry: An International J. of Forest Research*, 2016, v. 89, no. 1, pp. 1–6.
- [17] Hickler T., Vohland K., Feehan J., Miller P.A. Projecting the future distribution of European potential natural vegetation zones with a generalized, tree species based dynamic vegetation model. *Global Ecology and Biogeography*, 2012, v. 21, no. 1, pp. 50–63.
- [18] Belyakov D.V. Lezhnev D.V. *Otsenka sokhraneniya lokal'nykh ob'ektov biologicheskogo raznoobraziya v Verkhovazhskom rayone Vologodskoy oblasti* [Assessment of the conservation of local objects of biological diversity in the Verkhovazhsky district of the Vologda region]. *Molodye issledovateli agropromyshlennogo i lesnogo kompleksov – regionam: Sbornik nauchnykh trudov po rezul'tatam raboty IV mezhdunarodnoy molodezhnoy nauchno-prakticheskoy konferentsii* [Young researchers of agro-industrial and forestry complexes – to the regions: A collection of scientific papers based on the results of the IV International Youth scientific and practical conference], Vologda — Molochnoye, April 25, 2019. V. 3. Vologda; Molochnoe: Vologodskaya gosudarstvennaya molochnokhozyaystvennaya akademiya im. N.V. Vereshchagina, 2019, pp. 180–186.
- [19] Mochalov B.A. *Lesokul'turnoye proizvodstvo – osnova nepreryvnosti lesopol'zovaniya* [Silvicultural production is the basis for continuous forest management] *Russian Forestry Journal*, 2021, no. 4(382), pp. 80–96. DOI 10.37482/0536-1036-2021-4-80-96.
- [20] Lezhnev D.V. Assessment of forest cultures created by various plant material in the Vologda region. *Molodye issledovateli agropromyshlennogo i lesnogo kompleksov – regionam: Sbornik nauchnykh trudov po rezul'tatam raboty IV mezhdunarodnoy molodezhnoy nauchno-prakticheskoy konferentsii* [Young researchers of agro-industrial and forestry complexes – to the regions: A collection of scientific papers based on the results of the IV International Youth scientific and practical conference], Vologda — Molochnoye, April 25, 2019. v. 1. Vologda; Molochnoe: Vologodskaya gosudarstvennaya molochnokhozyaystvennaya akademiya im. N.V. Vereshchagina, 2019, p. 158–162.
- [21] Fradette O., Marty C., Tremblay P., Lord D., Boucher J.-F. Allometric Equations for Estimating Biomass and Carbon Stocks in Afforested Open Woodlands with Black Spruce and Jack Pine, in the Eastern Canadian Boreal Forest. *Forests*, 2021, v. 12, p. 59. <https://doi.org/10.3390/f12010059>
- [22] Filipchuk A.N., Malysheva N.V., Zolina T.A., Yugov A.N. *Boreal'nyye lesa Rossii: vozmozhnosti dlya smyagcheniya izmeneniya klimata* [Boreal forests of Russia: opportunities for climate change mitigation]. *Lesokhozyaystvennaya informatsiya* [Forestry information], 2020, no. 1, pp. 92–114. DOI 10.24419/LHI.2304-3083.2020.1.10
- [23] Voronov M.P., Usol'tsev V.A., Chasovskikh V.P. *Issledovanie metodov i razrabotka informatsionnoy sistemy opredeleniya i kartirovaniya deponiruемого lesami ugleroda v srede Natural*. [Research of methods and development of an information system for determining and mapping carbon deposited by forests in the Natural environment]. Ekaterinburg: UGLTU [USLTU], 2012, 192 p.
- [24] Filipchuk A.N., Malysheva N.V., Moiseev B.N., Strakhov V.V. *Analiticheskiy obzor metodik ucheta vybrosov i pogloshcheniya lesami parnikovykh gazov iz atmosfery* [Analytical review of methods for accounting for emissions and uptake of greenhouse gases from the atmosphere by forests]. *Lesokhozyaystvennaya informatsiya* [Forestry information], 2016, no. 3, pp. 36–85.
- [25] Churakov B.P., Manyakina E.V. *Deponirovanie ugleroda raznovozrastnymi kul'turami sosny* [Carbon deposition by pine crops of different ages]. *Ul'yanovskiy mediko-biologicheskii zhurnal* [Ulyanovsk Medical and Biological Journal], 2012, no. 1, pp. 125–129.
- [26] Vashum K.T., Jayakumar S. Methods to estimate above-ground biomass and carbon stock in natural forests – a review. *J. Ecosyst. Echogr*, 2012, no. 2, pp. 1–7.
- [27] *Rasporyazhenie gubernatora Vologodskoy oblasti ot 30.11.2018 goda № 4807-r Ob utverzhdenii lesnogo plana Vologodskoy oblasti* [Order of the Governor of the Vologda Region dated 11/30/2018 No. 4807-r «On approval of the Vologda Region Forest Plan»] Available at: <https://dlk.gov35.ru/dokumenty/lesnoy-plan-oblasti/> (accessed 01.07.2023).
- [28] Kurnaev S.F. *Lesorastitel'noe rayonirovanie SSSR*. [Forestry zoning of the USSR]. Moscow: Nauka, 1973, 203 p.
- [29] Sukachev V. N. *Izbrannyye trudy* [Selected works], v. 1, Moscow, 1972, 418 p.
- [30] *Prikaz Ministerstva prirodnnykh resursov Rossiyskoy Federatsii ot 29 dekabrya 2021 goda № 1024 «Ob utverzhdenii Pravil lesovosstanovleniya, formy, sostava, poryadka soglasovaniya proekta lesovosstanovleniya, osnovaniy dlya otказа v ego soglasovanii, a takzhe trebovaniy k formatu v elektronnoy forme proekta lesovosstanovleniya»* [Order no. 1024 of the Ministry of Natural Resources of the Russian Federation dated December 29, 2021 «On approval of the Rules of Reforestation, form, composition, procedure for approving the reforestation project, grounds for refusal to approve it, as well as requirements for the format in electronic form of the reforestation project»] Available at: <https://docs.cntd.ru/document/728111110> (accessed 01.07.2023).
- [31] Pobedinskiy A.V. *Izuchenie lesovosstanovitel'nykh protsessov* [The study of reforestation processes]. Moscow: Nauka, 1966, 64 p.
- [32] Good Practice Guidance for Land Use, Land-Use Change and Forestry. Methodology Report. Eds. J. Penman, M. Gytarsky, T. Hiraishi, T. Krug, D. Kruger, R. Pipatti, L. Buendia, K. Miwa, T. Ngara, K. Tanabe, F. Wagner. Published by the Institute for Global Environmental Strategies (IGES) for the IPCC, 649 p.
- [33] Utkin A.I., Zamolodchikov D.G., Gul'be T.A., Gul'be Ya.I. *Allometricheskie uravneniya dlya fitomassy po dannym derev'ev sosny, eli, berezy i osiny v evropeyskoy chasti Rossii* [Allometric equations for phytomass based on data from pine, spruce, birch and aspen trees in the European part of Russia]. *Lesovedenie*, 1996, no. 6, pp. 36–46.

- [34] Zamolodchikov D.G., Utkin A.I., Chestnykh O.V. *Koeffitsienty konversii zapasov nasazhdeniy v fitomassu dlya osnovnykh lesoobrazuyushchikh porod Rossii* [Conversion coefficients of plantings stocks into phytomass for the main forest-forming species of Russia]. *Lesnaya taksatsiya i lesoustroystvo* [Forest taxation and forest management], 2003, v. 1(32), pp. 119–127.
- [35] Seregin A.P., Bochkov D.A., Shner J.V. «Flora of Russia» on iNaturalist: A dataset. *Biodiversity Data J.*, 2020, v. 8, p. 59249. DOI 10.3897/BDJ.8.e59249

Acknowledgments

This study was conducted with the financial support of the Sveza Company as part of a corporate grant program.

The authors also express their gratitude to the employees of Sveza-Les and Sveza Resource: Tsikina N.Yu., Kuzminskaya P.N., Odintsov M.V. and the staff of the Green Light ANO, especially the technologist Shmatkov M.N., for their work in supporting the research.

Authors' information

Korotkov Sergey Aleksandrovich ✉ — Cand. Sci. (Biology), Associate Professor, BMSTU (Mytishchi branch); Senior Researcher at the Laboratory of Forestry and Biological Productivity of the Institute of Forestry of the Russian Academy of Sciences, skorotkov-71@mail.ru

Zakharov Vladimir Petrovich — Deputy Head of the Department of Environmental Education and Media Communications of the State Institution of the Moscow region «Mosoblles», zakharov@forest.ru

Lezhnev Daniil Viktorovich — Junior Researcher at the Laboratory of Forestry and Biological Productivity of the Institute of Forestry Sciences of the Russian Academy of Sciences, lezhnev.daniil@yandex.ru

Shmatkov Ivan Nikolaevich — Director of ANO «Green Light», hello@thegreenforest.ru

Received 13.05.2024.

Approved after review 26.02.2025.

Accepted for publication 25.03.2025.

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

УГЛЕРОДНЫЙ ПУЛ ЖИВОГО НАПОЧВЕННОГО ПОКРОВА ПРИГОРОДНЫХ ТЕРРИТОРИЙ КРАСНОЯРСКА

С.К. Мамедова✉, А.А. Вайс, А.И. Мельник,
П.В. Михайлов, А.Г. Неповинных

ФГБОУ ВО «Сибирский государственный университет науки и технологий имени академика М.Ф. Решетнёва» (СибГУ), Россия, 660037, г. Красноярск, ул. Проспект имени газеты «Красноярский рабочий», д. 31

mamedova_ceva@mail.ru

Приведена сравнительная характеристика запасов углерода живого напочвенного покрова между участками с различными лесорастительными условиями, расположенными на опытной территории Караульного участкового лесничества в пригородной зоне Красноярск. Установлено, что максимальное накопление запасов углерода живого напочвенного покрова приурочено к открытым (безлесным) участкам, а также к сосняку папоротниково-крупнотравному. Отмечено значительное депонирование углерода в сосняке бруснично-зеленомошного типа, поскольку в аккумуляцию углерода живого напочвенного покрова существенный вклад вносит моховой ярус. Установлена тесная связь между относительной полнотой и конверсионными коэффициентами для участков с различными лесорастительными условиями. **Ключевые слова:** живой напочвенный покров, запас углерода, конверсионный коэффициент, тип леса

Ссылка для цитирования: Мамедова С.К., Вайс А.А., Мельник А.И., Михайлов П.В., Неповинных А.Г. Углеродный пул живого напочвенного покрова пригородных территорий Красноярск // Лесной вестник / Forestry Bulletin, 2025. Т. 29. № 3. С. 40–51. DOI: 10.18698/2542-1468-2025-3-40-51

Живой напочвенный покров (ЖНП), с точки зрения секвестрации углерода, является одним из наименее изученных компонентов лесной экосистемы. При сплошном покрытии запасы углерода в фитомассе ЖНП в бореальной зоне сопоставимы с запасами ассимиляционного аппарата полого древостоя [1, 2]. В связи с этим оценка запасов напочвенного растительного покрова относится к важным задачам современных исследований углеродного цикла [3].

Комплекс биологических исследований наряду с оценкой запасов фитомассы и ее годичной продукции включает в себя изучение видового разнообразия, численности и размеров особей в составе фитоценопопуляции [4, 5]. Объективные сведения о фитомассе ЖНП позволяют оценить пул депонирования углерода, количество опада, его пожарную опасность и хозяйственную значимость вида как источника получения лекарственного и плодово-ягодного сырья и т. п. [5].

В целом по России в нижних ярусах лесной экосистемы содержится 6,2 % фитомассы (надземной и подземной), в том числе доля подроста и подлеска составляет 1,8 %, ЖНП — 4,4 %. Максимальный запас фитомассы ЖНП (82,2 %) наблюдается в азиатской части России [6]. Между тем количественных данных о

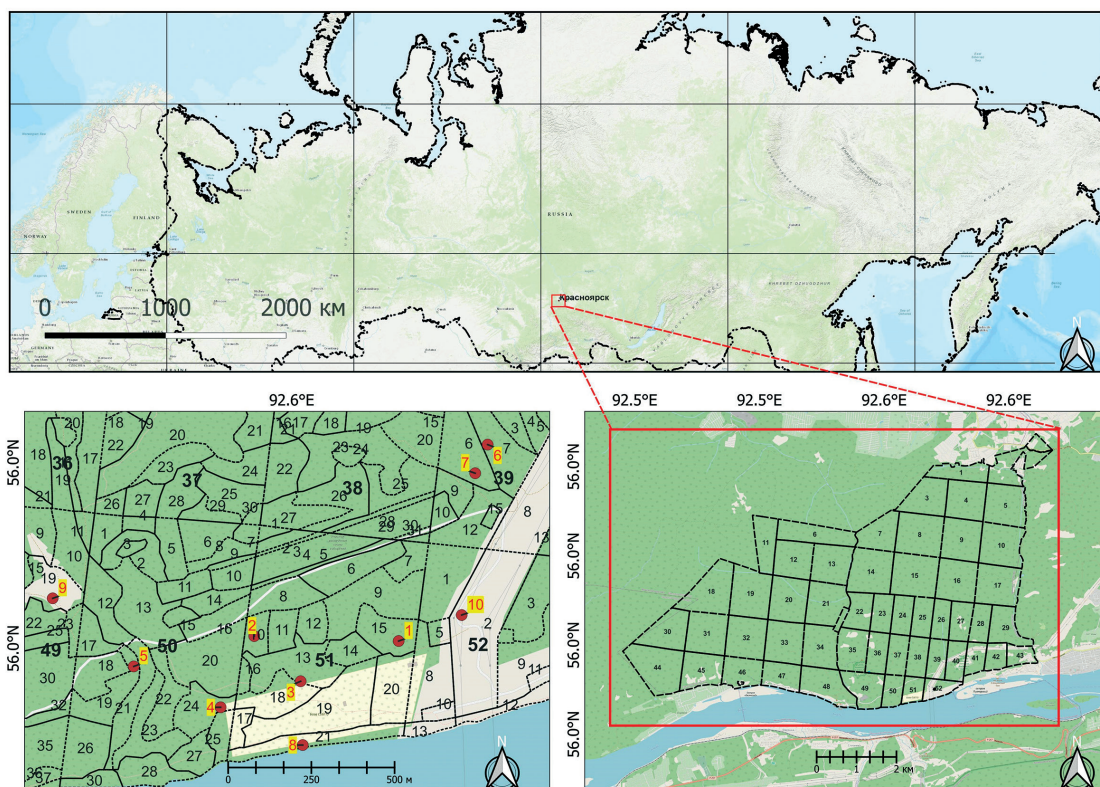
продуктивности растений ЖНП и их участии в углеродном цикле лесных экосистем таежной зоны в настоящее время недостаточно [7–11].

В иностранных публикациях так же, как и в отечественной литературе полномасштабная информация о запасах углерода ЖНП отсутствует [12, 13], за исключением сведений о фитомассе надземной части растений [14–16].

Круговорот углерода в наземных экосистемах (углеродный цикл) занимает особое место в функционировании биосферы. В его основе лежат два процесса глобального значения: 1) фотосинтетическое связывание (или сток) углерода; 2) гетеротрофное высвобождение при биологическом разложении органического вещества, определяющее возврат в атмосферу углерода из почвы [2, 17].

Углерод — это элемент с неактивной миграционной способностью, в биологическом цикле его значительная часть надолго задерживается в фитомассе древесных растений [18]. Большая часть углерода аккумулируется растениями напочвенного покрова, по сравнению с древесным ярусом, и высвобождается в течение одного года [19].

В состав ЖНП входят травяно-кустарниковый и мохово-лишайниковый ярусы [20], а в структуре подавляющего большинства зрелых и перестойных таежных лесов бореального пояса существенное значение имеет мохово-лишайниковый ярус, который по запасам и формирова-



Местоположение опытной территории Караульного участкового лесничества и пробных площадей
Location of the experimental area of the Karaulnoe district forestry unit and trial plots

нию хранилища органического вещества превосходит травяно-кустарничковый ярус [3, 6, 8].

Данные о содержании углерода в ЖНП в различных источниках разнятся [21–23]. В частности, в работе [21] констатируется, что в травяно-кустарничковом ярусе масса углеродного пула составляет 48,7...50,0 %, в живой и отмерших частях мхов — 41,2...42,5 % соответственно. По данным работы [22], содержание углерода в массе травы составляет 49,2 %, массе кустарничков — 50,8, мхов — 41,8 %. Как показано в работе [23], расчет запасов углерода проводится с помощью переводных коэффициентов: для травянистой растительности — 0,43; мохового яруса — 0,45; лишайникового — 0,45.

Живой напочвенный покров — это динамичный компонент, поскольку с возрастом насаждений изменяется его структура и запас. Установлено [24], что доля участия ЖНП в суммарном запасе углерода, в частности, в биомассе сосняка, сокращается с 3,4 % в возрасте 20 лет до 0,5 % по достижении 90 лет. Из этого следует, что продуктивность нижних ярусов древостоев в различных фитоценозах зависит от сомкнутости верхнего полога, загущенности подроста и подлеска, а также связана с изменениями, происходящими в древостое соответственно его возрастному развитию [21].

Следовательно, оценка углеродного пула ЖНП значимая и актуальная проблема для лесных экосистем.

Цель работы

Цель работы — сравнительная характеристика ЖНП на лесных участках с различными лесорастительными условиями в пределах пригородной части Красноярска.

Материалы и методы

Объект исследования — опытная территория Караульного участкового лесничества в пределах Учебно-опытного лесхоза СибГУ им. академика М.Ф. Решетнёва в пригородной зоне Красноярска (рис. 1). Местность относится к Среднесибирскому подтаежно-лесостепному району [25].

Полевые работы были проведены в период максимального вегетационного развития ЖНП, т. е. между стадиями цветения и плодоношения (июль — август 2022 г.).

Учет надземной фитомассы ЖНП проводили методом укосов [26]. Для этого закладывали учетные площадки размером 0,25 м², равномерно размещая их на каждой пробной площади.

Количество учетных площадок определяли исходя из степени однородности растительного покрова. В качестве инструментов использовали рамку (0,5×0,5 м), рулетку и ножницы. На учетных площадках учитывали видовой состав, высоту яруса травяной растительности или толщину мохового покрова, а также проективное покрытие. Все растения срезали ножницами на уровне поверхности почвы и сортировали по группам: травы, мхи, кустарнички, папоротники. Такая сортировка ЖНП соответствовала методике, изложенной в работе [27].

Кроме того, травяная ветошь и мертвая часть мохового яруса отсеивались. Толщина (длина) мха замерялась до первых признаков отмирания осевого стебля.

При обнаружении неизвестных видов растений использовали определитель [28] или обращались к специалисту-ботанику.

Взятые образцы взвешивали в воздушно-сухом состоянии. Для определения влажности растений отбирали навески, которые выдерживали в течение 8 ч (при температуре 105 °С) в сушильном шкафу до абсолютно сухого состояния. Затем взвешивали на электронных весах с точностью до 0,01 г. Массы навесок в абсолютно сухом и воздушно-сухом состоянии использовали для вычисления абсолютно сухой массы ЖНП.

На рисунке представлена квартальная сеть (кварталы, выделы) опытной территории Караульного участкового лесничества в пригородной зоне Красноярска. Пробные площади обозначены (1...10) желтым маркером.

Запасы углерода обычно оцениваются по абсолютно сухой фитомассе растений с исполь-

зованием коэффициентов [29]. Для перехода от абсолютно сухой массы ЖНП (т/га) к его запасам углерода (т С/га) использовали переводной коэффициент 0,484, предложенный белорусскими учеными для сосновых насаждений [30], который несколько отличается от стандартного коэффициента 0,5.

Конверсионный коэффициент (К) для ЖНП вычисляли по формуле

$$K = \frac{C}{M},$$

где С — запас углерода в ЖНП, т С/га;

М — запас древостоя, м³/га.

Все количественные показатели фитомассы и запаса углерода обработаны в программах Microsoft Excel, Statgraphics.

Результаты и обсуждение

Пробные площади являлись модальными для исследуемой территории и отражали все многообразие условий местопроизрастания. На пробных площадях провели глазомерно-измерительную таксацию (табл. 1, 2), а также учет всей надземной фитомассы ЖНП.

Так как свет является одним из важнейших факторов для растений [31], пробные площади подбирались разных полнот (0,34...1,06) и типов ландшафта [32]. Семь площадей относились к закрытому типу (ЖНП формировался под пологом древесного яруса — ПП 1–7), а три участка — открытому (ПП 8–10).

Максимальные значения показателей травянистой растительности (не под пологом древес-

Т а б л и ц а 1

Таксационная характеристика пробных площадей (№ 1–7)

Silvicultural and forest inventory of the studied trial areas (No 1–7)

Номер пробной площади	Сосняк	Состав древостоя	Средний возраст, лет	Средний диаметр, см	Средняя высота деревьев, м	Относительная полнота	Запас древесины, м ³ /га	Характеристика склона
1	Бруснично-зеленомошный (С брзм)	10С	130	32	25	0,92	370	ЮВ: 10°
2	Грушанково-зеленомошный (С гршзм)	10С	100	26	29	1,06	504	ЮВ: 10°
3	Осочково-разнотравный (С осрт)	10С	130	30	27	0,76	331	ЮВ: 22°
4	Орляковый (С ор)	10Сед.Б	130	38	25	0,83	333	ЮВ: 7°
5	Осочково-разнотравный (С осрт)	9С1Б	100	35	28	0,56	254	Ю: 2°
6	Папоротниково-крупнотравный (С пкт)	10Сед.Б	80	41	30	0,34	168	В: 9°
7	Орляково-крупнотравный (С оркт)	6С4Б	80	45	30	0,91	447	В: 16°

Т а б л и ц а 2

Таксационная характеристика пробных площадей (№ 8–10)

Silvicultural and forest inventory of the studied trial plots (No 8–10)

Номер пробной площади	Участок	Характеристика склона	Растения травяно-кустарничкового и мохового ярусов
8	Берег р. Енисей	Ю: 4°	<i>Filipendula ulmaria</i> (L.) Maxim., <i>Vicia cracca</i> L., <i>Lathyrus pratensis</i> L., <i>Equisetum pratense</i> Ehrh., <i>Poa pratensis</i> L., <i>Achillea millefolium</i> L., <i>Alopecurus pratensis</i> L., <i>Stellaria graminea</i> L., <i>Dactylis glomerata</i> L. и др.
9	Сенокос	ЮВ: 10°	<i>Achillea millefolium</i> L., <i>Galium boreale</i> L., <i>Hemerocallis lilio-asphodelus</i> L., <i>Sanguisorba officinalis</i> L., <i>Centaurea scabiosa</i> L., <i>Vicia amoena</i> Fisch., <i>Fragaria vesca</i> L., <i>Agrimonia pilosa</i> Ledeb., <i>Geranium pratense</i> L. и др.
10	Под ЛЭП	ЮВ: 5°	<i>Achillea millefolium</i> L., <i>Pteridium aquilinum</i> (L.) Kuhn, <i>Vicia amoena</i> Fisch., <i>Artemisia vulgaris</i> L., <i>Dactylis glomerata</i> L., <i>Vicia unijuga</i> L., <i>Centaurea scabiosa</i> L., <i>Agrimonia pilosa</i> Ledeb., <i>Artemisia campestris</i> L. и др.
Примечание. Фитомассу ЖНП замеряли в окнах соснового насаждения берега р. Енисей.			

Т а б л и ц а 3

Наиболее распространенные виды растений в изучаемых фитоценозах (ПП 1–7)

The most common plant species in the studied phytocenoses (sample areas numbered 1–7)

Номер пробной площади	Сосняк	Растения травяно-кустарничкового и мохового ярусов
1	Бруснично-зеленомошный (С брзм)	<i>Vaccinium vitis-idaea</i> L., <i>Vicia unijuga</i> A. Braun, <i>Fragaria vesca</i> L., <i>Rubus saxatilis</i> L., <i>Carex macroura</i> Meinsh., <i>Pleurozium schreberi</i> (Willd. ex Brid.) Mitt., <i>Rhytidiadelphus triquetrus</i> (Hedw.) Warnst., <i>Hylocomium splendens</i> (Hedw.) Bruch et al. и др.
2	Грушанково-зеленомошный (С гршзм)	<i>Pyrola rotundifolia</i> L., <i>Rubus saxatilis</i> L., <i>Maianthemum bifolium</i> (L.) F.W. Schmidt, <i>Fragaria vesca</i> L., <i>Orthilia secunda</i> (L.) House, <i>Hylocomium splendens</i> (Hedw.) Bruch et al., <i>Rhytidiadelphus triquetrus</i> (Hedw.) Warnst., <i>Pleurozium schreberi</i> (Willd. ex Brid.) Mitt. и др.
3	Осочково-разнотравный (С осрт)	<i>Linnaea borealis</i> L., <i>Carex macroura</i> Meinsh., <i>Rubus saxatilis</i> L., <i>Orthilia secunda</i> (L.) House, <i>Vicia unijuga</i> A. Braun, <i>Fragaria vesca</i> L., <i>Pleurozium schreberi</i> (Willd. ex Brid.) Mitt., <i>Rhytidiadelphus triquetrus</i> (Hedw.) Warnst. и др.
4	Орляковый (С ор)	<i>Pteridium aquilinum</i> (L.) Kuhn, <i>Carex macroura</i> Meinsh., <i>Vicia unijuga</i> A. Braun, <i>Rubus saxatilis</i> L., <i>Galium boreale</i> L., <i>Vicia sylvatica</i> L., <i>Orthilia secunda</i> (L.) House, <i>Trifolium lupinaster</i> L., <i>Thalictrum minus</i> L. и др.
5	Осочково-разнотравный (С осрт)	<i>Carex macroura</i> Meinsh., <i>Pteridium aquilinum</i> (L.) Kuhn, <i>Pyrola rotundifolia</i> L., <i>Rubus saxatilis</i> L., <i>Maianthemum bifolium</i> (L.) F.W. Schmidt, <i>Viola uniflora</i> L., <i>Vaccinium vitis-idaea</i> L., <i>Goodyera repens</i> (L.) R. Br., <i>Rhytidiadelphus triquetrus</i> (Hedw.) Warnst. и др.
6	Папоротниково-крупнотравный (С пкт)	<i>Aconitum septentrionale</i> Koelle, <i>Agrimonia pilosa</i> Ledeb., <i>Equisetum pratense</i> Ehrh., <i>Vicia sylvatica</i> L., <i>Heracleum dissectum</i> Ledeb., <i>Crepis sibirica</i> L., <i>Vicia sepium</i> L., <i>Pteridium aquilinum</i> (L.) Kuhn, <i>Athyrium filix-femina</i> (L.) Roth и др.
7	Орляково-крупнотравный (С оркт)	<i>Pteridium aquilinum</i> (L.) Kuhn, <i>Thalictrum simplex</i> L., <i>Angelica sylvestris</i> L., <i>Cimicifuga foetida</i> L., <i>Crepis sibirica</i> L., <i>Lathyrus gmelinii</i> Fritsch, <i>Rubus saxatilis</i> L., <i>Equisetum pratense</i> Ehrh., <i>Pulmonaria mollis</i> Wulfen ex Hornem. и др.

ного яруса) зафиксированы на последних трех участках: в окнах соснового насаждения на берегу р. Енисей, сенокосе, пространстве под линиями электропередач — ЛЭП (см. табл. 2).

В участках закрытого типа ландшафта произрастали преимущественно чистые сосняки (*Pinus*

syvestris L.) с примесью березы (*Betula pendula* Roth). Возраст насаждений — от 80 до 130 лет. Размерные показатели древостоя варьировали достаточно широко: средний диаметр ствола — от 26 до 45 см, средняя высота дерева — от 25 до 30 м, запас древесины — от 168 до 504 м³/га.

Т а б л и ц а 4

Запасы углерода в живом напочвенном покрове (ПП 1–7)

Carbon sequestration in living ground cover (trial plots numbered 1–7)

Номер пробной площади	Сосняк	Травы		Мхи		Кустарнички		Папоротники		Общий запас углерода	
		т С/га	%	т С/га	%	т С/га	%	т С/га	%	т С/га	%
1	Бруснично-зеленомошный (С брзм)	0,30	19	1,14	73	0,13	8	–	–	1,58	100
2	Грушанково-зеленомошный (С гршзм)	0,36	52	0,33	48	–	–	–	–	0,69	100
3	Осочково-разнотравный (С осрт)	0,21	32	0,21	34	0,22	34	–	–	0,64	100
4	Орляковый (С ор)	0,17	27	–	–	–	–	0,46	73	0,63	100
5	Осочково-разнотравный (С осрт)	0,40	81	0,019	4	0,003	1	0,07	14	0,49	100
6	Папоротниково-крупнотравный (С пкт)	2,05	89,6	0,009	0,4	–	–	0,23	10	2,29	100
7	Орляково-крупнотравный (С оркт)	0,58	83	–	–	–	–	0,12	17	0,69	100

Т а б л и ц а 5

Запасы углерода в живом напочвенном покрове (ПП 8–10)

Carbon sequestration in living ground cover trial plots numbered 8–10)

Номер пробной площади	Участок	Травы		Мхи		Кустарнички		Папоротники		Общий запас углерода	
		т С/га	%	т С/га	%	т С/га	%	т С/га	%	т С/га	%
8	Берег р. Енисей	1,99	99	0,015	1	–	–	–	–	2,01	100
9	Сенокос	2,46	100	–	–	–	–	–	–	2,46	100
10	Под ЛЭП	1,70	83	–	–	–	–	0,34	17	2,03	100

В результате учета флористического состава ЖНП определено более 70 видов растений (табл. 2, 3).

Определены предельные значения запаса углерода ЖНП (табл. 4, 5). На территории опытного объекта запас варьирует от 0,49 до 2,46 т С/га.

Максимальное количество углерода в ЖНП наблюдается на открытых (безлесных) участках и в сосняках с высоким проективным покрытием брусники, зеленых мхов и папоротников (сосняки бруснично-зеленомошный и папоротниково-крупнотравный). К примеру, в сосняке папоротниково-крупнотравного типа леса с низкой полнотой общий запас углерода ЖНП составил 2,29 т С/га, что превышает

запасы углерода в других типах леса в среднем на 66,0 %.

На пробных площадях № 1–3 в аккумуляцию органических веществ ЖНП существенный вклад вносит моховой ярус. Так, в сосняке бруснично-зеленомошном (ПП-1) доля участия мохового яруса в общем запасе ЖНП составила 73,0 %, в сосняке грушанково-зеленомошном (ПП-2) — 48,0 %, а в сосняке осочково-разнотравном (ПП-3) — 34,0 %. В составе зеленых мхов обнаружены плеурозиум Шребера (*Pleurozium schreberi* (Willd. ex Brid.) Mitt.), гилокомиум блестящий (*Hylocomium splendens* (Hedw.) Bruch et al.), ритидиладельфус трехгранный (*Rhytidiadelphus triquetrus* (Hedw.) Warnst.).

Т а б л и ц а 6

Аллометрические показатели живого напочвенного покрова (ПП 1–7)

Ground vegetation allometric attributes (trial plots numbered 1–7)

Номер пробной площади	Сосняк	Относительная полнота древостоя	Запас древостоя, м³/га	Запас углерода в ЖНП, т С/га	Конверсионный коэффициент, т С/м	Фитоценоотическая характеристика		
						Суммарное проективное покрытие, %		Средняя высота травы, см
						ЖНП	травы	
1	Бруснично-зеленомошный (С брзм)	0,92	370	1,58	0,0043	141,4	42,0	17,6
2	Грушанково-зеленомошный (С гршзм)	1,06	504	0,69	0,0014	147,6	97,8	13,9
3	Осочково-разнотравный (С осрт)	0,76	331	0,64	0,0019	149,4	41,4	19,6
4	Орляковый (С ор)	0,83	333	0,63	0,0019	163,6	70,0	21,7
5	Осочково-разнотравный (С осрт)	0,56	254	0,49	0,0019	131,4	96,8	21,6
6	Папоротниково-крупнотравный (С пкт)	0,34	168	2,29	0,0136	156,8	110,8	57,6
7	Орляково-крупнотравный (С оркт)	0,91	447	0,69	0,0016	182,0	130,0	38,2

Т а б л и ц а 7

Аллометрические показатели живого напочвенного покрова (ПП 8–10)

Ground vegetation allometric attributes (trial plots numbered 8–10)

Номер пробной площади	Участок	Запас углерода в ЖНП, т С/га	Фитоценоотическая характеристика		
			Суммарное проективное покрытие, %		Средняя высота травы, см
			ЖНП	Травы	
8	Берег р. Енисей	2,01	111,8	110,2	79,5
9	Сенокос	2,46	100,6	100,6	48,6
10	Под ЛЭП	2,03	100,2	80,2	54,3

Проективное покрытие мохового покрова на шести пробных площадях (№ 1–3, 5–8) варьировало в среднем от 1,6 до 82,4 %, а его толщина — от 2 до 7 см. В сосняках с преобладанием зеленомошной формации (ПП 1–3) среднее проективное покрытие составило 55,1 %, его средняя толщина — 4,7 см.

В сосняке орляковом (ПП-4) зафиксировано 73,0 % запаса углерода — орляк обыкновенный (*Pteridium aquilinum* (L.) Kuhn), на участке под ЛЭП — 17,0 %, в сосняке осочково-разнотравном (ПП-5) — 14,0 %, а в сосняке орляково-крупнотравном (ПП-7) — 17,0 %. В сосняке папоротниково-крупнотравном (ПП-6) среди папоротников обнаружены два вида: кочедыжник женский (*Athyrium filix-femina* (L.) Roth)

и орляк обыкновенный. На данном участке запас углерода кочедыжника женского составил 0,20 т С/га (8,9 %), орляка — 0,02 т С/га (1,1 %).

Проективное покрытие папоротникового яруса на пяти пробных площадях (№ 4–7, 10) составило в пределах 20...93,6 % (в среднем 51,9 %), а высота данного яруса — 57,5...85,0 см (в среднем 72,9 см). Встречалось 2 вида папоротников: орляк обыкновенный и кочедыжник женский.

Кустарничковый ярус — *Vaccinium vitis-idaea* L., *Linnaea borealis* L. достигал 17,0 и 75 % покрытия соответственно, высота кустарничков — в среднем 11 см. Конверсионные коэффициенты позволяют оценить запас углерода в ЖНП на 1 м³ ствольной древесины (табл. 6, 7). В настоящем исследовании значения конвер-

сионных коэффициентов для различных типов леса варьируют от 0,0014 до 0,0136 т С/м³.

Различие значений конверсионных коэффициентов и наличие открытых пространств указывает на возможность распределения данных на две группы: 1) абсолютные значения запаса углерода ЖНП (открытые пространства и сосняки со значительными запасами углерода — бруснично-зеленомошного и папоротниково-крупнотравного типов леса); 2) относительные значения запаса углерода ЖНП (сосновые насаждения различных типов леса). На участках с различными лесорастительными условиями установлена тесная связь между относительной полнотой и конверсионными коэффициентами ($r = -0,74$, корреляция достоверна $t_{\phi} > t_{\text{таб}}$ при $p < 0,05$).

Для определения аллометрической зависимости дополнительно были использованы следующие характеристики: суммарное проективное покрытие и высота травяного покрова. В фитоценозах проективное покрытие составляет более 100,0 % за счет перекрывания листовых пластинок напочвенных растений на разных высотных уровнях. Так, в сосняках наблюдалось наличие более двух ярусов растительности, где их суммарное проективное покрытие составляло 131,4...182,0 %. На участках открытых пространств, наоборот, отмечалось не более двух ярусов (семейства *Poaceae*, *Asteraceae*, *Rosaceae* и др.), с суммарным покрытием 100,2...111,8 %. Взаимосвязь между общим запасом углерода ЖНП и суммарным проективным покрытием не установлена. Следствием этого являются биологические особенности видов, произрастающих в различных местообитаниях. Наиболее тесная корреляция установлена в травяном ярусе между запасом углерода и средней высотой растений ($H_{\text{ср}}$) ($r = 0,87$, корреляция достоверна $t_{\phi} > t_{\text{таб}}$ при $p < 0,05$).

Абсолютные значения запасов углерода ЖНП (0,49...2,46 т С/га) на территории изучаемого опытного объекта сопоставимы с данными из работы [24], фиксируемыми в сосновых культурценозах Полесско-Приднепровского геоботанического района (0,03...3,26 т С/га).

По материалам работы [33], в сосняках зеленомошной группы типов леса запас углерода ЖНП в среднем составляет 3,72 т С/га, что существенно выше полученных нами значений. Информация по запасу углерода мохово-лишайникового яруса идентична: по данным работы [33] — 1,12 т С/га, по нашим данным в сосняке бруснично-зеленомошном (ПП-1) — 1,14 т С/га.

Сосняк бруснично-зеленомошный характеризуется высокой продуктивностью напоч-

венного покрова, прежде всего из-за мохового яруса, доля от всей массы ЖНП которого составляет 73,0 %. В работе [34] в этом же типе леса содержание мха — 84,0 %, это подтверждает мнение некоторых исследователей о более высоких запасах углерода в моховом ярусе бореальных лесов, по сравнению с травяно-кустарничковым ярусом [3, 34]. В условиях Среднесибирского подтаежно-лесостепного района преобладают разнотравные типы леса, что предопределяет на этой территории доминирование травяного яруса.

Согласно работе [35], объем биомассы напочвенного покрова в фитоценозах Приполярного Урала изменялся от 2,23 до 3,93 т С/га, что выше полученных нами показателей. По данным работы [36], углеродный пул ЖНП в сосняках (заболоченные и болотные земли) варьирует от 0,72 до 1,23 т С/га.

Как следует из литературных источников [23], в сенокосах и пастбищах России общий запас углерода составляет 3,3 т С/га, а в агроценозах — 5,5 т С/га, однако результаты проведенных нами исследований на открытых безлесных участках показали, что запас углерода в ЖНП ниже по сравнению с этими данными, что частично может быть связано с определением запаса только надземной части ЖНП.

Выводы

1. Биомасса ЖНП в сосновых насаждениях различается по типам леса и варьирует в широких пределах в сосновых насаждениях по типам леса — от 0,49 до 2,29 т С/га.

2. Максимальный запас углерода ЖНП установлен на открытых (безлесных) участках по берегам Енисея, в пределах сенокоса, под ЛЭП (от 2,01 до 2,46 т С/га), а также в сосняке папоротниково-крупнотравном (2,29 т С/га). Кроме того, в сосняке бруснично-зеленомошном наблюдается значительное депонирование углерода (1,58 т С/га).

3. В аккумуляцию углерода ЖНП существенный вклад вносит моховой ярус. Так, в сосняке бруснично-зеленомошном доля участия мохового яруса в общем углероде ЖНП составляет 73,0 %, в сосняке грушанково-зеленомошном — 48,0 %, а в сосняке осочково-разнотравном — 34,0 %. Травы доминируют в открытых пространствах и в сосняках (осочково-разнотравных, крупнотравных типов леса) со значительными запасами углерода в ЖНП.

4. Относительную полноту можно использовать как лимитирующий фактор развития ЖНП и, соответственно, переменную для определения в аллометрических уравнениях как абсолютных, так и относительных запасов углерода в ЖНП.

5. Использование конверсионных коэффициентов позволяет спрогнозировать запас углерода ЖНП на основе древесной продуктивности сосняков в различных типах леса.

6. Не выявлено наличие взаимосвязи между общим запасом углерода ЖНП и суммарным проективным покрытием вследствие биологических особенностей видов и условий местопроизрастания.

7. В травяном ярусе наблюдается тесная корреляционная связь между запасом углерода и средней высотой растений.

Исследование проводилось в рамках государственного задания, установленного Министерством науки и высшего образования Российской Федерации, для реализации проекта «Динамика восстановления таежных лесов Центральной Сибири, нарушенных энтомофитофагами» (№ FEFE-2024-0029) коллективом научной лаборатории «Лесных экосистем».

Список литературы

- [1] Махныкина А.В., Прокушкин А.С., Арясов В.Е., Полосухина Д.А., Трусков Д.В. Потоки углерода в подчиненном ярусе леса в сосновых древостоях Центральной Сибири // Научные основы устойчивого управления лесами: Материалы Всерос. науч. конф. с междунар. участием, посвященной 30-летию ЦЭПЛ РАН, Москва, 25–29 апреля 2022 года. М.: Изд-во ЦЭПЛ РАН, 2022. С. 243–245.
- [2] Швиденко А.З., Шепашенко Д.Г., Нильсон С. Материалы к познанию современной продуктивности лесных экосистем России // Базовые проблемы перехода к устойчивому лесному хозяйству в России: Материалы Междунар. сем. 6–7 декабря 2007 г. Красноярск: Изд-во ИЛ СО РАН, 2007. С. 7–37.
- [3] Полосухина Д.А., Прокушкин А.С., Масягина О.В. Биоразнообразие растений нижних ярусов сосновых лесов Средней Сибири // Российская Арктика, 2020. № 2S. С. 44–50. DOI: 10.24411/2658-4255-2020-12115
- [4] Трофимова И.Л. Надземная фитомасса и ее годичная продукция в спелых сосняках Среднего Урала: дис. ... канд. с.-х. наук. Екатеринбург, 2015. 249 с.
- [5] Тужилкина В.В. Структура фитомассы и запасы углерода в растениях напочвенного покрова еловых лесов на северо-востоке Европейской России // Растительные ресурсы, 2012. Т. 48. № 1. С. 44–50.
- [6] Швиденко А.З., Шепашенко Д.Г. Углеродный бюджет лесов России // Сибирский лесной журнал, 2014. № 1. С. 69–92.
- [7] Пристова Т.А., Манов А.В., Загирова С.В. Оценка запасов органического вещества напочвенного покрова и подстилки в еловых и березовых фитоценозах на Приполярном Урале // Растительные ресурсы, 2016. Т. 52. № 2. С. 282–294.
- [8] Прокушкин С.Г., Абаимов А.П., Прокушкин А.С., Масягина О.В. Биомасса напочвенного покрова и подлеска в лиственничных лесах криолитозоны Средней Сибири // Сибирский экологический журнал, 2006. № 2. С. 131–139.
- [9] Запрудина М.В. Фитомасса травяно-кустарничкового и мохового ярусов темнохвойных лесов Печоро-Ильчского заповедника // Известия Самарского НЦ РАН, 2010. Т. 12. № 1 (3). С. 876–879.
- [10] Грозовская И.С., Ханина Л.Г., Смирнов В.Э., Бобровский М.В., Романов М.С., Глухова Е.М. Биомасса напочвенного покрова в еловых лесах Костромской области // Лесоведение, 2015. № 1. С. 63–76.
- [11] Ivanov V.A., Ivanova G.A., Kovaleva N.M. Post-fire succession in scots pine forests of southern taiga Central Siberia // IOP Conference Series: Materials Science and Engineering. Reshetnev Readings 2018, 2020, p. 012012.
- [12] Hollands C., Shannon V.L., Sawicka K., Vanguelova E.I., Benham S.E., Shaw L.J., Clark J.M. Management impacts on the dissolved organic carbon release from deadwood, ground vegetation and the forest floor in a temperate Oak woodland // Science of The Total Environment, 2022, v. 805, no. 150399. DOI:10.1016/j.scitotenv.2021.150399
- [13] Gogoi A., Ahirwal J., Sahoo U.K. Plant biodiversity and carbon sequestration potential of the planted forest in Brahmaputra flood plains // J. of Environmental Management, 2021, v. 280, no. 111671. DOI:10.1016/j.jenvman.2020.111671
- [14] Kosykh N.P., Koronatova N.G., Mironycheva-Tokareva N.P., Vishnyakova E.K., Ivchenko T.G., Kurbatskaya S.S., Peregon A.M. The Bogs in a Forest-Steppe Region of Western Siberia: Plant Biomass and Net Primary Production (NPP) // Water, 2023, v. 15, no. 20 (3526).
- [15] Chu Y., He W.M., Liu H.D., Liu J., Zhu X.W., Dong M. Phytomass and plant functional diversity in early restoration of the degraded, semi-arid grasslands in northern China // J. of arid environments, 2006, v. 67, no. 4, pp. 678–687.
- [16] Shomurov K.F., Rakhimova N.K., Saitjanova U.S., Zhenyong Z. The Ecological-Phytocenotic Characteristics of *Halocnemum strobilaceum* (Pall.) Bieb. Grasslands on the Ustyurt Plateau in Karakalpakstan // Arid Ecosystems, 2023, v. 13, no. 4, pp. 507–517.
- [17] Сергиенко В.Г. Влияние ожидаемого изменения климата на баланс углерода и продуктивность экосистем в лесном секторе Российской Федерации // Труды Санкт-Петербургского научно-исследовательского института лесного хозяйства, 2018. № 1. С. 74–90. DOI 10.21178/2079–6080.2018.1.74
- [18] Havas P., Kubin E. Structure, growth and organic matter content in the vegetation cover of an old spruce forest in Northern Finland // Ann. Bot. Fennici, 1983, v. 20, no. 2, pp. 115–149.
- [19] Mäkönen E. Annual primary production and nutrient cycle in a birch stand. Helsinki: Communicationes Instituti Forestalis Fenniae, 1977, v. 91, no. 5, pp. 1–35.
- [20] Бунькова Н.П., Залесов С.В., Залесова Е.С., Магасумова А.Г., Осипенко Р.А. Основы фитомониторинга. Екатеринбург: Изд-во УГЛТУ, 2020. 90 с.
- [21] Кошурникова Н.Н., Панов А.В., Гаек А.О. Продукция мохового яруса в темнохвойных лесах Кеть-Чулымского междуречья // Лесоведение, 2008. № 3. С. 70–75.

- [22] Кошурникова Н.Н., Верховец С.В. Продукция углерода фитомассы в южно-таежных темнохвойных лесах Западной Сибири (Кеть-Чулымский лесорастительный округ) // Растительные ресурсы, 2011. Т. 47. № 3. С. 8–21.
- [23] Титлянова А.А., Кудряшова С.Я., Косых Н.П., Шибарева С.В. Биологический круговорот углерода и его изменение под влиянием деятельности человека на территории Южной Сибири // Почвоведение, 2005. № 10. С. 1240–1250.
- [24] Никитин А.Н. Накопление углерода в биомассе сосновых культурценозов // Труды Белорусского государственного технологического университета. Серия 1. Лесное хозяйство, 2003. № 11. С. 95–97.
- [25] Приказ Минприроды России от 18.08.2014 № 367 «Об утверждении Перечня лесорастительных зон Российской Федерации и Перечня лесных районов Российской Федерации». URL: <https://docs.cntd.ru/document/420224339> (дата обращения 17.03.2024).
- [26] Голуб В.Б., Николайчук Л.Ф., Л.Г. Раменский и аллометрия растений (история и современное состояние проблемы) // Разнообразие растительного мира, 2021. № 1 (8). С. 30–50.
- [27] Пристова Т.А., Федорков А.Л. Фитомасса растений напочвенного покрова в экспериментальных культурах сосны скрученной в Краснозатонском лесничестве республики Коми // Биодиагностика состояния природных и природно-техногенных систем: Материалы XVI Всерос. науч.-практ. конф. с международ. участием, Киров, 03–05 декабря 2018 года. Т. 2. Киров: Изд-во ВятГУ, 2018. С. 81–84.
- [28] Беглянова М.И., Васильева Е.М., Кашина Л.И. Определитель растений юга Красноярского края / под ред. И.М. Красноборова, Л.И. Кашиной. Новосибирск: Наука, 1979. 670 с.
- [29] Стаканов В.Д., Алексеев В.А., Коротков И.А., Климушин Б.Л. Методика определения запасов фитомассы и углерода лесных сообществ // Углерод в экосистемах лесов и болот России. Красноярск: Изд-во Института леса им. В.Н. Сукачева СО РАН, 1994. С. 48–69.
- [30] Составление углеродного баланса лесов Республики Беларусь на основании значений коэффициентов выбросов/поглощения диоксида углерода от надземной фитомассы, подготовка прогноза увеличения поглощения выбросов парниковых газов лесами до 2030 и до 2050 годов, подготовка перечня мероприятий по увеличению поглощения парниковых газов в лесном хозяйстве: отчет. Минск, 2017. 65 с. URL: <http://minpriroda.gov.by/uploads/files/Pogloschenieparnikovyx-gazov.pdf>. (дата обращения 10.03.2024).
- [31] Артемьева И.Н. Пространственное распределение, фитомасса и годичная продукция нижних ярусов растительности в северотаежных сосняках лишайниковых ХМАО-Югры: дис. ... канд. с.-х. наук. Екатеринбург: Изд-во УГЛТУ, 2022. 188 с.
- [32] Лебедев А.В. Ландшафтная таксация и инвентаризация насаждений. М.: Изд-во МЭСХ, 2022. 148 с.
- [33] Трефилова О.В., Ведрова Э.Ф., Кузьмичев В.В. Годичный цикл углерода в зеленомошных сосняках Енисейской равнины // Лесоведение, 2011. № 1. С. 3–12.
- [34] Аткина Л.И., Бугакова Т.М. Масса мохового яруса и его микробиологическая активность в сосновых лесах Нижнего Приангарья // Леса Урала и хозяйство в них, 2002. № 22. С. 46–51.
- [35] Пристова Т.А., Загирова С.В., Манов А.В. Продукция органического вещества и аккумуляция углерода в напочвенном покрове еловых и березовых фитоценозов в предгорьях Приполярного Урала // Теоретическая и прикладная экология, 2018. № 2. С. 53–61.
- [36] Ефремов С.П., Ефремова Т.Т., Блойтен В. Биологическая продуктивность и углеродный пул фитомассы лесных болот Западной Сибири // Сибирский экологический журнал, 2005. Т. 12. № 1. С. 29–44.

Сведения об авторах

Мамедова Севинч Кямилъ-кызы✉ — аспирант, мл. науч. сотр., ФГБОУ ВО «Сибирский государственный университет науки и технологий имени академика М.Ф. Решетнёва» (СибГУ), mamedova_seva@mail.ru

Вайс Андрей Андреевич — д-р. с.-х. наук, профессор, вед. науч. сотр., ФГБОУ ВО «Сибирский государственный университет науки и технологий имени академика М.Ф. Решетнёва» (СибГУ), vais6365@mail.ru

Мельник Александра Игоревна — аспирант, мл. науч. сотр., ФГБОУ ВО «Сибирский государственный университет науки и технологий имени академика М.Ф. Решетнёва» (СибГУ), aleksandrana2013@gmail.com

Михайлов Павел Владимирович — канд. с.-х. наук, доцент, зав. кафедрой лесоводства, охраны и защиты леса, вед. науч. сотр., ФГБОУ ВО «Сибирский государственный университет науки и технологий имени академика М.Ф. Решетнёва» (СибГУ), mihaylov.p.v@mail.ru

Неповинных Артем Геннадьевич — канд. с.-х. наук, ст. науч. сотр., ФГБОУ ВО «Сибирский государственный университет науки и технологий имени академика М.Ф. Решетнёва» (СибГУ), artixz@yandex.ru

Поступила в редакцию 14.04.2023.

Одобрено после рецензирования 28.12.2023.

Принята к публикации 04.10.2024.

GROUND VEGETATION CARBON STOCK IN KRASNOYARSK SUBURBAN TERRITORIES

S.K. Mamedova✉, A.A. Vais, A.I. Melnik,
P.V. Mikhaylov, A.G. Nepovinnikh

Reshetnev Siberian State University of Science and Technology, 31, the av. named after the newspaper
«Krasnoyarskiy rabochiy», 660037, Krasnoyarsk, Russia

mamedova_ceva@mail.ru

The comparative analysis of ground vegetation carbon stock between plots with different forest conditions, located in the experimental area of the Karaulnyi district forestry in the Krasnoyarsk suburban zone is given. It was found that the maximum accumulation of carbon stocks of living ground cover is confined to open (non-forested) plots, in the ferny pine forests. Significant carbon sequestration was noted in the lingonberry-green-moss pine forest, as the moss layer makes a significant contribution to the accumulation of carbon in the living ground cover. A close relationship between relative completeness and conversion factors was established for sites with different forest conditions.

Keywords: ground vegetation, carbon stock, conversion coefficients, forest type

Suggested citation: Mamedova S.K., Vais A.A., Mel'nik A.I., Mikhaylov P.V., Nepovinnikh A.G. *Uglerodnyy pul zhivogo napochvennogo pokrova prigorodnykh territoriy Krasnoyarska* [Ground vegetation carbon stock in Krasnoyarsk suburban territories]. *Lesnoy vestnik / Forestry Bulletin*, 2025, vol. 29, no. 3, pp. 40–51. DOI: 10.18698/2542-1468-2025-3-40-51

References

- [1] Makhnykina A.V., Prokushkin A.S., Aryasov V.E., Polosukhina D.A., Trusov D.V. *Potoki ugleroda v podchinennom yaruse lesa v sosnovykh drevostoyakh Tsentral'noy Sibiri* [Carbon pools in co-dominant forest layer in pine stands of Central Siberia]. *Nauchnye osnovy ustoychivogo upravleniya lesami: Materialy Vserossiyskoy nauchnoy konferentsii s mezhdunarodnym uchastiem, posvyashchennoy 30-letiyu TsEPL RAN* [Scientific background for sustainable forest management: collection of scientific papers]. Moscow, April 25–29 2022, Moscow: Tsentr po problemam ekologii i produktivnosti lesov RAN, 2022, pp. 243–245.
- [2] Shvidenko A.Z., Shepashchenko D.G., Nil'son S. *Materialy k poznaniyu sovremennoy produktivnosti lesnykh ekosistem Rossii* [Materials to the knowledge of modern productivity of forest ecosystems of Russia]. *Bazovye problemy perekhoda k ustoychivomu lesnomu khozyaystvu v Rossii: mater. Mezhdunarodnogo seminar* [Basic problems of transition to sustainable forestry in Russia: Materials. Intern. Semin.]. Krasnoyarsk, 6–7 December 2007. Krasnoyarsk: IL SO RAN [The Institute of forest V.N. Sukachev Siberian branch RAS], 2007, pp. 7–37.
- [3] Polosukhina D.A., Prokushkin A.S., Masyagina O.V. *Bioraznoolozheniye rasteniy nizhnikh yarusov sosnovykh lesov Sredney Sibiri* [Biodiversity of lower layers vegetation in pine forests of Central Siberia]. *Rossiyskaya Arktika* [Russian Arctic], 2020, no. 2S, pp. 44–50. DOI: 10.24411/2658-4255-2020-12115
- [4] Trofimova I.L. *Nadzemnaya fitomassa i ee godichnaya produktsiya v spelykh sosnyakh Srednego Urala* [Above-ground biomass and its annual production in mature pine stands in Central Urals]. *Dis. Cand. Sci. (Agric.)*. Yekaterinburg, 2015, 249 p.
- [5] Tuzhilkina V.V. *Struktura fitomassy i zapasy ugleroda v rasteniyakh napochvennogo pokrova elovykh lesov na severo-vostoke evropeyskoy Rossii* [Phytomass structure and carbon stocks in above ground vegetation in spruce forests growing in Northeastern European Russia]. *Rastitel'nye resursy* [Plant Resources], 2012, v. 48, no. 1, pp. 44–50.
- [6] Shvidenko A.Z., Shepashchenko D.G. *Uglerodnyy byudzhel lesov Rossii* [The Carbon Budget of Russian Forests]. *Sibirskiy lesnoy zhurnal* [Siberian Forest Journal], 2014, no. 1, pp. 69–92.
- [7] Pristova T.A., Manov A.V., Zagirova S.V. *Otsenka zapasov organicheskogo veshchestva napochvennogo pokrova i podstilki v elovykh i berezovykh fitotsenozakh na Pripolyarnom Urale* [Assessment of ground vegetation organic matter pool in forest floor of spruce and birch forests in the Subpolar Urals]. *Rastitel'nye resursy* [Plant Resources], 2016, v. 52, no. 2, pp. 282–294.
- [8] Prokushkin S.G., Abaimov A.P., Prokushkin A.S., Masyagina O.V. *Biomassa napochvennogo pokrova i podleska v listvennichnykh lesakh kriolitozony Sredney Sibiri* [Ground vegetation and understory biomass in larch forests growing in permafrost zone of Central Siberia]. *Sibirskiy ekologicheskiy zhurnal* [Siberian ecological journal], 2006, no. 2, pp. 131–139.
- [9] Zaprudina M.V. *Fitomassa travyano-kustarnichkovogo i mokhovogo yarusov temnokhvoynykh lesov Pechoro-Ilychskogo zapovednika* [Phytomass of herb/shrub and moss layers in dark coniferous tall-grasses forests of the Pechora-Ilych Nature Reserve]. *Izvestiya Samarskogo NTs RAN* [Bulletin of the Samara Federal Research Scientific Center of the Russian Academy of Sciences], 2010, v. 12, no. 1 (3), pp. 876–879.
- [10] Grozovskaya I.S., Khanina L.G., Smirnov V.E., Bobrovskiy M.V., Romanov M.S., Glukhova E.M. *Biomassa napochvennogo pokrova v elovykh lesakh Kostromskoy oblasti* [Biomass of soil cover in spruce forests of Kostroma region]. *Lesovedenie* [Russian Journal of Forest Science], 2015, no. 1, pp. 63–76.

- [11] Ivanov V.A., Ivanova G.A., Kovaleva N.M. Post-fire succession in scots pine forests of southern taiga Central Siberia. IOP Conference Series: Materials Science and Engineering. Reshetnev Readings 2018, 2020, p. 012012.
- [12] Hollands C., Shannon V.L., Sawicka K., Vangelova E.I., Benham S.E., Shaw L.J., Clark J.M. Management impacts on the dissolved organic carbon release from deadwood, ground vegetation and the forest floor in a temperate Oak woodland. Science of The Total Environment, 2022, v. 805, no. 150399. DOI:10.1016/j.scitotenv.2021.150399
- [13] Gogoi A., Ahirwal J., Sahoo U.K. Plant biodiversity and carbon sequestration potential of the planted forest in Brahmaputra flood plains. J. of Environmental Management, 2021, v. 280, no. 111671. DOI:10.1016/j.jenvman.2020.111671
- [14] Kosykh N.P., Koronatova N.G., Mironycheva-Tokareva N.P., Vishnyakova E.K., Ivchenko T.G., Kurbatskaya S.S., Peregon A.M. The Bogs in a Forest–Steppe Region of Western Siberia: Plant Biomass and Net Primary Production (NPP). Water, 2023, v. 15, no. 20 (3526).
- [15] Chu Y., He W.M., Liu H.D., Liu J., Zhu X.W., Dong M. Phytomass and plant functional diversity in early restoration of the degraded, semi-arid grasslands in northern China. J. of arid environments, 2006, v. 67, no. 4, pp. 678–687.
- [16] Shomurov K.F., Rakhimova N.K., Saitjanova U.S., Zhenyong Z. The Ecological–Phytocenotic Characteristics of *Halocnemum strobilaceum* (Pall.) Bieb. Grasslands on the Ustyurt Plateau in Karakalpakstan. Arid Ecosystems, 2023, v. 13, no. 4, pp. 507–517.
- [17] Sergienko V.G. *Vliyaniye ozhidaemogo izmeneniya klimata na balans ugleroda i produktivnost' ekosistem v lesnom sektore Rossiyskoy Federatsii* [On the assumed impact of climate change on Russian forests]. Trudy Sankt-Peterburgskogo nauchno-issledovatel'skogo instituta lesnogo khozyaystva [Proceedings of Saint Petersburg Forestry Research Institute], 2018, no. 1, pp. 74–90. DOI 10.21178/2079–6080.2018.1.74
- [18] Havas P., Kubin E. Structure, growth and organic matter content in the vegetation cover of an old spruce forest in Northern Finland. Ann. Bot. Fennici, 1983, v. 20, no. 2, pp. 115–149.
- [19] Mälikönen E. Annual primary production and nutrient cycle in a birch stand. Helsinki: Communicationes Instituti Forestalis Fenniae, 1977, v. 91, no. 5, pp. 1–35.
- [20] Bun'kova N.P., Zalesov S.V., Zalesova E.S., Magasumova A.G., Osipenko R.A. *Osnovy fitomonitoringa* [Fundamentals of phytomonitoring]. Yekaterinburg: Ural State Forest Engineering University, 2020, 90 p.
- [21] Koshurnikova N.N., Panov A.V., Gaek A.O. *Produktsiya mokhovogo yarusa v temnokhvoynykh lesakh Ket'-Chulymskogo mezhdurech'ya* [Production of the Moss Layer in Dark Coniferous Forests of the Ket-Chulym Interfluve]. Lesovedenie [Contemporary Problems of Ecology], 2008, no. 3, pp. 70–75.
- [22] Koshurnikova H.N., Verkhovets S.V. *Produktsiya ugleroda fitomassy v yuzhno-taizhnykh temnokhvoynykh lesakh Zapadnoy Sibiri (Ket'-Chulymskiy lesorastitel'nyy okrug)* [Production Of Phytomass Carbon In The South Taiga Dark Coniferous Forest Of The Western Siberia (Ket-Chulym Forest District)]. Rastitel'nye resursy [Rastitel'nye resursy], 2011, v. 47, no. 3, pp. 8–21.
- [23] Titlyanova A.A., Kudryashova S.Ya., Kosykh N.P., Shibareva S.V. *Biologicheskiy krugovorot ugleroda i ego izmenenie pod vliyaniem deyatel'nosti cheloveka na territorii Yuzhnoy Sibiri* [Biological carbon cycle and its change under human activities in the Southern Siberia]. Pochvovedenie [Soil Science], 2005, no. 10, pp. 1240–1250.
- [24] Nikitin A.N. *Nakopleniye ugleroda v biomasse sosnovykh kul'turtsenozov* [Carbon accumulation in the biomass of pine plantations]. Trudy Belorusskogo gosudarstvennogo tekhnologicheskogo universiteta. Seriya 1. Lesnoe khozyaystvo [Proceedings of the Belarusian State Technological University. Series 1. Forestry], 2003, no. 11, pp. 95–97.
- [25] *Prikaz Minprirody Rossii ot 18.08.2014 № 367 «Ob utverzhdenii Perechnya lesorastitel'nykh zon Rossiyskoy Federatsii i Perechnya lesnykh rayonov Rossiyskoy Federatsii»* [Order of the Ministry of Natural Resources of Russia dated August 18, 2014 no. 367 On Approval of the List of Forest Site Zones of the Russian Federation and the List of Forest Districts of the Russian Federation]. Available at: <https://docs.cntd.ru/document/420224339> (accessed 17.03.2024).
- [26] Golub V.B., Nikolaychuk L.F. *L.G. Ramenskiy i allometriya rasteniy (istoriya i sovremennoe sostoyaniye problemy)* [L.G. Ramensky and allometry of plants (history and current state of the problem)]. Raznoobrazie rastitel'nogo mira [Diversity of plant world], 2021, no. 1 (8), pp. 30–50.
- [27] Pristova T.A., Fedorkov A.L. *Fitomassa rasteniy napochvennogo pokrova v eksperimental'nykh kul'turakh sosny skrushennoy v Krasnozaton'skom lesnichestve respubliki Komi* [Ground vegetation phytomass in experimental cultures of lodgepole pine in Krasnozaton forestry of the Komi Republic]. Biodiagnostika sostoyaniya prirodnikh i prirodno-tekhnogennykh sistem: Materialy KhVI Vserossiyskoy nauchno-prakticheskoy konferentsii s mezhdunarodnym uchastiem [Biodiagnostics of the state of natural and natural-technogenic systems: Proceedings of the All-Russian scientific and practical conference with international participation]. Kirov, 3–5 December 2018. Kirov: Vyatskiy gosudarstvennyy universitet, 2018, v. 2, pp. 81–84.
- [28] Beglyanova M.I., Vasil'eva E.M., Kashina L.I. *Opredelitel' rasteniy yuga Krasnoyarskogo kraya* [Plant Identifier for the south of Krasnoyarsk Krai]. Novosibirsk: Science. Siberian branch, 1979, 670 p.
- [29] Stakanov V.D., Alekseev V.A., Korotkov I.A., Klimushin B.L. *Metodika opredeleniya zapasov fitomassy i ugleroda lesnykh soobshchestv* [Methods for assessing phytomass and carbon pools in forest communities]. Uglerod v ekosistemakh lesov i bolot Rossii [Carbon in forest and swamp ecosystems in Russia]. Krasnoyarsk: Sukachev Institute of Forest SB RAS, 1994, pp. 48–69.
- [30] *Sostavleniye uglerodnogo balansa lesov Respubliki Belarus' na osnovanii znacheniy koeffitsientov vybrosov/pogloshcheniya dioksida ugleroda ot nadzemnoy fitomassy, podgotovka prognoza uvelicheniya pogloshcheniya vybrosov parnikovyykh gazov lesami do 2030 i do 2050 godov, podgotovka perechnya meropriyatiy po uvelicheniyu pogloshcheniya parnikovyykh gazov v lesnom khozyaystve: otchet* [Compilation of the carbon balance of forests in the Republic of Belarus based on the values of the emission / absorption factors of carbon dioxide from the aboveground phytomass, preparation of a forecast for the increase in absorption of greenhouse gas emissions by forests until 2030 and until 2050, preparation of a list of measures to increase the absorption of greenhouse gases in forestry], 2017, 65 p. Available at: <http://minpriroda.gov.by/uploads/files/Pogloschenieparnikovyyx-gazov.pdf> (accessed 10.03.2024).

- [31] Artem'eva I.N. *Prostranstvennoe raspredelenie, fitomassa i godichnaya produktsiya nizhnikh yarusev rastitel'nosti v severotaezhnykh sosnyakakh lishaynikovyykh KhMAO-Yugry* [Spatial distribution, phytomass and annual production of the lower vegetation layers in the northern taiga lichen pine forests of Khanty-Mansiysk Autonomous Okrug-Yugra]. Dis. Cand. Sci. (Agric.). Yekaterinburg, 2022, 188 p.
- [32] Lebedev A.V. *Landshaftnaya taksatsiya i inventarizatsiya nasazhdeniy* [Landscape-based forest inventory]. Moscow: Russian State Agricultural University, 2022, 148 p.
- [33] Trefilova O.V., Vedrova E.F., Kuz'michev V.V. *Godichnyy tsikl ugleroda v zelenomoshnykh sosnyakakh Eniseyskoy ravniny* [The Annual Carbon Cycle in Green-Moss Pine Forests of the Yenisey Plain]. *Lesovedenie* [Russian Journal of Forest Science], 2011, no. 1, pp. 3–12.
- [34] Atkina L.I., Bugakova T.M. *Massa mokhovogo yarusa i ego mikrobiologicheskaya aktivnost' v sosnyakh lesakh Nizhnego Priangara* [Moss layer biomass and its microbiological activity in the pine forests of the Lower Angara region]. *Lesa Urala i khozyaystvo v nikh* [Ural forests and their management], 2002, no. 22, pp. 46–51.
- [35] Pristova T.A., Zagirova S.V., Manov A.V. *Produktsiya organicheskogo veshchestva i akkumulyatsiya ugleroda v napochvennom pokrove elovykh i berezovykh fitotsenozov v predgor'yakh Pripolyarnogo Urala* [Organic matter production and carbon stock in the ground vegetation of spruce and birch forests in the foothills of the Subpolar Urals]. *Teoreticheskaya i prikladnaya ekologiya* [Theoretical and Applied Ecology], 2018, no. 2, pp. 53–61.
- [36] Efremov S.P., Efremova T.T., Bloyten V. *Biologicheskaya produktivnost' i uglerodnyy pul fitomassy lesnykh bolot Zapadnoy Sibiri* [Biological productivity and carbon pool of forest swamps in Western Siberia]. *Sibirskiy ekologicheskiy zhurnal* [Siberian ecological journal], 2005, v. 12, no. 1, pp. 29–44.

The study was conducted within the framework of the state assignment established by the Ministry of Science and Higher Education of the Russian Federation for the project «Dynamics of restoration of taiga forests of Central Siberia disturbed by entomological pests» (No. FEFE-2024-0029) by the team of the scientific laboratory «Forest Ecosystems».

Authors' information

Mamedova Sevinch Kyamil'-kyzy✉ — pg., Junior researcher, Reshetnev Siberian State University of Science and Technology, mamedova_ceva@mail.ru

Vais Andrey Andreevich — Dr. Sci. (Agriculture), Professor of the Department of Forest Inventory, Forest Management and Geodesy, leading researcher, Reshetnev Siberian State University of Science and Technology, vais6365@mail.ru

Mel'nik Aleksandra Igorevna — pg., Junior researcher, Reshetnev Siberian State University of Science and Technology, aleksandrana2013@gmail.com

Mikhaylov Pavel Vladimirovich — Cand. Sci. (Agriculture), Associate Professor, Head of the Department of Forestry, Forest Protection and Forest Health, leading researcher, Reshetnev Siberian State University of Science and Technology, mihaylov.p.v@mail.ru

Nepovinnikh Artem Gennad'evich — Cand. Sci. (Agriculture), Senior researcher, Reshetnev Siberian State University of Science and Technology, artixz@yandex.ru

Received 14.04.2023.

Approved after review 28.12.2023.

Accepted for publication 04.10.2024.

Вклад авторов: все авторы в равной доле участвовали в написании статьи

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов

Authors' Contribution: All authors contributed equally to the writing of the article

The authors declare that there is no conflict of interest

УДК 504.4:674.032.475.442 (571.150)
DOI: 10.18698/2542-1468-2025-3-52-64
Шифр ББК 4.1.3; 4.1.6

АНТРОПОГЕННАЯ УСТОЙЧИВОСТЬ СОСНОВЫХ НАСАЖДЕНИЙ В ПРИГОРОДНЫХ ЛЕСАХ Г. БАРНАУЛА

А.А. Малиновских✉, А.С. Чичкарев

ФГБОУ ВО «Алтайский государственный аграрный университет» (Алтайский ГАУ), Россия, 656049, Алтайский край, г. Барнаул, пр. Красноармейский, д. 98

almaal1976@yandex.ru

Представлены результаты изучения современного состояния сосновых насаждений в пригородных лесах г. Барнаула, являющихся частью Барнаульского ленточного бора. Описано текущее состояние основных компонентов насаждений — древостоя, подроста, подлеска, напочвенного покрова. Установлены региональные фоновые значения содержания тяжелых металлов в образцах почвы, древесины и хвои сосновых насаждений. Определено, что ведущим антропогенным фактором в зеленой зоне г. Барнаула является рекреация, а не техногенное загрязнение. Указано, что на всем протяжении массива разновозрастные древостои сосны характеризуются ослабленным состоянием, в основном по причине отсутствия своевременных рубок ухода и выборочных рубок. Показано ослабление подроста сосны вблизи черты города вследствие рекреации и даже его отсутствие на отдельных участках по причине заглушения подлеском из клена. Установлено увеличение доли синантропных видов растений в составе подлеска и напочвенного покрова в пределах данных насаждений по мере приближения к черте города. Составлена оригинальная шкала по ключевым показателям насаждений, согласно которой сосняки зеленой зоны г. Барнаула относятся к среднему и высокому классам антропогенной структурной устойчивости.

Ключевые слова: устойчивость леса, сосновые насаждения, древостой, подрост, подлесок, живой напочвенный покров, техногенное загрязнение, рекреационная дигрессия

Ссылка для цитирования: Малиновских А.А., Чичкарев А.С. Антропогенная устойчивость сосновых насаждений в пригородных лесах г. Барнаула // Лесной вестник / Forestry Bulletin, 2025. Т. 29. № 3. С. 52–64. DOI: 10.18698/2542-1468-2025-3-52-64

Хозяйственная деятельность, как правило, приводит к изменениям окружающей среды. Неотъемлемой частью природных ландшафтов являются лесные насаждения, которые в зависимости от происхождения и географического расположения отличаются большим разнообразием. В ходе эволюции лесные древесные породы в пригородных насаждениях адаптировались к комплексу природных факторов. Главными для их полноценного существования, как отмечал Г.Ф. Морозов [1], являются принципы устойчивости и самостоятельности, реализуемые в полной мере в коренных лесах, не затронутых хозяйственной деятельностью. Леса, подверженные интенсивным изменениям под влиянием антропогенного фактора часто утрачивают устойчивость, способность к воспроизводству, поскольку не имеют выработанных механизмов адаптации [2, 3]. Наиболее интенсивную антропогенную нагрузку испытывают пригородные леса (леса зеленых зон) [4–6].

Проблемам изучения состояния пригородных и городских лесов, их охраны, благоу-

стройства, восстановления уделяется значительное внимание в России и за ее пределами [7–14]. Некоторые исследователи обоснованно выделяют урболесоведение, городское лесное хозяйство, техногенное лесоводство в самостоятельные отрасли знаний [15–18]. Сложность решения вопросов, связанных с пригородными лесами, заключается, с одной стороны, в том, что эти леса испытывают неодинаковое влияние комплекса антропогенных факторов как в пространстве, так и во времени, с другой — они имеют географические различия. Это обуславливает актуальность и практическую значимость изучения устойчивости лесных насаждений, подверженных влиянию антропогенных факторов применительно к отдельным регионам.

Цель работы

Цель работы — изучение антропогенной структурной устойчивости сосновых насаждений в пригородных лесах г. Барнаула, подверженных техногенным и рекреационным нагрузкам, на лесотипологической основе.

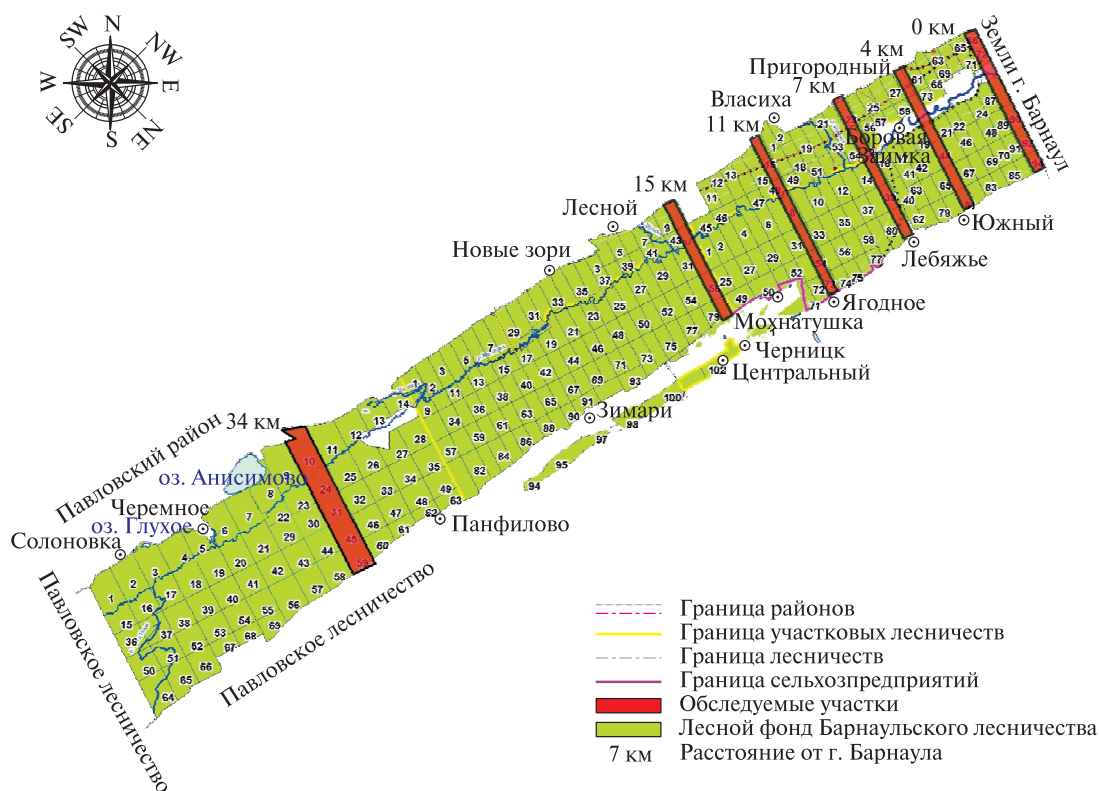


Рис. 1. Карта-схема расположения постоянных пробных площадей в пригородных лесах г. Барнаула
Fig. 1. Schematic map of study plot location in the suburban forests of the City of Barnaul

Объекты и методы исследования

Исследования включали в себя оценку уровня техногенного загрязнения по содержанию тяжелых металлов в почве, древесине и хвое главной породы по типам леса; определение стадий рекреационной дигрессии лесных насаждений; оценку санитарного состояния, состава, строения древостоев; оценку состояния подростов главной породы, подлеска, живого напочвенного покрова; определение класса антропогенной устойчивости лесных насаждений на основе оригинальной шкалы.

Вблизи г. Барнаула в лесном фонде Барнаульского лесничества выделено 15 652 га лесов, отнесенных к зеленым и лесопарковым зонам, при общей площади лесничества 26 049 га [19]. На разном удалении от черты г. Барнаула в лесном фонде Барнаульского лесничества заложены постоянные пробные площади (ППП): в зоне интенсивной антропогенной деятельности — 0, 4, 7, 11, 15 км; в зоне слабоинтенсивной антропогенной деятельности — 34 км (рис. 1).

Постоянные пробные площади заложены в преобладающих в лесном фонде типах леса: свежем бору (Свб) и травяном бору (Трб), которые отражают исторически сложившиеся

лесорастительные условия. Тип леса *свежий бор* занимает повышенные части мезорельефа — вершины и пологие склоны различной экспозиции, на которых формируются свежие лесорастительные условия (А2). Тип леса *травяной бор* занимает межгрядные понижения, ровные участки с близким залеганием грунтовых вод, которые обуславливают влажные лесорастительные условия (А3).

На каждой ППП проведен сплошной перебор древостоя с последующим определением таксационных показателей [20–22]. Категории санитарного состояния деревьев определены по действующим нормативам [23].

Изучение подростов выполнено методом учетных площадок. Индекс жизненного состояния (ИЖС) подростов рассчитан по методике В.А. Алексеева [24]. У жизнеспособных экземпляров подростов главной породы (25 шт.) выполнено определение продолжительности жизни хвои.

В начале, середине и конце вегетации по каждой ППП составлены геоботанические описания лесных сообществ с указанием видового состава, обилия, покрытия, средней высоты [20]. Антропогенная трансформация флоры лесных насаждений определена с помощью индекса

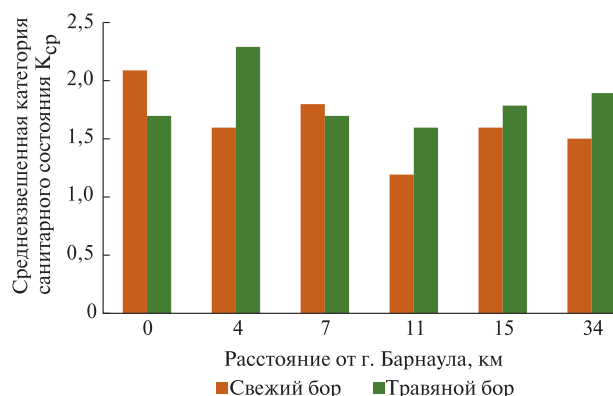


Рис. 2. Санитарное состояние древостоев сосны в пригородных лесах г. Барнаула

Fig. 2. Sanitary state of pine stands in suburban forests of the City of Barnaul

синантропизации [25], стадии рекреационной дигрессии — трансектным методом [26].

Для определения содержания тяжелых металлов на ППП были собраны образцы почвы на глубине 0, 5, 10, 20, 50, 100 см; а также образцы древесины и хвои сосны обыкновенной. Анализ проведен в сертифицированной лаборатории Центра агрохимической службы «Алтайский» (ЦАС «Алтайский»). Полевой материал собран в мае — сентябре 2023 г.

Результаты исследования

Пригородный лесной массив расположен с наветренной стороны по отношению г. Барнаула (преобладают ветры западного и юго-западного направления), поэтому слабо подвержен аэротехногенному загрязнению. Это подтверждают данные анализа почв сосновых насаждений, древесины и хвои сосновых деревьев, в которых не обнаружено превышения содержания тяжелых металлов исходя из значений предельно допустимой концентрации (ПДК), ориентировочно допустимой концентрации (ОДК) по СанПиН 1.2.3685–21 и фоновых значений в регионе [27]. Так, содержание свинца в сырорастающей древесине сосны в типе леса Трб составляет 2,03...3,67 мг/кг, в типе леса Свб — 1,34...2,60 мг/кг (ПДК 20 мг/кг; естественный уровень 0,1...10 мг/кг). В связи с этим ведущим антропогенным фактором в этих лесах является рекреация, хозяйственная деятельность и ее последствия (строительство, свалки мусора, рубки, пожары и т. п.). Тем не менее, состояние отдельных компонентов пригородных лесных насаждений г. Барнаула претерпели некоторые изменения под влиянием рекреационного фактора.

Древостой образует основу леса, от его биологического и санитарного состояния зависит

антропогенная структурная устойчивость насаждения в целом. В пригородных лесах г. Барнаула санитарное состояние сосновых древостоев ослаблено (кроме отдельных участков) как в Трб, так и в Свб (рис. 2).

В зоне интенсивной антропогенной деятельности (0...15 км) сосновые древостои в типе леса Свб имеют среднюю категорию санитарного состояния 1,66, в типе леса Трб — 1,82. Древостои сосны во влажных лесорастительных условиях несколько более ослаблены, чем в свежих лесорастительных условиях. Ослабление древостоев сосны на фоне многолетней рекреационной нагрузки связывают также с отсутствием своевременных лесохозяйственных мероприятий, в частности рубок ухода, рубок в спелых и перестойных насаждениях, уборки захламленности и др.

Таксационные показатели, рассчитанные нами (табл. 1), дают более четкую картину состояния древостоев. Общеизвестный факт — чем насаждение сложнее по своей структуре (наличие более одного яруса, разновозрастность древостоя, произрастание двух поколений и более, разнородный состав), тем выше его устойчивость к неблагоприятным воздействиям, происходящим в окружающей среде, в том числе и к антропогенной нагрузке.

В своей массе древостои высокополнотные, высокопродуктивные, средний класс бонитета составляет II, что вполне характерно для насаждений северо-восточной части ленточных боров Западной Сибири [28]. О снижении устойчивости насаждения свидетельствует наличие сухостойных деревьев, а также значение текущего (более 10 %) и патологического (более 5 %) отпада.

Одним из показателей, характеризующих состояние насаждений, является коэффициент напряженности роста, или комплексный оценочный показатель (КОП), определяемый отношением высоты дерева к площади поперечного сечения ствола на высоте 1,3 м от поверхности земли [29]. Этот коэффициент имеет помимо таксационной и гидрофизическую составляющую, так как показывает объем ствола, обслуживаемый влагой через единицу площади его поперечного сечения (на что указывает его размерность — см/см²).

Всероссийским научно-исследовательским институтом (ФНЦ Агроэкологии РАН) агролесомелиорации для сосновых насаждений юго-востока европейской части России, а также ленточных боров Прииртышья установлены следующие оптимальные значения КОП: в насаждениях до 20 лет — 15...25; 20–30 лет — 10...18; 40–70 лет — 5...8; и свыше 100 лет — 2...3 см/см² [30].

Т а б л и ц а 1

**Таксационные показатели, рассчитанные для изучаемых древостоев
в пригородных лесах г. Барнаула, по ППП**

Forest inventory values calculated for tree stands under study in suburban forests of the City of Barnaul

№ ППП	Стадия рекреационной депрессии	Состав древостоя; тип леса	Порода	Возраст, лет	Густота, шт./га	Средние		Сумма площ, сеч, м ² /га	Класс бонитета	Полнота, ед.	Запас, м ³ /га		Средний прирост, м ³ /га	Текущий отпад, %	Патологический отпад, %	КОП, см/см ²
						диаметр, см	высота, м				сырорастущий	сухостоя				
0 км от черты города																
1	II	7С3С+С+Б Трб	С	95	274	32,8	22,7	32,3	III	1,3	287,5	0,08	3,03	6,9	0,5	2,7
			С	120	118	40	27	13,9			123,2	0,04	1,29			2,1
			Б	90	12	37	23	1,4			9,9	–	0,11			
2	II	7С2С1С+Б Свб	С	95	415	26	23	28,9	III	1,2	241,0	12,5	2,54	4,5	2,0	3,2
			С	70	118	18	18	8,3			68,9	3,6	0,72			5,2
			С	120	59	44	26	2,9			24,1	1,3	0,25			
			Б	90	4	21	18	0,2			0,7	–	0,01			
			4 км от черты города													
3	I	5С2С3Б Трб	С	110	132	40	29	15,8	II	1,0	228,3	8,2	2,08	14,6	1,0	2,2
			С	80	56	30	26	6,8			97,9	3,5	0,89			3,2
			Б	90	140	31,1	24,5	10,6			85,5	3,4	0,95			
4	II	5С4С1Б Свб	С	130	360	44	27	20,8	III	1,0	168,1	6,9	1,29	23,1	0	3,7
			С	75	240	26	23	13,9			112,0	4,6	0,86			6,5
			Б	90	20	16,6	14	0,5			2,6	0,1	0,03			
7 км от черты города																
5	I	10С+Б Свб	С	95	692	24	21	30,7	III	1,0	267,6	10,5	2,82	20,3	1,0	4,6
			Б	90	48	21,6	19,3	1,8			13,2	–	0,15			5,3
6	I	5С4С1Б Трб	С	120	158	44	28	23,8	II	1,1	256,8	–	2,14	0	0	1,9
			С	85	106	32	26	15,9			171,2	–	1,43			4,8
			Б	85	16	23	20	0,9			6,7	–	0,08			
			11 км от черты города													
7	I	10С+Б Трб	С	120	168	44,4	28	26,0	II	0,8	340,5	–	2,84	0	0	1,8
			Б	90	20	17,1	11	1,8			10,6	–	0,12			4,8
8	I	9С1Б Свб	С	120	176	41,7	27	24,1	II	0,8	242,5	–	2,02	4,5	0	1,9
			Б	90	32	35	24	3,5			21,4	–	0,24			2,5
15 км от черты города																
9	I	8С2С+Б Свб	С	130	218	27	40	26,3	III	1,0	240,1	–	1,85	20,6	0	2,7
			С	90	54	23	26	6,6			60,0	–	0,46			2,3
			Б	85	20	31,4	18	1,8			8,8	–	0,10			
10	I	10С+Б Трб	С	130	168	44,9	26,5	26,9	II	0,8	232,6	–	1,79	14,3	0	1,7
			Б	90	20	29,4	21,7	1,5			10,3	–	0,11			3,2
34 км от черты города																
11	I	10С+Б Свб	С	120	224	38,5	23,9	26,0	III	0,7	236,6	–	1,97	5,4	0,5	2,1
			Б	70	8	26	19,3	0,5			2,08	–	0,03			3,6
12	I	10С+Б Трб	С	120	252	42,3	27	35,5	II	1,1	380,4	0,3	3,17	17,2	0	1,9
			Б	80	80	28,2	21,3	5,0			36,5	0,7	0,46			3,4
Примечание. Выделены значения комплексного оценочного показателя (КОП), выходящие за рамки оптимальных для насаждений данного класса возраста.																

Т а б л и ц а 2

**Результаты корреляционного анализа таксационных показателей
и КОП древостоев в пригородных лесах Барнаула**

**Correlation analysis results of forest inventory values and complex estimates
of tree stands in the suburban forests of the City of Barnaul**

Параметры	Возраст	Густота	Средний диаметр ствола	Средняя высота	Сумма площадей сечения	Бонитет	Полнота	Запас древесины (сырой)	Запас древесины (сухой)	Средний прирост	Комплексный оценочный показатель
Возраст	1,0	0,3	0,7	0,6	0,6	−0,1	−0,1	0,6	−0,1	0,6	−0,1
Густота	0,3	1,0	0,1	0,3	0,8	0,2	0,1	0,7	0,7	0,7	0,3
Средний диаметр ствола	0,7	0,1	1,0	0,6	0,5	−0,3	−0,1	0,5	−0,1	0,5	−0,2
Средняя высота	0,6	0,3	0,6	1,0	0,6	−0,1	0,1	0,6	0,1	0,5	−0,1
Сумма площадей сечения	0,6	0,8	0,5	0,6	1,0	−0,1	0,1	0,9	0,3	0,9	0,2
Бонитет	−0,1	0,2	−0,3	−0,1	−0,1	1,0	0,3	−0,2	0,2	−0,1	0,2
Полнота	−0,1	0,1	−0,1	0,1	0,1	0,3	1,0	0,1	0,2	0,1	0,2
Запас древесины (сырой)	0,6	0,7	0,5	0,6	0,9	−0,2	0,1	1,0	0,3	0,9	0,1
Запас древесины (сухой)	−0,1	0,7	−0,1	0,1	0,3	0,2	0,2	0,3	1,0	0,4	0,6
Средний прирост	0,6	0,7	0,5	0,5	0,9	−0,1	0,1	0,9	0,4	1,0	0,2
Комплексный оценочный показатель	−0,1	0,3	−0,2	−0,1	0,2	0,2	0,2	0,1	0,6	0,2	1,0

Примечание. Выделены значения, достоверные на 5%-м уровне значимости.

Данные по КОП, рассчитанные для исследуемых древостоев (см. табл. 1), свидетельствуют, о том, что значение КОП в сосняках варьирует от 1,91 до 4,64 см/см², что для некоторых древостоев на исследуемых ППП является превышением оптимальных значений для данного класса возраста древостоя (2...3 см/см²) и указывает на снижение биологической устойчивости исследуемых сосняков. Комплексный оценочный показатель, рассчитанный по березе, свидетельствует также о снижении устойчивости, однако ввиду незначительной доли участия этой породы в общем составе древостоя, оценка устойчивости насаждения только по этой породе не представляется возможной.

Кроме того, нами был проведен корреляционный анализ между таксационными показателями и КОП древостоев (табл. 2).

Была установлена достоверная на 5%-м уровне значимости связь между КОП и наличием сухостойных деревьев. Таким образом, совместная оценка устойчивости насаждения по КОП и наличию сухостоя может дать пред-

варительную картину устойчивости изучаемых древостоев.

Подрост главной лесообразующей породы в пригородных лесах гораздо сильнее, чем древостой подвержен воздействию рекреационного и других антропогенных факторов, особенно вблизи черты города. Количественные и качественные характеристики подраста сосны в обследуемых сосновых насаждениях представлены в табл. 3.

По мере удаления от города в составе подраста увеличивается доля сосны, что особенно характерно для типа леса Трб, в котором он неустойчив вследствие рекреации и задернения живым напочвенным покровом (ЖНП). Состав подраста в большинстве насаждений не совпадает с составом древостоя, что объясняется более высокой ценотической позицией лиственных пород (березы, осины) на этапе всходов, самосева и подраста. Наиболее устойчив к рекреационной нагрузке подрост сосны в типе леса Свб — обследованные участки имеют густоту от 4291 до 13 425 шт./га, которая заметно

Т а б л и ц а 3

Характеристика подроста под пологом сосновых насаждений**Characteristics of undergrowth under the canopy of pine plantations**

№ ППП	Тип леса	Состав подроста	Подрост сосны			
			Густота, шт./га	Встречаемость, %	Средняя продолжительность жизни хвои, лет	Индекс жизненного состояния, %
1	Трб	6Ос3С1Б	658	20,0	3,9	69,3
2	Свб	6С3Б1Ос	4291	70,0	3,4	63,5
3	Трб	5Ос3Б2С	83	3,3	3,6	70,0
4	Свб	8С2Б	6759	76,7	4,2	85,3
5	Свб	9С1Б+Ос	10992	100	4,0	88,2
6	Трб	—	0	0	—	—
7	Трб	10Б	0	0	—	—
8	Свб	9С1Б	5633	66,7	3,9	71,3
9	Свб	8С2Б+Ос	12541	93,3	3,8	84,1
10	Трб	5С3Б2Ос	2167	26,7	3,9	97,2
11	Свб	7С2Б1Ос	13425	93,3	3,6	93,7
12	Трб	7С3Ос+Б	1967	40,7	4,4	86,1

увеличивается по мере удаления от города. Тип леса Трб в ленточных борах Западной Сибири изначально отличается неравномерным возобновлением сосны [24], а вблизи города подроста крайне мало либо не существует. Густота подроста сосны в Трб 83...2167 шт./га. В насаждении он распределен неравномерно, причиной этого, по нашим наблюдениям, прежде всего является конкуренция со стороны ЖНП и подлеска, а также фактор рекреации. Встречаемость подроста сосны более высокая и стабильная в типе леса Свб, даже в пределах зоны интенсивной антропогенной деятельности (0...15 км), поскольку в этом типе леса возобновление происходит успешнее. Тип леса Трб, напротив, характеризуется неравномерной и низкой встречаемостью подроста сосны, особенно в зоне интенсивного антропогенного воздействия. Средняя продолжительность жизни хвои у подроста сосны в типе леса Свб 3,4...4,2 лет, в типе леса Трб — 3,6...4,4 лет и обусловлена не только рекреацией, но и типом лесорастительных условий, влиянием полога древостоя и подлеска.

Согласно подходу, разработанному В.А. Алексеевым [24], ценопопуляция подроста считается здоровой, если значения индекса жизненного состояния находятся в интервале 80...100 %, ослабленной — 50...79 %, сильно ослабленной 20...49 %, полностью разрушенной — менее 20 %. Жизненное состояние ценопопуляции подроста сосны на отдельных участках оценивается как ослабленное (ППП № 1–3, 8), на остальных — здоровое. Ослабленное жизненное состояние подроста сосны непосредственно вблизи города

(0...4 км) связано с активной рекреацией, которая приводит к механическому вытаптыванию, повреждению, увеличению доли ослабленных и усыхающих экземпляров в пологе возобновления. Участки, более удаленные от города (7...15 км и более), подвержены в основном так называемой тихой рекреации, при которой в естественном возобновлении сосны преобладают здоровые экземпляры самосева и подроста.

Внедрение синантропных видов в состав подлеска и напочвенного покрова приводит к их трансформации, ослабляя насаждение в целом. Этот процесс носит выраженный характер вблизи города (табл. 4).

В отличие от древостоя и подроста, в которых нет «пришлых» видов растений, состав подлеска и ЖНП в пригородных сосновых насаждениях г. Барнаула увеличивается за счет заноса синантропных растений. В составе синантропных видов растений нами, как и авторами [31, 32], выделены две группы: апофиты — местные виды, характерные для антропогенных местообитаний (пустыри, поля, обочины дорог и пр.); антропофиты — адвентивные виды растений, занесенные намеренно или случайно из других регионов. Общий список по итогам сезона вегетации 2023 г. включает в себя 165 видов высших сосудистых растений. Из этого количества нами зафиксированы 39 синантропных видов растений на обследованных участках лесных насаждений в пригороде г. Барнаула: в подлеске — 14 видов (все антропофиты (адвентивные)), в ЖНП — 25 видов (5 антропофитов (адвентивных), 20 апофитов).

Т а б л и ц а 4

**Число синантропных видов растений в подлеске и живом напочвенном покрове
сосновых насаждений**

Number of synanthropic plant species in the undergrowth and forest live cover of pine plantations

№ ППП	Тип леса	Подлесок		ЖНП		Примесь синантропных видов растений в насаждении, %
		Общее число видов, шт.	Число синантропных видов, шт.	Общее число видов, шт.	Число синантропных видов, шт.	
1	Трб	21	10	85	14	22,0
2	Свб	19	3	57	14	21,5
3	Трб	15	2	67	11	15,3
4	Свб	11	3	44	6	15,8
5	Свб	13	4	48	3	10,9
6	Трб	16	4	54	8	16,4
7	Трб	14	2	59	9	14,5
8	Свб	9	2	57	5	10,1
9	Свб	9	3	48	0	5,0
10	Трб	13	3	50	1	6,3
11	Свб	9	1	50	1	3,2
12	Трб	11	1	50	1	3,1

В составе подлеска лесных насаждений обнаружены такие адвентивные растения, как клен ясенелистный, яблоня ягодная, ясень пенсильванский, ирга ольхолистная, липа сердцелистная и др. Эти растения намеренно или случайно занесены в сосновый лесной массив вблизи г. Барнаула и находятся на разных стадиях натурализации, конкурируя с аборигенными видами подлеска — рябиной сибирской, караганой древовидной, ивой козьею, черемухой обыкновенной и др. В сосновых насаждениях в зоне интенсивной антропогенной деятельности (0...15 км) ЖНП содержит в своем составе апофитные виды растений: подорожник средний, лопух войлочный, чистотел большой, икотник седой, бодяк щетинистый и др. В травянистых и травяно-кустарничковых сообществах нами обнаружены антропофитные (адвентивные) виды растений: конопля посевная, гречишка выюнкковая, мелколепестник канадский, подмаренник мягкий, трехреберник непахучий.

Наряду с синантропными видами лесные растительные сообщества «обогащаются» видами растений нелесной экологии — луговыми, лугово-степными. Подлесок и напочвенный покров расположены в нижней части лесного насаждения и именно они первыми подвергаются рекреационной нагрузке и другим формам хозяйственной деятельности. Антропогенная трансформация подлеска и напочвенного покрова носит выраженный характер в зоне интенсивной хозяйственной деятельности (0...15 км от города). Пригородный лесной мас-

сив вблизи г. Барнаула со всех сторон окружен населенными пунктами, садоводствами, через него проходят многочисленные транспортные пути, линии электропередач, которые являются источниками и путями заноса нелесных синантропных видов растений (см. рис. 1). Наиболее интенсивно этот процесс выражен в типе леса Трб, где общее число видов заметно увеличено за счет более благоприятных лесорастительных условий. Наиболее агрессивен древесный вид-трансформер клен ясенелистный, который на отдельных участках образует сплошной густой подлесок, прерывая возобновление сосны и ослабляя насаждения в целом [33, 34]. Индекс синантропизации всей флоры изученных нами участков пригородных лесов г. Барнаула достигает 23,6 %, что означает умеренную степень антропогенной трансформации. Полученные нами данные согласуются с данными Д.В. Золотова [31], который при изучении флоры бассейна р. Барнаулки отметил, что доля синантропной группы видов во всей флоре составляет 22,5 %, а в флористическом микрорайоне Черемновский, который непосредственно примыкает к г. Барнаулу, достигает 25,1 %.

Для комплексной оценки структурной устойчивости были выбраны ключевые показатели, определяющие степень антропогенной устойчивости лесных насаждений в пригородных лесах г. Барнаула (табл. 5).

По нашему мнению, правомерно применить по отношению к лесным насаждениям, расположенным на урбанизированных территориях (городские, пригородные леса) понятие

Т а б л и ц а 5

**Комплексная суммарная оценка (шкала) антропогенной устойчивости
сосновых насаждений в пригородных лесах г. Барнаула**

**Integrated total assessment (scale) of anthropogenic sustainability of pine plantations
in suburban forests of Barnaul city**

Показатели, определяющие степень антропогенной устойчивости насаждений	Значение показателя		
	Оценка 3 балла	Оценка 2 балла	Оценка 1 балл
Категория санитарного состояния древостоев	1–1,5	1,51–2,5	>2,5
Текущий отпад деревьев, %	До 10	11–30	>30
Степень патологического отпада деревьев, %	<5	6–40	>40
Продолжительность жизни хвои подроста главной породы, лет	4–6	3–4	1–3
Густота подроста главной породы, тыс. шт./га	5–10	1–5	<1
Встречаемость (равномерность распределения) подроста главной породы, %	60–100	40–60	<40
Примесь синантропных видов растений в насаждении, %	0–10	10–15	>15
Суммарная оценка показателей, баллы	17–24	9–16	До 8
Класс антропогенной устойчивости сосновых насаждений	Высокий	Средний	Низкий

Т а б л и ц а 6

**Антропогенная структурная устойчивость
сосновых насаждений
в пригородных лесах г. Барнаула**

**Anthropogenic structural sustainability of pine forest
stands in suburban forests of the City of Barnaul**

№ ППП	Тип леса	Расстояние от г. Барнаула, км	Сумма баллов по шкале устойчивости	Класс антропогенной устойчивости
1	Трб	0	13	Средний
2	Свб		16	«←»
3	Трб	4	12	«←»
4	Свб		17	Высокий
5	Свб	7	18	«←»
6	Трб		13	Средний
7	Трб	11	14	«←»
8	Свб		19	Высокий
9	Свб	15	18	«←»
10	Трб		15	Средний
11	Свб	34	21	Высокий
12	Трб		17	«←»

«антропогенная устойчивость» по аналогии, например, с газоустойчивостью древесных растений [35] или пожароустойчивостью лесных насаждений [36]. С учетом того, что пригородные леса испытывают комплексное влияние от рекреации, загрязнения, пожаров, рубок, заноса нелесных видов и др., точно определить действие отдельного фактора не представляется

возможным. Термин «биологическая устойчивость» не отражает всей специфики урбанизированных территорий по отношению к лесу и, по нашему мнению, более применим в ненарушенных или малонарушенных лесных массивах. Кроме того, понятие «биологическая устойчивость насаждений» часто понимается очень узко, подразумевая санитарное состояние древостоев и состоянием лесной среды, что находит отражение в действующих нормативах [37]. Предложенная нами интегральная комплексная оценка (шкала) антропогенной устойчивости не является универсальной и разработана применительно к сосновым насаждениям Барнаульского ленточного бора, которые имеют собственную зонально-типологическую специфику. При необходимости ее можно расширить и дополнить другими показателями из числа таких значимых компонентов лесного насаждения, как лесной опад, лесная подстилка и почва.

Каждый из выбранных показателей имеет свой диапазон значений, выражаемых в баллах. По сумме баллов определяется класс антропогенной устойчивости соснового насаждения. Изученные нами участки пригородных лесов, расположенные на разном удалении от г. Барнаула, имеют средний и высокий класс антропогенной устойчивости (табл. 6).

Тип леса оказывает непосредственное влияние на антропогенную структурную устойчивость сосновых насаждений в пригородных лесах г. Барнаула. Все насаждения в типе леса Трб

имеют средний класс антропогенной структурной устойчивости в пределах зоны интенсивной антропогенной деятельности (0...15 км), кроме участка, расположенного за пределами этой зоны (34 км). Тип леса Свб заметно более устойчив, несмотря на большую рекреационную привлекательность и посещаемость. Сформированный во влажных лесорастительных условиях тип леса Трб с точки зрения экологии представляет собой более благоприятную экологическую нишу для внедрения синантропных и нелесных видов растений. Это приводит к активным процессам антропогенной трансформации, прерывает и без того неустойчивый процесс естественного возобновления главной породы. В пределах лесного массива вблизи г. Барнаула уже есть участки, где клен ясенелистный вытеснил сосну и выступает в роли преобладающей породы. Его повсеместное распространение на данном этапе сдерживает мозаичность лесорастительных условий, где влажные условия чередуются со свежими и сухими, долговечность и высокую экологическую пластичность сосны обыкновенной.

Выводы

Антропогенная структурная устойчивость сосновых насаждений в пригородных лесах г. Барнаула определяется группой показателей, оказывающих влияние как на отдельные компоненты, так и на насаждение в целом. Среди наиболее значимых показателей, определяющих состояние древостоев следует выделить средневзвешенную категорию санитарного состояния, величину текущего и патологического отпада. Устойчивость подроста под пологом насаждений обеспечивается продолжительностью жизни хвой, густотой и встречаемостью. Подлесок и живой напочвенный покров в пригородных лесах подвержены процессу антропогенной трансформации, т. е. примеси синантропных видов растений.

С учетом низкой и умеренной степени рекреации (I–II стадии дигрессии) сосновые насаждения в пригороде г. Барнаула имеют средний и высокий класс антропогенной устойчивости. Однако деятельность человека стала причиной заноса и распространения опасного для лесных насаждений вида — клена ясенелистного, который вытесняет сосну во влажных лесорастительных условиях. В древостоях без своевременного ухода происходит накопление ослабленных и больных деревьев. Без разработки комплекса лесохозяйственных мероприятий, зонирования и благоустройства лесного фонда на основе текущего состояния насаждений

структурная устойчивость пригородных лесов г. Барнаула будет снижаться.

Работа выполнена в рамках гранта РНФ на тему «Влияние гидротермического режима почв на устойчивость сосновых насаждений в условиях техногенного загрязнения» (соглашение № 23-26-00198 от 25.01.2023 г.).

Список литературы

- [1] Морозов Г.Ф. Избранные труды. В 3 т. М.: Изд-во Почвенного института им. В.В. Докучаева, 1994. Т. 2. 372 с.
- [2] Коротков С.А., Стоноженко Л.В., Киселева В.В., Глазунов Ю.Б. Влияние экологических и социально-экономических факторов на формирование лесов Подмосквы // Проблемы экологического мониторинга и моделирования экосистем, 2020. Т. 31. № 1–2. С. 90–115.
- [3] Рожков А.А., Козак В.Т. Устойчивость лесов. М.: Агропромиздат, 1989. 238 с.
- [4] Скрипальщикова Л.Н., Татаринцев В.И., Зубарева О.Н., Перевозникова В.Д., Стасова В.В., Грешилова Н.В. Экологическое состояние пригородных лесов Красноярска. Новосибирск: Гео, 2009. 179 с.
- [5] Кузнецов В.А., Рыжова И.М., Стома Г.В. Изменение лесных экосистем мегаполиса под влиянием рекреационного воздействия // Почвоведение, 2019. № 5. С. 633–642. <https://doi.org/10.1134/S0032180X1905006X>
- [6] Шихова Н.С. Комплексная оценка состояния лесов зеленой зоны Владивостока // Лесоведение, 2015. № 6. С. 436–446.
- [7] Стороженко В.Г. Эволюционные принципы устойчивости лесных сообществ // Сибирский лесной журнал, 2020. № 4. С. 87–96.
- [8] Полякова Г.А., Попович С.А., Шабанова Н.П., Меланхолин П.Н. Эксперимент по восстановлению напочвенного покрова нарушенных лесов Подмосквы // Лесоведение, 2016. № 2. С. 115–126.
- [9] Данченко А.М., Данченко М.А., Мясников А.Г. Современное состояние городских лесов и их использование (на примере г. Томска) // Вестник Томского государственного университета. Биология, 2010. № 4. С. 90–104.
- [10] Gundersen V., Vistad O.I. Public opinions and use of various types of recreational infrastructure in boreal forest settings // Forests, 2016, v. 7, no. 6, p. 113. <https://doi.org/10.3390/f7060113>
- [11] Multifunctionality in practice: measuring differences in urban woodland ecosystem properties via functional traits / F. Cardou, I. Aubin, B. Shipley [et al.] // Urban Forestry & Urban Greening, 2022, v. 68, p. 127453. <https://doi.org/10.1016/j.ufug.2021.127453>
- [12] Kotze D., Setälä H. Urbanisation Differently Affects Decomposition Rates of Recalcitrant Woody Material and Labile Leaf Litter // Urban Ecosystems, 2022, no. 25, pp. 65–74. <https://doi.org/10.1007/s11252-021-01125-3>
- [13] Referowska-Chodak E. Pressures and threats to nature related to human activities in european urban and suburban forests // Forests, 2019, v. 10, no. 9, p. 765. <https://doi.org/10.3390/f10090765>

- [14] Heringer G., Bianco Faria L., Araújo A.U. Urbanization Affects the Richness of Invasive Alien Trees But Has Limited Influence on Species Composition // *Urban Ecosystems*, 2022, v. 3, pp. 753–763. <https://doi:10.1007/s11252-021-01189-1>
- [15] Рысин С.Л., Новоселов В.В., Федяева А.М. Рекреационный потенциал лесопарковых насаждений на территории ГБС РАН (г. Москва) // *Актуальные проблемы лесного комплекса*, 2020. № 56. С. 186–190.
- [16] Рысин Л.П., Рысин С.Л. Урболесоведение. М.: Товарищество научных изданий КМК, 2012. 240 с.
- [17] Мозолевская Е.Г., Куликова Е.Г. Устойчивое развитие городского лесного хозяйства // *Лесной вестник*, 1998. № 2. С. 59–70.
- [18] Милютин Л.И., Скрипальщикова Л.Н. Проблемы и перспективы техногенного лесоводства // *Сибирский лесной журнал*, 2020. № 6. С. 81–85.
- [19] Лесохозяйственный регламент Барнаульского лесничества Алтайского края. Барнаул, 2021. 129 с. URL: <https://docs.cntd.ru/document/550190366> (дата обращения 14.04.2024).
- [20] Ярмишко В.Т., Лянгузова И.В. Методы изучения лесных сообществ. СПб.: Изд-во НИИХимии СПбГУ, 2002. 240 с.
- [21] Бунькова Н.П., Залесов С.В., Зотеева Е.А., Магасумова А.Г. Основы фитомониторинга. Екатеринбург: Изд-во УГЛТУ, 2011. 88 с.
- [22] Данчева А.В., Залесов С.В., Попов А.С. Лесной экологический мониторинг. Екатеринбург: Изд-во УГЛТУ, 2023. 146 с.
- [23] Постановление Правительства РФ от 9 декабря 2020 г. № 2047 «Об утверждении Правил санитарной безопасности в лесах». URL: <https://docs.cntd.ru/document/573053313> (дата обращения 14.04.2024).
- [24] Алексеев В.А. Некоторые вопросы диагностики и классификации поврежденных загрязнением лесных экосистем // *Лесные экосистемы и атмосферное загрязнение*. Л.: Наука, 1990. С. 38–54.
- [25] Горчаковский П.Л. Антропогенные изменения растительности: мониторинг, оценка, прогнозирование // *Экология*, 1984. № 5. С. 3–16.
- [26] ОСТ 56-100-95 Методы и единицы измерения рекреационных нагрузок на лесные природные комплексы. URL: <https://docs.cntd.ru/document/471826617> (дата обращения 14.04.2024).
- [27] Бабошкина С.В., Горбачев А.В., Пузанов И.В. Тяжелые металлы в природных и техногенных ландшафтах Алтая // *Природа*, 2007. № 3. С. 60–65.
- [28] Бугаев В.А., Косарев Н.Г. Лесное хозяйство ленточных боров Алтайского края. Барнаул: Алтайское кн. изд-во, 1988. 312 с.
- [29] Густова А.И., Терехина Д.К. Оценка гидрофизических характеристик древесины для обоснования лесоводственных уходов в защитном лесоразведении // *Аграрный вестник Урала*, 2007 № 5 (41). С. 55–59.
- [30] Шульга В.Д. Устойчивость защитных лесных насаждений степных ландшафтов: автореф. дис. ... д-ра с.-х. наук. Волгоград, 2002. 48 с.
- [31] Золотов Д.В. Сравнительный эколого-ценотический анализ элементарных региональных флор бассейна реки Барнаулки (Алтайский край) // *Проблемы ботаники Южной Сибири и Монголии: Материалы V Междунар. науч.-практ. конф.*, Барнаул, 28–30 октября 2013 г. Барнаул: АзБука, 2006. С. 92–96.
- [32] Силантьева М.М. Конспект флоры Алтайского края. Барнаул: Изд-во Алт. ун-та, 2013. 520 с.
- [33] Черная Книга флоры Сибири. Новосибирск: Гео, 2016. 440 с.
- [34] Малиновских А.А. Влияние клена ясенелистного (*Acer negundo* L.) на естественное возобновление сосны обыкновенной в Барнаульском ленточном бору // *Лесной вестник / Forestry Bulletin*, 2023. Т. 27. № 3. С. 48–56. DOI: 10.18698/2542-1468-2023-3-48-56
- [35] Мелехов И.С. Лесоведение. М.: Лесн. пром-сть, 1980. 408 с.
- [36] Фуряев В.В., Заблочкий В.И., Черных В.А. Пожароустойчивость сосновых лесов. Новосибирск: Наука, 2005. 160 с.
- [37] «Основные положения по лесоустройству национальных природных парков России» от 7.07.1993 г. // *Лесное законодательство Российской Федерации. Сборник нормативных правовых актов*. М.: ПАИМС, 1998. 576 с.

Сведения об авторах

Малиновских Алексей Анатольевич✉ — канд. биол. наук, доцент, ФГБОУ ВО «Алтайский государственный аграрный университет», almaa1976@yandex.ru

Чичкарев Александр Сергеевич — ассистент, ФГБОУ ВО «Алтайский государственный аграрный университет», chichkarev94@mail.ru

Поступила в редакцию 18.04.2024.

Одобрено после рецензирования 25.11.2024.

Принята к публикации 10.04.2025.

ANTHROPOGENIC SUSTAINABILITY OF PINE PLANTATIONS IN BARNAUL CITY SUBURBAN FORESTS

A.A. Malinovskikh✉, A.S. Chichkarev

Altai State Agricultural University, 98, Krasnoarmeyskiy av., 656049, Altai reg., Barnaul, Russia

almaa1976@yandex.ru

The research findings of the current state of pine stands in the suburban forests of the City of Barnaul, which are a part of the Barnaul ribbon pine forest, are discussed. Based on the field data obtained on permanent trial plots located at different distances from the city boundaries, the current state of the main components of the plantings is described, namely a forest stand, undergrowth, understory, and ground vegetation. In the samples of soil, wood and pine needles, the content of heavy metals has the regional background values; the leading anthropogenic factor in the green zone of the City of Barnaul is recreation, rather than technogenic pollution. It has been found that pine stands of different ages have a weakened state throughout the entire forest stand, mainly due to the lack of timely cleaning cuttings and selection cuttings. Pine undergrowth near the city boundaries is weakened by recreation; in some areas it is absent due to suppression by ash-leaved maple (*Acer negundo* L.) undergrowth. The proportion of synanthropic plant species in the undergrowth and ground vegetation increases when approaching the city limits. Based on the key indices of the planting, an original scale has been compiled according to which the pine forests of the green zone of the City of Barnaul have a medium and high class of anthropogenic structural sustainability.

Keywords: forest sustainability, pine stands, tree stand, undergrowth, understory, forest live cover, technogenic pollution, recreational degradation

Suggested citation: Malinovskikh A.A., Chichkarev A.S. *Antropogennaya ustoychivost' sosnovykh nasazhdeniy v prigorodnykh lesakh g. Barnaula* [Anthropogenic sustainability of pine plantations in Barnaul City suburban forests]. *Lesnoy vestnik / Forestry Bulletin*, 2025, vol. 29, no. 3, pp. 52–64. DOI: 10.18698/2542-1468-2025-3-52-64

References

- [1] Morozov G.F. *Izbrannye trudy. V 3 t.* [Selected papers in 3 v.]. Moscow: Soil Institute named after V.V. Dokuchaev, 1994, v. II, 372 p.
- [2] Korotkov S.A., Stonozhenko L.V., Kiseleva V.V., Glazunov Yu.B. *Vliyaniye ekologicheskikh i sotsial'no-ekonomicheskikh faktorov na formirovaniye lesov Podmoskov'ya* [The influence of environmental and socio-economic factors on the formation of forests in the Moscow region]. *Problemy ekologicheskogo monitoringa i modelirovaniya ekosistem* [Problems of environmental monitoring and ecosystem modeling], 2020, v. 31, no. 1–2, pp. 90–115.
- [3] Rozhkov A.A., Kozak V.T. *Ustoychivost' lesov* [Forest stability]. Moscow: Agropromizdat, 1989, 238 p.
- [4] Skripal'shchikova L.N., Tatarintsev V.I., Zubareva O.N., Perevostnikova V.D., Stasova V.V., Greshilova N.V. *Ekologicheskoe sostoyaniye prigorodnykh lesov Krasnoyarska* [Ecological state of suburban forests of Krasnoyarsk]. Novosibirsk: Geo, 2009, 179 p.
- [5] Kuznetsov V.A., Ryzhova I.M., Stoma G.V. *Izmeneniye lesnykh ekosistem megapolisa pod vliyaniem rekreatsionnogo vozdeystviya* [Changes in forest ecosystems of the metropolis under recreational influence]. *Soil Science*, 2019, no. 5, pp. 633–642. <https://doi.org/10.1134/S0032180X1905006X>
- [6] Shikhova N.S. *Kompleksnaya otsenka sostoyaniya lesov zelenoy zony Vladivostoka* [Comprehensive assessment of the state of forests in the green zone of Vladivostok]. *Lesovedeniye*, 2015, no. 6, pp. 436–446.
- [7] Storozhenko V.G. *Evolutsionnye printsipy ustoychivosti lesnykh soobshchestv* [Evolutionary principles of stability of forest communities]. *Siberian Forest J.*, 2020, no. 4, pp. 87–96.
- [8] Polyakova G.A., Popovich S.A., Shabanova N.P., Melankholin P.N. *Eksperiment po vosstanovleniyu napochvennogo pokrova narushennykh lesov Podmoskov'ya* [Experiment to restore the ground cover of disturbed forests in the Moscow region]. *Lesovedeniye*, 2016, no. 2, pp. 115–126.
- [9] Danchenko A.M., Danchenko M.A., Myasnikov A.G. *Sovremennoe sostoyaniye gorodskikh lesov i ikh ispol'zovanie (na primere g. Tomsk)* [Current state of urban forests and their use (case study of the City of Tomsk)]. *Bulletin of Tomsk State University. Biology*, 2010, no. 4, pp. 90–104.
- [10] Gundersen V., Vistad O.I. Public opinions and use of various types of recreational infrastructure in boreal forest settings. *Forests*, 2016, v. 7, no. 6, p. 113. <https://doi.org/10.3390/f7060113>
- [11] Cardou F., Aubin I., Shipley B. Multifunctionality in practice: measuring differences in urban woodland ecosystem properties via functional traits. *Urban Forestry & Urban Greening*, 2022, v. 68, p. 127453. <https://doi.org/10.1016/j.ufug.2021.127453>
- [12] Kotze D., Setälä H. Urbanisation Differently Affects Decomposition Rates of Recalcitrant Woody Material and Labile Leaf Litter. *Urban Ecosystems*, 2022, no. 25, pp. 65–74. <https://doi.org/10.1007/s11252-021-01125-3>
- [13] Referowska-Chodak E. Pressures and threats to nature related to human activities in european urban and suburban forests. *Forests*, 2019, v. 10, no. 9, p. 765. <https://doi.org/10.3390/f10090765>

- [14] Heringer G., Bianco Faria L., Araújo A.U. Urbanization Affects the Richness of Invasive Alien Trees But Has Limited Influence on Species Composition. *Urban Ecosystems*, 2022, v. 3, pp. 753–763. <https://doi.org/10.1007/s11252-021-01189-1>
- [15] Korotkov S.A., Stonozhenko L.V., Kiseleva V.V., Glazunov Yu.B. *Vliyaniye ekologicheskikh i sotsial'no-ekonomicheskikh faktorov na formirovaniye lesov Podmoskov'ya* [Recreational potential of forest park plantings on the territory of the Main Botanical Garden of the Russian Academy of Sciences (Moscow)]. *Problemy ekologicheskogo monitoringa i modelirovaniya ekosistem* [Actual problems of the forest complex], 2020, no. 56, pp. 186–190.
- [16] Rysin L.P., Rysin S.L. *Urbolesovedeniye* [Urban studies]. Moscow: Tovarishestvo nauchnykh izdaniy KMK, 2012, 240 p.
- [17] Mozolevskaya E.G., Kulikova E.G. Ustoychivoe razvitiye gorodskogo lesnogo khozyaystva [Sustainable development of urban forestry]. *Lesnoy vestnik* [Forestry Bulletin], 1998, no. 2, pp. 59–70.
- [18] Milyutin L.I., Skripal'shchikova L.N. *Problemy i perspektivy tekhnogennogo lesovodstva* [Problems and prospects of technogenic forestry]. *Sibirskiy lesnoy zhurnal* [Siberian Forest Journal], 2020, no. 6, pp. 81–85.
- [19] *Lesokhozyaystvennyy reglament Barnaul'skogo lesnichestva Altayskogo kraya* [Forestry regulations of the Barnaul forestry of the Altai Region]. Barnaul, 2021, 129 p.
- [20] Yarmishko V.T., Lyanguzova I.V. *Metody izucheniya lesnykh soobshchestv* [Methods for studying forest communities]. St. Petersburg: NIIKhimii SPbGU, 2002, 240 p.
- [21] Bun'kova N.P., Zalesov S.V., Zoteeva E.A., Magasumova A.G. *Osnovy fitomonitoringa* [Fundamentals of phytomonitoring]. Ekaterinburg: UGLTU, 2011, 88 p.
- [22] Dancheva A.V., Bunkova N.P., Zalesov S.V., Zoteeva E.A., Magasumova A.G. *Lesnoy ekologicheskiy monitoring* [Forest environmental monitoring]. Ekaterinburg: UGLTU, 2011, 88 p.
- [23] *Postanovleniye Pravitel'stva RF ot 9 dekabrya 2020 g. № 2047 «Ob utverzhdenii Pravil sanitarnoy bezopasnosti v lesakh»* [Decree of the Government of the Russian Federation dated December 9, 2020 No. 2047 «On approval of the Rules of sanitary safety in forests»]. Available at: <https://docs.cntd.ru/document/573053313> (accessed 04.14.2024).
- [24] Alekseev V.A. *Nekotorye voprosy diagnostiki i klassifikatsii povrezhdennykh zagryazneniem lesnykh ekosistem* [Some issues of diagnostics and classification of forest ecosystems damaged by pollution]. *Forest ecosystems and atmospheric pollution*. Leningrad: Nauka, 1990, pp. 38–54.
- [25] Gorchakovskiy P.L. *Antropogennyye izmeneniya rastitel'nosti: monitoring, otsenka, prognozirovaniye* [Anthropogenic changes in vegetation: monitoring, assessment, forecasting]. *Ekologiya* [Ecology], 1984, no. 5, pp. 3–16.
- [26] *OST 56-100-95 Metody i edinitsy izmereniya rekreatsionnykh nagruzok na lesnye prirodnye komplekсы* [Methods and units of measurement of recreational loads on forest natural complexes]. Available at: <https://docs.cntd.ru/document/471826617> (accessed 04.14.2024).
- [27] Baboshkina S.V., Gorbachev A.V., Puzanov I.V. *Tyazhelye metally v prirodnykh i tekhnogennykh landshaftakh Altaya* [Heavy metals in natural and technogenic landscapes of Altai]. *Priroda* [Nature], 2007, no. 3, pp. 60–65.
- [28] Bugaev V.A., Kosarev N.G. *Lesnoe khozyaystvo lentochnykh borov Altayskogo kraya* [Forestry of ribbon pine forests of the Altai Region]. Barnaul: Alt. knizhnoye izd-vo, 1988, 312 p.
- [29] Gustova A.I., Terekhina D.K. *Otsenka gidrofizicheskikh kharakteristik drevesiny dlya obosnovaniya lesovodstvennykh ukhodov v zashchitnom lesorazvedenii* [Assessment of hydrophysical characteristics of wood to justify silvicultural management in protective afforestation]. *Agrarnyy vestnik Urala* [Agrarian Bulletin of the Urals], 2007, no. 5 (41), pp. 55–59.
- [30] Shul'ga V.D. *Ustoychivost' zashchitnykh lesnykh nasazhdeniy stepnykh landshaftov* [Stability of protective forest plantings of steppe landscapes]: abstract Dr. Sci. (Agric.). Volgograd, 2002, 48 p.
- [31] Zolotov D.V. *Sravnitel'nyy ekologo-tsenoticheskiy analiz elementarnykh regional'nykh flor basseyna reki Barnaulki (Altayskiy kray)* [Comparative ecological and cenotic analysis of elementary regional floras of the Barnaul River basin (Altai Territory)]. *Problemy botaniki Yuzhnoy Sibiri i Mongolii: Mater. V Mezhdunar. nauch.-prakt. konf.* [Problems of botany of Southern Siberia and Mongolia: Mater. V International Scientific and Practical Conference]. Barnaul: AzBuka, 2006, pp. 92–96.
- [32] Silant'eva M.M. *Konspekt flory Altayskogo kraya* [Synopsis of the flora of the Altai Territory]. Barnaul: Izd-vo Alt. un-ta, 2013, 520 p.
- [33] *Chernaya kniga flory Sibiri* [The Black Book of the Flora of Siberia]. Ed. Yu.K. Vinogradov, A.N. Kupriyanov. Novosibirsk: Geo, 2016, 440 p.
- [34] Malinovskikh A.A. *Vliyaniye klena yasenelistnogo (Acer negundo L.) na estestvennoye vozobnovleniye sosny obyknovnoy v Barnaul'skom lentochnom boru* [Influence of ash-leaved maple (Acer negundo L.) on scots pine natural renewal in Barnaul ribbon pine forest]. *Lesnoy vestnik / Forestry Bulletin*, 2023, vol. 27, no. 3, pp. 48–56. DOI: 10.18698/2542-1468-2023-3-48-56
- [35] Melekhov I.S. *Lesovedeniye* [Forestry]. Moscow: Lesnaya prom-st' [Forest industry], 1980, 408 p.
- [36] Furyaev V.V., Zablotskiy V.I., Chernykh V.A. *Pozharoustoychivost' sosnovykh lesov* [Fire resistance of pine forests]. Novosibirsk: Nauka, 2005, 160 p.
- [37] *Osnovnyye polozheniya po lesoustroystvu natsional'nykh prirodnykh parkov Rossii ot 7.07.1993 g.* [Basic provisions on forest management of national natural parks of Russia dated 07.07.1993]. *Lesnoe zakonodatel'stvo Rossiyskoy Federatsii. Sbornik normativnykh pravovykh aktov.* [Forest legislation of the Russian Federation. Collection of normative legal acts.]. Moscow: PAIMS, 1998, 576 p.

The research was carried out within the framework of a grant from the Russian Science Foundation on the topic «The influence of the hydrothermal regime of soils on the stability of pine plantations under conditions of technogenic pollution» (agreement No. 23-26-00198 dated January 25, 2023).

Authors' information

Malinovskikh Aleksey Anatol'evich✉ — Cand. Sci. (Biology), Associate Professor, Altai State Agricultural University, docent, almaa1976@yandex.ru

Chichkarev Aleksandr Sergeevich — Assistant, Altai State Agricultural University, chichkarev94@mail.ru

Received 18.04.2024.

Approved after review 25.11.2024.

Accepted for publication 10.04.2025.

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

СЕЗОННАЯ ИЗМЕНЧИВОСТЬ ЛИСТЬЕВ БЕРЕЗЫ ПОВИСЛОЙ (*BETULA PENDULA* ROTH) В УСЛОВИЯХ ПРОМЫШЛЕННОГО ЗАГРЯЗНЕНИЯ ОКРУЖАЮЩЕЙ СРЕДЫ (УФИМСКИЙ ПРОМЫШЛЕННЫЙ ЦЕНТР, РЕСПУБЛИКА БАШКОРТОСТАН)

О.В. Тагирова✉, А.Ю. Кулагин

Уфимский Институт биологии — обособленное структурное подразделение Федерального государственного бюджетного научного учреждения Уфимского федерального исследовательского центра Российской академии наук (УИБ УФИЦ РАН), Россия, 450054, г. Уфа, Проспект Октября, д. 69

olecyi@mail.ru

Представлены результаты исследований состояния насаждений березы повислой (*Betula pendula* Roth) на территории Уфимского промышленного центра. Цель исследования — охарактеризовать сезонную изменчивость листьев березы среднелистной и мелколистной форм, произрастающих в условиях преобладающего нефтехимического загрязнения окружающей среды Уфимского промышленного центра. Относительное жизненное состояние насаждений в промышленной зоне и в рекреационно-ландшафтной зоне характеризуется как «здоровое». Использован интегральный показатель стабильности развития листьев березы. Применен новый методический подход, при котором исследования проводились на маркированных деревьях березы на маркированных листьях в период с июня по сентябрь 2022 г. Установлено, что по величине интегрального показателя стабильности развития насаждения (июнь — сентябрь) на территории промышленной зоны насаждения березы повислой соответствуют 5 баллам шкалы и показателю «критическое значение», а на территории рекреационно-ландшафтной зоны состояние насаждений соответствует 3 баллам, что обычно наблюдается в «загрязненных районах». Впервые выявлены морфологические отклонения в развитии листьев березы в течение вегетационного периода в промышленной зоне, и в рекреационно-ландшафтной зоне Уфимского промышленного центра. Анализ морфологических изменений листовых пластинок березы в течение вегетационного сезона свидетельствует об индивидуальной траектории сезонного развития отдельных листьев как у среднелистной формы, так и у мелколистной формы. При этом изменения отдельных параметров листа в сезонной динамике согласуются с физиологической активностью и адаптивными реакциями листьев на загрязнение окружающей среды — в наибольшей степени повреждаются вершина и периферийная часть листа. При обосновании лесохозяйственных мероприятий в городских условиях целесообразно осуществлять оценку состояния отдельных деревьев и насаждений с учетом экологической видоспецифичности, изменчивости и устойчивости березы повислой.

Ключевые слова: *Betula pendula* Roth, морфологическая изменчивость листьев, интегральный показатель, промышленное загрязнение

Ссылка для цитирования: Тагирова О.В., Кулагин А.Ю. Сезонная изменчивость листьев березы повислой (*Betula pendula* Roth) в условиях промышленного загрязнения окружающей среды (Уфимский промышленный центр, Республика Башкортостан) // Лесной вестник / Forestry Bulletin, 2025. Т. 29. № 3. С. 65–91. DOI: 10.18698/2542-1468-2025-3-65-91

Успешное развитие живых организмов, находящихся в различных условиях обитания, связывают с координацией структурно-функциональных комплексов. Распространено мнение о том, что симметричность структур выступает показателем нормального роста и развития. Однако следует отметить, что факты морфологической и функциональной асимметричности у животных — расположение сердца, активность полушарий головного мозга и пр. — и растений — строение цветов и соцветий, форма листовой пластинки, фототропизм и пр. — являются

идентификационными признаками и согласуются с их успешным существованием в различных экологических условиях [1–6].

Известно, что листья различных видов рода Береза (*Betula* L.) характеризуются высокой степенью изменчивости [7, 8]. Изучены вопросы изменчивости вегетативных органов и эколого-биологические особенности берез [9–17], их внутривидовой изменчивости в географических культурах [18], географической и экологической изменчивости других древесных растений [19]. У листьев растений билатеральная симметрия встречается редко. По мнению авторов работ [20, 21], флуктуирующая асимме-

трия листьев березы повислой (*Betula pendula* Roth) как показатель отклонения от идеальной билатеральной симметрии может быть обусловлена различными экологическими факторами окружающей среды, а также фенотипическими и генотипическими отклонениями, происходящими в ходе их развития.

В работе [22] рассмотрена пригодность показателя флуктуирующей асимметрии для популяционных исследований, разработана система морфологических признаков (промеров листа) и применение статистических показателей для оценки стабильности развития березы повислой. В работе [23] показано нарушение стабильности развития при естественных неблагоприятных воздействиях (затененность) и при антропогенных воздействиях (химические загрязнения, воздействия радиации). Для оценки стабильности развития листьев по морфологическим признакам в работе [24] разработано методическое руководство как один из подходов к оценке качества окружающей среды. В работе [25] предложен онтогенетический подход при оценке стабильности развития, основанный на особенностях популяционной биологии развития, позволяющий выявлять изменения до появления явных признаков угнетенного состояния живого организма.

Практический интерес представляет применение показателей флуктуирующей асимметрии листьев при характеристике адаптивных особенностей березы повислой в условиях загрязнения окружающей среды. Для условий с выраженным нефтехимическим загрязнением окружающей среды впервые показана многолетняя динамика изменения показателя флуктуирующей асимметрии на сети постоянных пробных площадей (14 пробных площадей) в период с 2012 по 2017 гг. Общая характеристика изменений значений интегрального показателя формирования листьев в пределах Уфимского промышленного центра (УПЦ) [26–29] свидетельствует об отсутствии закономерности в части приуроченности к местоположению и комплексу природно-климатических и техногенных условий [30].

В связи с изложенным были проведены исследования многолетней и сезонной динамики изменений структурно-функционального состояния листьев березы повислой в насаждениях в промышленной зоне вблизи нефтеперерабатывающих предприятий и в рекреационной зоне [26, 31]. С учетом таких эколого-биологических особенностей березы, как: засухоустойчивость, зимостойкость, олиготрофность, устойчивость к промышленным

загрязнителям, которые характерны для УПЦ, получены результаты по исследованию изменения относительного жизненного состояния модельных деревьев березы повислой в период с 2012 по 2022 гг. [32]. На примере маркированных деревьев березы повислой впервые были установлены сезонные изменения интегрального показателя стабильности развития листьев и их морфологической изменчивости как показателя адаптивности в условиях промышленного загрязнения окружающей среды [33, 34].

Цель работы

Цель работы — характеристика сезонной изменчивости листьев березы повислой (*Betula pendula* Roth) мелколистной и среднелистной форм, произрастающих в условиях преобладающего нефтехимического загрязнения окружающей среды Уфимского промышленного центра.

При проведении исследований внимание было сосредоточено на рассмотрении соотношения показателей относительного жизненного состояния насаждений березы повислой и величины интегрального показателя стабильности развития, а также особенностей морфологических изменений листьев березы мелколистной и среднелистной форм в течение вегетационного периода в непосредственной близости к зоне воздействия нефтеперерабатывающих предприятий и в рекреационной зоне с использованием методов описательной статистики.

Материалы и методы

Исследования проведены на территории Уфимского промышленного центра.

Ландшафт в пределах исследуемой территории представлен пологоволнистыми междуречными равнинами, покатыми и пологими склонами долин, сложенными песчаниками, мергелями, конгломератами, известняками уфимского яруса, с широколиственными лесами на серых и темно-серых лесных почвах. Растительность представлена луговыми степями, остепненными лугами с ковылем, типчаком в сочетании с липово-снытевыми и дубово-коротконожковыми лесами, пашнями на их месте на темно-серых лесных почвах и выщелоченных черноземах. Средняя годовая температура воздуха составляет 3,8 °С, среднее годовое количество осадков 418 мм. Преобладают ветры южного и юго-западного направлений [35].

В настоящей работе представлены результаты исследований, выполненных в течение вегетационного периода 2022 г.

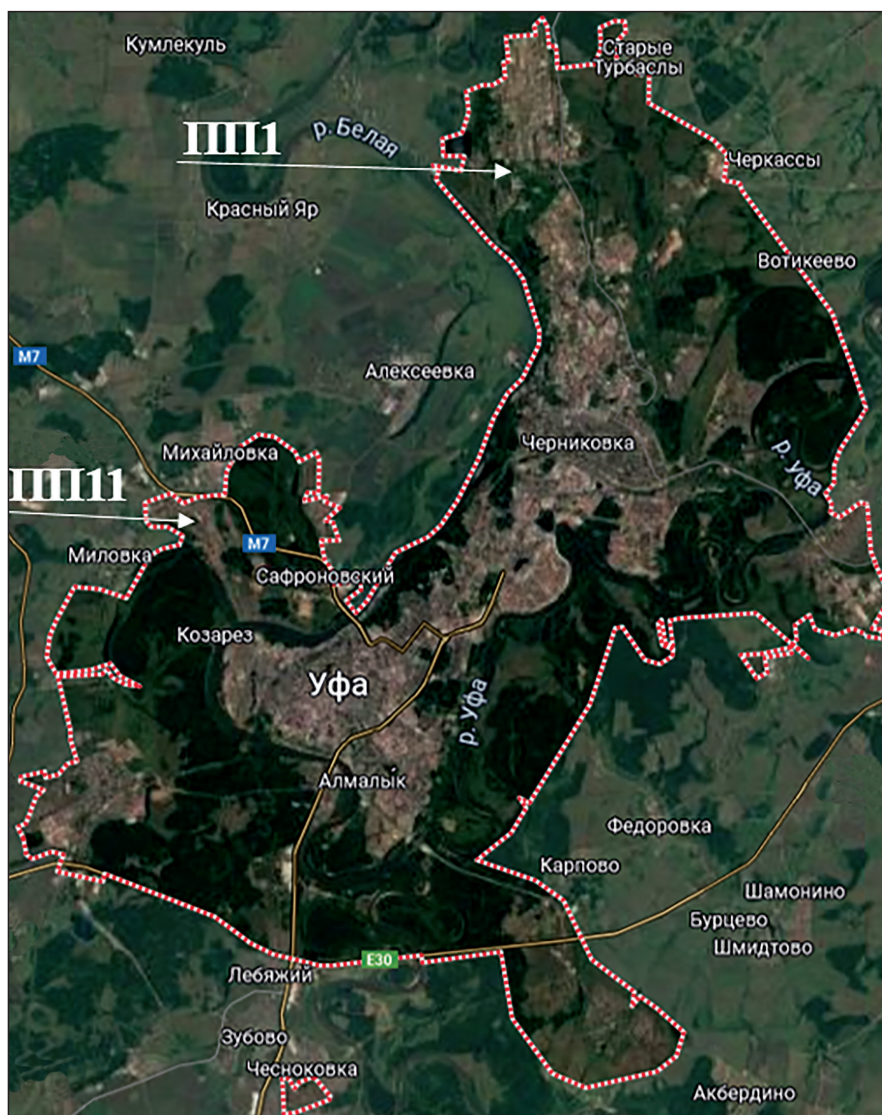


Рис. 1. Картосхема г. Уфы с размещением пробных площадей ПП-1 и ПП-11 [36]
Fig. 1. Map chart of Ufa with the location of sample areas ПП-1 and ПП-11 [36]

Пробная площадь 1 (ПП-1) расположена в северной части г. Уфы в 2...3 км от нефтеперерабатывающих предприятий — это промышленная зона; ПП-11 расположена в западной части г. Уфы на удалении 10...15 км от источников загрязнения — это селитебно-рекреационная зона (рис. 1).

Следует отметить, что в целом весь 2022 г. и вегетационный период характеризовались среднесезонными климатическими показателями (рис. 2, 3). Минимальная температура в 2022 г. для зимних месяцев была зафиксирована в январе и декабре и составила -31°C ; также в этот период наблюдались перепады температур с повышением до $+1^{\circ}\text{C}$. Максимальная температура в 2022 г. (см. рис. 2) была выявлена в период с июля по сентябрь и составила соответственно 32, 31, 32°C .

Постоянные ПП расположены на городской территории, на которой осуществляется благоустройство и проводятся лесохозяйственные мероприятия. Насаждения расположены в зоне воздействия нефтеперерабатывающих предприятий (ПП-1) и в селитебно-рекреационной зоне на территории парка «Волна» (ПП-11).

Таксационные характеристики древостоев выполнены стандартными методами [38, 39]. Определены высота деревьев (с помощью лазерного дальномера Nikon Laser Forestry Pro, Japan; точность до 0,1 м), диаметр ствола (на высоте 1,3 м от поверхности земли с помощью мерной вилки Haglof, Sweden; точность до 1 см), возраст (на высоте 0,4 м от поверхности земли с помощью приростного бурава Suunto, Finland отбирали керны с последующим подсчетом годичных колец на микроскопе МБС-1, Россия).

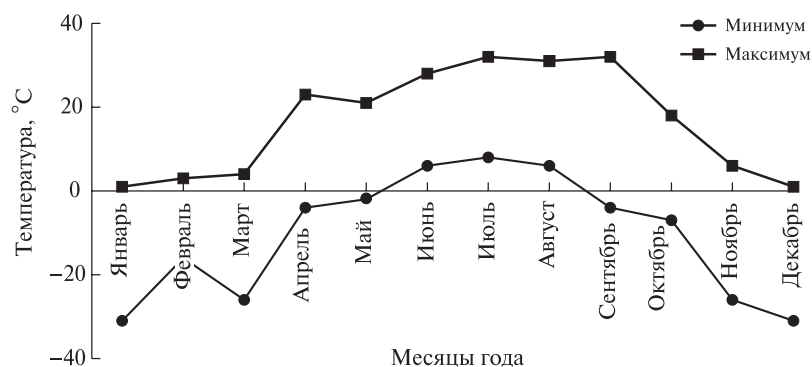


Рис. 2. Температурный режим 2022 г. [37]

Fig. 2. Temperature regime in 2022 [37]

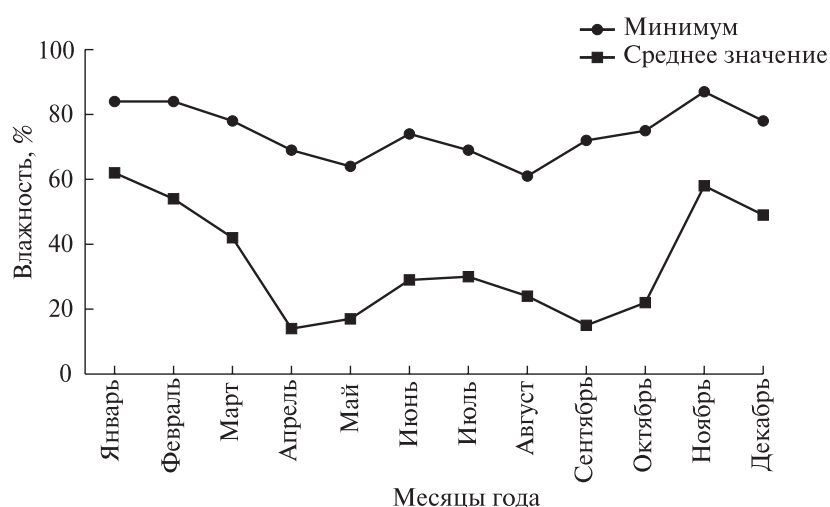


Рис. 3. Влажность воздуха в 2022 г. [37]

Fig. 3. Air humidity in 2022 [37]

По методу В.А. Алексеева [40] с дополнениями для лиственных древесных пород была проведена оценка относительного жизненного состояния (ОЖС) деревьев в 2010 г. и в 2022 г. [32, 33]. На фоне небольших изменений температурно-влажностного режима при снижении объемов поступлений промышленных выбросов в окружающую среду ОЖС насаждений березы на ПП-1 и ПП-11 изменилось от состояния «ослабленное» до состояния «здоровое».

В насаждениях березы повислой представлены деревья среднелистной и мелколистной форм. На ПП-1 и на ПП-11 были выявлены и промаркированы деревья березы повислой среднелистной и мелколистной форм. На каждом дереве в нижней части кроны в равных условиях распределения было выделено и пронумеровано по 10 листьев, растущих на брахибластах. В процессе наблюдений в течение июня — сентября некоторые из пронумерованных листьев были повреждены, либо утрачены (листопад).

При проведении работ был использован метод изучения морфологических признаков листьев, используемых для оценки стабильности развития растений, который позволяет получить интегральную оценку состояния организма на комплекс возможных воздействий, включая антропогенные факторы [24, 41–43].

Исследования проводились с июня по сентябрь (ежемесячно, в одни и те же сроки, из одной и той же части кроны с разных сторон — с севера, юга, запада, востока — с ветвей, равномерно расположенных на дереве), проводилось фотографирование (с помощью цифрового фотоаппарата Nikon D40) каждого пронумерованного листа.

На следующем этапе в камеральных условиях на компьютере проводили обработку фотографий листьев [26, 28, 29, 31, 44], выполняли замеры пяти показателей на левой и правой половине листа [24]. В дальнейшем результаты измерений обрабатывали и рассчитывали интегральный показатель стабильности развития листьев.

Величина асимметрии, как интегральный показатель стабильности развития листа рассчитывалась для комплекса признаков проявления асимметричности. При этом учитывался факт асимметрии, т. е. несходства значений признака на левой и правой половинах листа (рис. 4) [24]:

1-й признак — ширина левой и правой половин листа;

2-й признак — длина второй жилки второго порядка от основания листа;

3-й признак — расстояние между основаниями первой и второй жилок второго порядка;

4-й признак — расстояние между концами первой и второй жилок второго порядка;

5-й признак — угол между главной жилкой и второй от основания жилкой второго порядка.

В.М. Захаровым и др. [24] предложено использовать пятибалльную шкалу оценки отклонений состояния организма от условной нормы по величине интегрального показателя стабильности развития для березы повислой:

1 балл — $<0,040$ (условная норма);

2 балла — $0,040...0,044$ (слабое влияние неблагоприятных факторов);

3 балла — $0,045...0,049$ (в загрязненных районах);

4 балла — $0,050...0,054$ (в загрязненных районах);

5 баллов — $>0,054$ (критическое значение).

Полученные данные были обработаны с помощью описательной статистики и дисперсионного анализа (ANOVA), целью которого является сравнение средних значений выборок (групп). При проведении исследований к группам были отнесены величины интегрального показателя по одному из пяти признаков с июня по сентябрь по каждому из маркированных листьев на деревьях березы среднелистной формы и мелколистной формы в промышленной и селитебно-рекреационной зоне УПЦ.

При исследовании статистической значимости различия между несколькими группами, сравнивались выборочные дисперсии. Отметим, что к группам относятся величины интегрального показателя по одному из пяти признаков с июня по сентябрь по каждому из 10 листьев собранного с одного исследуемого дерева. Также отдельно анализировалась информация по каждому исследуемому дереву.

Численное выражение величины эффекта ANOVA определено с помощью «доли объясненной изменчивости»: R^2 — доля общей дисперсии (для данных, объединенных во всех группах), которая приходится на различия между средними значениями в группах. При этом сравнивается изменчивость средних значений в

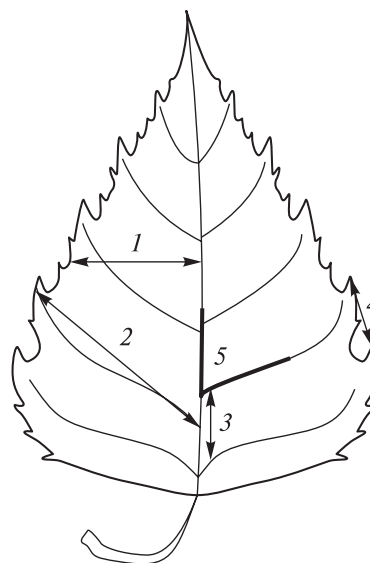


Рис. 4. Схема измерений морфологических признаков для оценки стабильности развития березы повислой (*Betula pendula* Roth) (1–5 — признаки асимметрии) [24]

Fig. 4. Scheme of morphological character measurements to assess the sustainability of birch (*Betula pendula* Roth) development (1–5 — asymmetry traits) [24]

группах с изменчивостью внутри групп. Большое значение означает, что значительная часть изменчивости обусловлена воздействием, определяющим группы.

$$R^2 = \frac{SS_B}{SS_T},$$

где SS_B — сумма квадратов между группами;

SS_T — общая сумма квадратов.

Эффект ANOVA может быть малым, средним и большим:

$R^2 = 0,01$ — маленький эффект;

$R^2 = 0,06$ — средний;

$R^2 = 0,14$ — большой.

F — значение измеряет различия между группами, т. е. отношение между средними значениями в группах и дисперсией внутри групп.

Если F -значение большое, то это указывает на статистически значимые различия между группами.

SS — сумма квадратов отклонений из-за каждого источника изменчивости;

df — число степеней свободы, сопоставленное с каждым источником;

MS — среднеквадратичное значение для каждого источника;

P — это вероятность того, что различия между группами были случайными и не связаны с фактором, который изучается.

Т а б л и ц а 1

Соотношение состояния насаждений березы повислой (*Betula pendula* Roth) и величины интегрального показателя стабильности ее развития на территории Уфимского промышленного центра (2022 г.)

Correlation between the state of birch (*Betula pendula* Roth) plantations and the value of the integral index of its development sustainability in the Ufa industrial centre (2022)

Номер пробной площади	Относительное жизненное состояние (Ln, %) (по Алексею В.А.) [40]	Величина асимметрии (по Захарову В.М. и др.) [24]
ПП-1 (промышленная зона)	82 здоровые	0,058 5 баллов — критическое значение
ПП-11 (селитебно-рекреационная зона)	91 здоровые	0,049 3 балла — средний уровень отклонения от нормы

Т а б л и ц а 2

Интегральный показатель стабильности развития листьев березы повислой (*Betula pendula* Roth) по пяти признакам в условиях Уфимского промышленного центра в 2022 г. у деревьев среднелистной и мелколистной форм

Integral index of leaf development sustainability of the birch (*Betula pendula* Roth) by five characteristics in the conditions of the Ufa industrial centre in 2022 for trees of medium-leaved and small-leaved forms

Период	Интегральный показатель							
	ПП-1				ПП-11			
	Среднелистная форма	Балл	Мелколиственная форма	Балл	Среднелистная форма	Балл	Мелколиственная форма	Балл
Июнь	0,059	5	0,050	4	0,052	4	0,047	3
Июль	0,046	3	0,053	4	0,052	4	0,049	3
Август	0,052	4	0,046	3	0,049	3	0,052	4
Сентябрь	0,079	5	0,050	4	0,053	4	0,061	5
Средний показатель	0,059	5	0,050	4	0,052	4	0,052	4

Если P -значение меньше выбранного уровня значимости (обычно 0,05), то можно отбросить нулевую гипотезу и утверждать, что между группами есть статистически значимые различия и они не случайны.

Параметрический критерий Бартлетта — статистический критерий, который позволил в данной работе определить однородность дисперсии зависимой переменной по пяти признакам. Переменные связаны корреляционной связью ($P < 0,05$). Однородность дисперсии дает возможность установить статистически значимые различия между средними значениями зависимой переменной в разных группах.

SDs — стандартное отклонение.

При обработке фактических материалов использованы апробированные методы исследований: методы изучения лесных сообществ [39], методы изучения флуктуирующей асимме-

трии [24]. Статистическую обработку результатов исследований выполняли в программах Microsoft Excel, Adobe Photoshop и GraphPad Prism [45].

Результаты и обсуждение

В течение вегетационного периода 2022 г. была проведена таксационная характеристика древостоев на ПП-1 и на ПП-11, а также оценено относительное жизненное состояние насаждений березы повислой [32] (табл. 1).

ПП-1 (промышленная зона). Формула древостоя 10Б. Средний диаметр ствола 25 см, средняя высота 22 м, средний возраст 55 лет. В условиях постоянного воздействия промышленных выбросов ОЖС березовых насаждений характеризуется как «здоровое». Густота кроны составляет 85...95 %. Наличие на стволе мерт-

вых сучьев 1...10 %. Степень повреждения листьев загрязнителями и насекомыми составляет 0...10 %. Суховершинность не выражена, фитопатологические повреждения незначительные.

ПП-11 (селитебно-рекреационная зона). Формула древостоя 10Б. Средний диаметр 26 см, средняя высота 24 м, средний возраст 58 лет. ОЖС насаждений — «здоровое». Густота кроны составляет 85...95 %. Наличие на стволе мертвых сучьев 1...5 %. Степень повреждения листьев составляет 0...10 %. Суховершинность не выражена, фитопатологические повреждения отсутствуют, энтомопоражения незначительные.

По показателям ОЖС насаждения березы повислой относятся к категории «здоровые». По величине интегрального показателя стабильности развития на ПП-1 насаждения березы повислой соответствует 5 баллам по шкале (показатель «критическое значение»), а на ПП-11 состояние насаждений соответствует 3 баллам по шкале («средний уровень отклонения»), что обычно наблюдается в загрязненных районах [24].

В результате проведенных исследований в зоне загрязнения (ПП-1) и в зоне относительного контроля (ПП-11) на основании расчетов были получены интегральные показатели в период вегетации (табл. 2).

На ПП-1 интегральный показатель стабильности развития насаждений березы повислой в течение вегетационного периода выше у дерева среднелистной формы — 5 баллов («критическое значение»), у дерева мелколистной формы — 4 балла (наблюдается в загрязненных районах, «средний уровень отклонения»). На ПП-11 интегральный показатель стабиль-

ности развития растений в течение вегетационного периода как у деревьев среднелистной формы, так и у деревьев мелколистной формы березы соответствует 4 баллам (наблюдается в загрязненных районах, «средний уровень отклонения») (см. табл. 2).

Показаны изменения в листьях березы в течение вегетационного периода [29]. Интегральный показатель стабильности развития листьев (среднелистная и мелколистная формы деревьев) рассчитывали по пяти признакам [31] (рис. 5–14). Полученные данные были статистически обработаны с помощью описательной статистики (табл. 3, 5, 7, 9, 11, 13, 15, 17, 19, 21) и дисперсионного анализа (ANOVA), использованного для сравнения средних значений выборок (табл. 4, 6, 8, 10, 12, 14, 16, 18, 20, 22). При проведении теста Бартлетта, определяли однородность дисперсии зависимой переменной по пяти признакам.

Экспериментальные исследования в промышленной зоне УПЦ

Каждый лист характеризуется индивидуальной траекторией развития и в течение вегетационного периода не прослеживаются закономерности в динамике изменений интегрального показателя стабильности развития листьев.

1-й признак — ширина левой и правой половин листа. Интегральный показатель стабильности развития листьев березы повислой в промышленной зоне за июнь — сентябрь по 1-му признаку не позволяет установить закономерности формирования морфологической структуры листа (рис. 5).

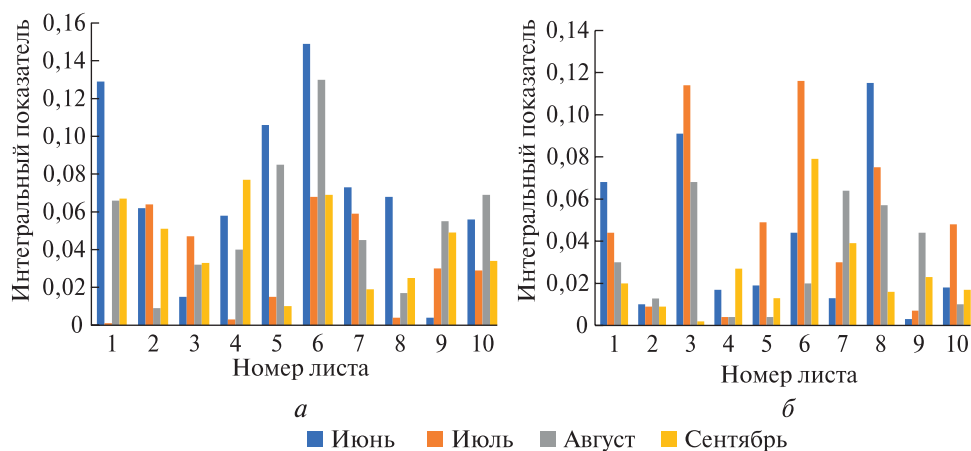


Рис. 5. Интегральный показатель стабильности развития листьев березы повислой (*Betula pendula* Roth) в промышленной зоне (за июнь — сентябрь 2022 г.) по 1-му признаку: а — среднелистная форма дерева; б — мелколистная форма дерева

Fig. 5. Integral index of leaf development sustainability of birch (*Betula pendula* Roth) in the industrial zone (for June — September 2022) according to the 1st trait: а — medium-leaved tree form; б — small-leaved tree form

Т а б л и ц а 3

Описательная статистика развития листьев березы повислой (*Betula pendula* Roth) по 1-му признаку (июнь — сентябрь 2022 г., промышленная зона)

Descriptive statistics of leaf development of birch (*Betula pendula* Roth) by 1 trait (June — September 2022, industrial zone)

Показатель	Июнь		Июль		Август		Сентябрь	
	Средне-листная форма	Мелко-листная форма	Средне-листная форма	Мелко-листная форма	Средне-листная форма	Мелко-листная форма	Средне-листная форма	Мелко-листная форма
Количество значений	10	10	10	10	10	10	10	10
Минимальное значение	0,004	0,003	0,001	0,004	0,009	0,004	0,01	0,002
Максимальное значение	0,149	0,115	0,068	0,116	0,13	0,068	0,077	0,079
Стандартное отклонение	0,04568	0,0387	0,02617	0,04105	0,03536	0,02506	0,02279	0,02164
Стандартная ошибка среднего значения	0,01444	0,01224	0,008274	0,01298	0,01118	0,007926	0,007208	0,006845
Коэффициент вариации, %	63,44	97,23	81,77	82,75	64,53	79,87	52,52	88,35

Т а б л и ц а 4

Дисперсионный анализ ANOVA развития листьев березы повислой (*Betula pendula* Roth) по 1-му признаку (июнь — сентябрь 2022 г., промышленная зона)

ANOVA analysis of variance of leaf development of birch (*Betula pendula* Roth) for the 1st trait (June — September 2022, industrial zone)

Вариация признака	Сумма квадратов SS	Число степеней свободы df	Среднеквадратичное значение MS	P-значение	F-значение	Доля общей дисперсии R ²	Разница между средними значениями (P < 0,05)
Среднелистная форма							
Между группами	0,008734	3	0,002911	0,0698	2,564	0,1761	Нет
Внутри групп	0,04087	36	0,001135	—	—	—	—
Итого	0,0496	39	—	—	—	—	—
Мелколистная форма							
Между группами	0,003526	3	0,001175	0,3623	1,099	0,08388	Нет
Внутри групп	0,03851	36	0,00107	—	—	—	—
Итого	0,04204	39	—	—	—	—	—

Повышенные значения коэффициента вариации свидетельствуют о высокой изменчивости характеристик по отношению к среднему показателю выборки (табл. 3). Совокупность неоднородная. При проведении дисперсионного анализа (табл. 4) по 1-му признаку «доля объясненной изменчивости» R^2 у среднелистной формы дерева можно отнести к категории «большой эффект», а у мелколистной формы дерева — к категории «средний эффект».

Для проверки равенства дисперсий был использован тест Бартлетта, как статистический критерий, который позволяет проверить равенство дисперсий нескольких выборок:

— среднелистная форма дерева: статистическое значение по тесту Бартлетта 5,007; P -зна-

чение 0,1713; по стандартному отклонению SDs ($P < 0,05$) достоверных различий нет;

— мелколистная форма дерева: статистическое значение по тесту Бартлетта 4,88; P -значение 0,1808; по стандартному отклонению SDs ($P < 0,05$) достоверных различий нет.

2-й признак — длина жилки второго порядка от основания листа. Интегральный показатель стабильности развития листьев березы в промышленной зоне за июнь — сентябрь по 2-му признаку свидетельствует о неравномерности развития отдельных листьев и не позволяет установить закономерности формирования морфологической структуры листа (рис. 6).

Коэффициент вариации более 100 % может быть при наличии значений, существенно отли-

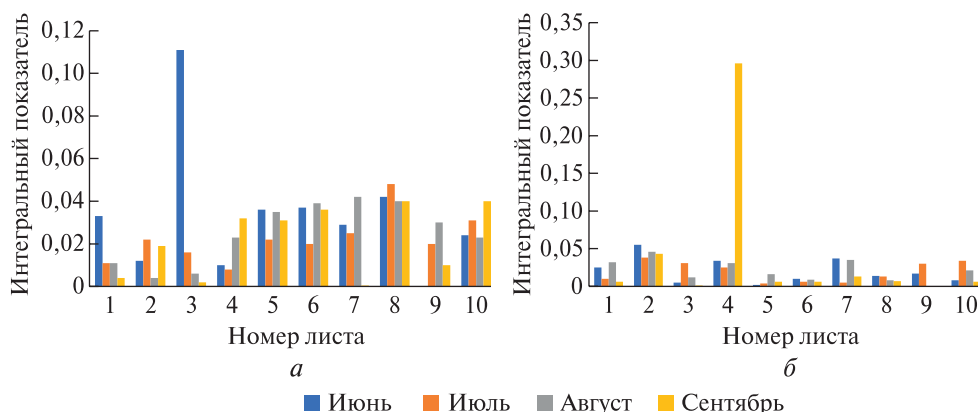


Рис. 6. Интегральный показатель стабильности развития листьев березы повислой (*Betula pendula* Roth) в промышленной зоне (за июнь — сентябрь 2022 г.) по 2-му признаку: *а* — среднелистная форма дерева; *б* — мелколистная форма дерева

Fig. 6. Integral index of leaf development sustainability of birch (*Betula pendula* Roth) in the industrial zone (June — September 2022) for the 2nd trait: *a* — medium-leaved tree form; *b* — small-leaved tree form

Т а б л и ц а 5

Описательная статистика развития листьев березы повислой (*Betula pendula* Roth) по 2-му признаку (июнь — сентябрь 2022 г., промышленная зона)

Descriptive statistics of birch (*Betula pendula* Roth) leaf development for the 2nd trait (June — September 2022, industrial zone)

Показатель	Июнь		Июль		Август		Сентябрь	
	Средне-листная форма	Мелко-листная форма	Средне-листная форма	Мелко-листная форма	Средне-листная форма	Мелко-листная форма	Средне-листная форма	Мелко-листная форма
Количество значений	10	10	10	10	10	9	10	9
Минимальное значение	0,0001	0,002	0,008	0,004	0,004	0,008	0,0004	0,001
Максимальное значение	0,111	0,055	0,048	0,038	0,042	0,046	0,04	0,296
Стандартное отклонение	0,03044	0,01689	0,01119	0,01329	0,0143	0,01329	0,01621	0,09581
Стандартная ошибка среднего значения	0,009625	0,005342	0,003537	0,004204	0,004522	0,004428	0,005127	0,03194
Коэффициент вариации, %	91,10	81,60	50,16	67,82	56,52	56,94	75,62	224,6

чающихся от средней величины. Такой результат свидетельствует о том, что в исследуемой совокупности сильна вариация признаков по отношению к средней величине (табл. 5).

По высокому *F*-значению (табл. 6) видно, что различия между группами статистически значимые.

При проведении дисперсионного анализа (см. табл. 6) по 2-му признаку «доля объясненной изменчивости» R^2 у среднелистной формы дерева можно отнести к категории «средний эффект», а у мелколистной формы дерева — к категории «маленький эффект».

По тесту Бартлетта:

— среднелистная форма дерева: статистическое значение по тесту Бартлетта 10,37; *P*-зна-

чение 0,0157; по стандартному отклонению *SDs* ($P < 0,05^*$) различия достоверны;

— мелколистная форма дерева: статистическое значение по тесту Бартлетта 49,27; *P*-значение $< 0,0001$; по стандартному отклонению *SDs* ($P < 0,05^{***}$) различия достоверны.

3-й признак — расстояние между основаниями первой и второй жилок второго порядка листа. Интегральный показатель стабильности развития листьев березы в промышленной зоне за июнь — сентябрь по 3-му признаку свидетельствует о неравномерности развития отдельных листьев и о формировании групп листьев по степени выраженности изменчивости интегрального показателя (рис. 7).

Т а б л и ц а 6

Дисперсионный анализ ANOVA развития листьев березы повислой (*Betula pendula* Roth) по 2-му признаку (июнь — сентябрь 2022 г., промышленная зона)

ANOVA analysis of variance of birch (*Betula pendula* Roth) leaf development for the 2nd trait (June — September 2022, industrial zone)

Вариация признака	Сумма квадратов <i>SS</i>	Число степеней свободы <i>df</i>	Среднеквадратичное значение <i>MS</i>	<i>P</i> -значение	<i>F</i> -значение	Доля общей дисперсии <i>R</i> ²	Разница между средними значениями (<i>P</i> < 0,05)
Среднелистная форма							
Между группами	0,0008928	3	0,000298	0,5108	0,7838	0,06131	Нет
Внутри групп	0,01367	36	0,00038	—	—	—	—
Итого	0,01456	39	—	—	—	—	—
Мелколистная форма							
Между группами	0,003252	3	0,001084	0,7076	0,4665	0,03953	Нет
Внутри групп	0,07901	34	0,002324	—	—	—	—
Итого	0,08227	37	—	—	—	—	—

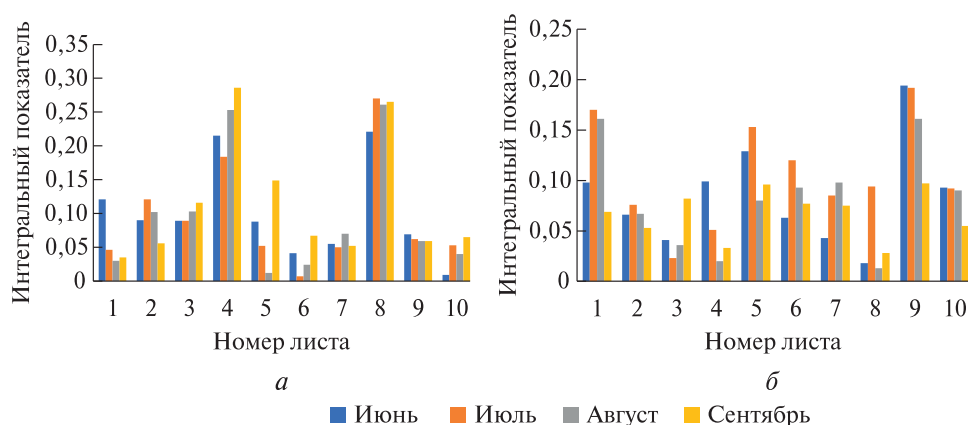


Рис. 7. Интегральный показатель стабильности развития листьев березы повислой (*Betula pendula* Roth) в промышленной зоне (за июнь — сентябрь 2022 г.) по 3-му признаку: *a* — среднелистная форма дерева; *б* — мелколистная форма дерева

Fig. 7. Integral index of leaf development sustainability of birch (*Betula pendula* Roth) in the industrial zone (for June — September 2022) according to the 3rd trait: *a* — medium-leaved tree form; *б* — small-leaved tree form

Коэффициент вариации по 3-му признаку менее 100 %. Это свидетельствует о том, что в исследуемой совокупности слабая вариация признаков по отношению к средней величине (табл. 7).

При проведении дисперсионного анализа (табл. 8) по 3-му признаку «доля объясненной изменчивости» R^2 у среднелистной формы дерева можно отнести к категории «маленький эффект», а у мелколистной формы дерева — к категории «средний эффект».

По тесту Бартлетта:

— среднелистная форма дерева: статистическое значение по тесту Бартлетта 0,8237; P -значение 0,8438; по стандартному отклонению SDs ($P < 0,05$) достоверных различий нет;

— мелколистная форма дерева: статистическое значение по тесту Бартлетта 5,794; P -значение 0,1221; по стандартному отклонению SDs ($P < 0,05$) достоверных различий нет.

4-й признак — расстояние между концами первой и второй жилок второго порядка листа. Интегральный показатель стабильности развития листьев среднелистной формы и мелколистной формы березы в промышленной зоне за июнь — сентябрь по 4-му признаку свидетельствует о неравномерности развития отдельных листьев (рис. 8). Коэффициент вариации значений более 100 % свидетельствует о том, что в исследуемой совокупности сильна вариация признаков по отношению к средней величине (табл. 9).

Т а б л и ц а 7

Описательная статистика развития листьев березы повислой (*Betula pendula* Roth) по 3-му признаку (июнь — сентябрь 2022 г., промышленная зона)

Descriptive statistics of leaf development of birch (*Betula pendula* Roth) according to the 3rd trait (June — September 2022, industrial zone)

Показатель	Июнь		Июль		Август		Сентябрь	
	Средне-листная форма	Мелко-листная форма	Средне-листная форма	Мелко-листная форма	Средне-листная форма	Мелко-листная форма	Средне-листная форма	Мелко-листная форма
Количество значений	10	10	10	10	10	10	10	10
Минимальное значение	0,009	0,018	0,007	0,023	0,012	0,013	0,035	0,028
Максимальное значение	0,221	0,194	0,27	0,192	0,261	0,161	0,286	0,097
Стандартное отклонение	0,06946	0,05086	0,07895	0,05322	0,09051	0,0515	0,0911	0,02392
Стандартная ошибка среднего значения	0,02196	0,01608	0,02497	0,01683	0,02862	0,01629	0,02881	0,007563
Коэффициент вариации, %	69,60	60,26	84,53	50,40	94,88	62,89	79,21	35,97

Т а б л и ц а 8

Дисперсионный анализ ANOVA развития листьев березы повислой (*Betula pendula* Roth) по 3-му признаку (июнь — сентябрь 2022 г., промышленная зона)

ANOVA analysis of variance of birch (*Betula pendula* Roth) leaf development for the 3rd trait (June — September 2022, industrial zone)

Вариация признака	Сумма квадратов <i>SS</i>	Число степеней свободы <i>df</i>	Среднеквадратичное значение <i>MS</i>	<i>P</i> -значение	<i>F</i> -значение	Доля общей дисперсии <i>R</i> ²	Разница между средними значениями (<i>P</i> < 0,05)
Среднелистная форма							
Между группами	0,002865	3	0,000955	0,9362	0,1387	0,01142	Нет
Внутри групп	0,2479	36	0,006887	—	—	—	—
Итого	0,2508	39	—	—	—	—	—
Мелколистная форма							
Между группами	0,007759	3	0,002586	0,3247	1,197	0,0907	Нет
Внутри групп	0,07779	36	0,002161	—	—	—	—
Итого	0,08555	39	—	—	—	—	—

При проведении дисперсионного анализа (табл. 10) по 4-му признаку «доля объясненной изменчивости» R^2 у среднелистной формы дерева можно отнести к категории «большой эффект», а у мелколистной формы дерева — к категории «маленький эффект».

По тесту Бартлетта:

– среднелистная форма дерева: статистическое значение по тесту Бартлетта 50,24; P -значение < 0,0001; по стандартному отклонению SD_s (P < 0,05****) различия достоверны;

– мелколистная форма дерева: статистическое значение по тесту Бартлетта 0,7247; P -значение 0,8674; по стандартному отклонению SD_s (P < 0,05) достоверных различий нет.

5-й признак — угол между главной жилкой и второй жилкой второго порядка от основания листа. Интегральный показатель стабильности развития листьев среднелистной формы и мелколистной формы березы в промышленной зоне за июнь — сентябрь по 5-му признаку свидетельствует о неравномерности развития отдельных листьев (рис. 9).

Коэффициент вариации значений менее 100 % свидетельствует о том, что в исследуемой совокупности слабая вариация признаков по отношению к средней величине (табл. 11).

При проведении дисперсионного анализа (табл. 12) по 5-му признаку «доля объясненной изменчивости» R^2 у среднелистной формы

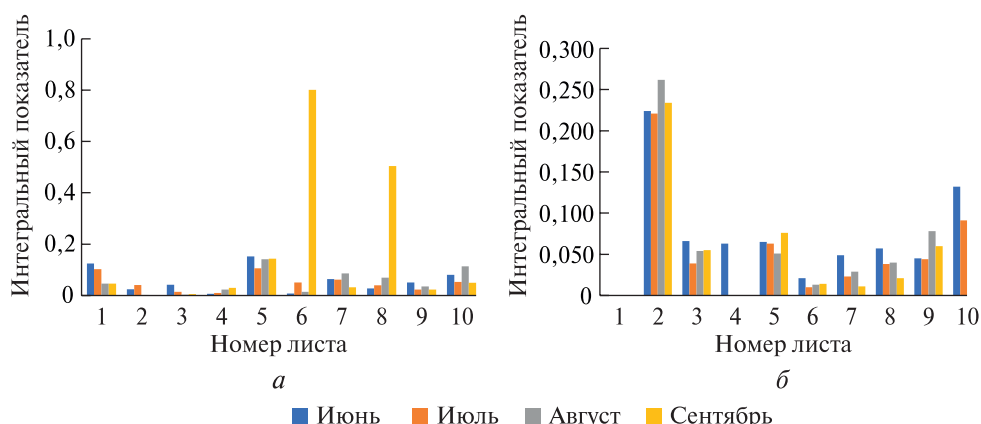


Рис. 8. Интегральный показатель стабильности развития листьев березы повислой (*Betula pendula* Roth) в промышленной зоне (за июнь — сентябрь 2022 г.) по 4-му признаку: *a* — среднелистная форма дерева; *б* — мелколистная форма дерева

Fig. 8. Integral index of leaf development sustainability of birch (*Betula pendula* Roth) in the industrial zone (for June — September 2022) by 4 traits: *a* — medium-leaved tree form; *б* — small-leaved tree form

Т а б л и ц а 9

Описательная статистика развития листьев березы повислой (*Betula pendula* Roth) по 4-му признаку (июнь — сентябрь 2022 г., промышленная зона)

Descriptive statistics of leaf development of birch (*Betula pendula* Roth) according to the 4th trait (June — September 2022, industrial zone)

Показатель	Июнь		Июль		Август		Сентябрь	
	Средне-листная форма	Мелко-листная форма	Средне-листная форма	Мелко-листная форма	Средне-листная форма	Мелко-листная форма	Средне-листная форма	Мелко-листная форма
Количество значений	10	10	10	9	10	8	10	8
Минимальное значение	0,006	0,021	0,01	0,01	0,002	0,013	0,001	0,011
Максимальное значение	0,152	0,224	0,106	0,221	0,141	0,262	0,801	0,234
Стандартное отклонение	0,04897	0,05958	0,03299	0,06296	0,04782	0,07884	0,27	0,07198
Стандартная ошибка среднего значения	0,01549	0,01884	0,01043	0,02099	0,01512	0,02787	0,0854	0,02545
Коэффициент вариации, %	84,88	78,40	66,12	96,70	89,89	108,2	165,4	108,4

дерева можно отнести к категории «средний эффект», а у мелколистной формы дерева — к категории «большой эффект».

Сосредоточение наибольшей физиологической активности происходит в основании листа, что может быть адаптивной реакцией — в условиях техногенеза наблюдаются повреждения в форме «краевого эффекта», при котором страдают вершина и периферия листа [46, 47].

По тесту Бартлетта:

– среднелистная форма дерева: статистическое значение по тесту Бартлетта 0,4305; P -значение 0,9339; по стандартному отклонению SDs ($P < 0,05$) достоверных различий нет;

– мелколистная форма дерева: статистическое значение по тесту Бартлетта 6,515; P -зна-

чение 0,0891; по стандартному отклонению SDs ($P < 0,05$) достоверных различий нет.

Дисперсионный анализ ANOVA показал, что между средними значениями сравниваемых групп по пяти признакам различий нет.

Для проверки предположения о равных дисперсиях совокупностей выборок был использован статистический тест Брауна — Форсайта. Получен результат о значительном отличии стандартного отклонения ($P < 0,05^{**}$) по 5-му признаку (угол между главной жилкой и второй от основания жилкой второго порядка) на ПП-1 у мелколистной формы дерева.

Однако каждый лист характеризуется индивидуальным развитием, что проявляется как адаптивная реакция на условия произрастания.

Т а б л и ц а 10

Дисперсионный анализ ANOVA развития листьев березы повислой (*Betula pendula* Roth) по 4-му признаку (июнь — сентябрь 2022 г., промышленная зона)

ANOVA analysis of variance of leaf development of birch (*Betula pendula* Roth) for the 4th trait (June — September 2022, industrial zone)

Вариация признака	Сумма квадратов SS	Число степеней свободы df	Среднеквадратичное значение MS	P-значение	F-значение	Доля общей дисперсии R ²	Разница между средними значениями (P < 0,05)
Среднелистная форма							
Между группами	0,09056	3	0,03019	0,2223	1,534	0,1134	Нет
Внутри групп	0,7083	36	0,01968	—	—	—	—
Итого	0,7989	39	—	—	—	—	—
Мелколистная форма							
Между группами	0,000744	3	0,000248	0,9834	0,05356	0,005157	Нет
Внутри групп	0,1434	31	0,004627	—	—	—	—
Итого	0,1442	34	—	—	—	—	—

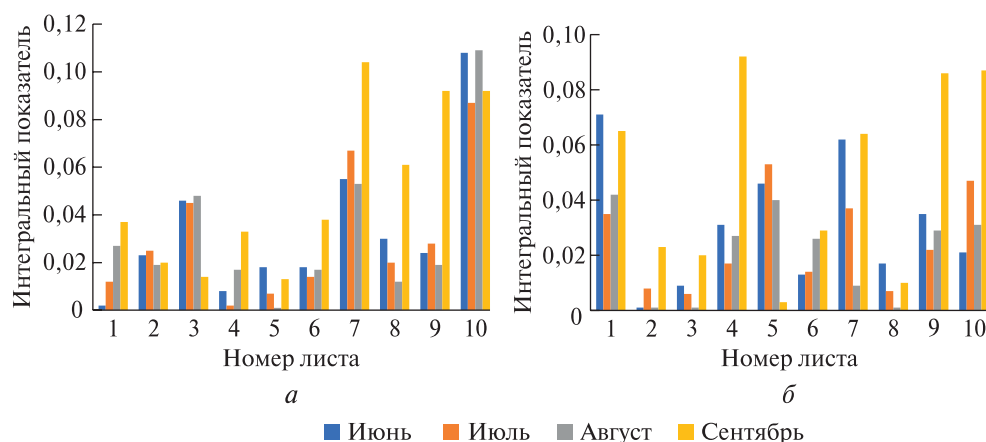


Рис. 9. Интегральный показатель стабильности развития листьев березы повислой (*Betula pendula* Roth) в промышленной зоне (за июнь — сентябрь 2022 г.) по 5-му признаку: а — среднелистная форма дерева; б — мелколистная форма дерева

Fig. 9. Integral index of leaf development sustainability of birch (*Betula pendula* Roth) in the industrial zone (June — September 2022) for the 5th trait: а — medium-leaved tree form; б — small-leaved tree form

Экспериментальные исследования в селитебно-рекреационной зоне УПЦ

1-й признак — ширина левой и правой половин листа. Интегральный показатель стабильности развития листьев среднелистной формы и мелколистной формы березы в селитебно-рекреационной зоне за июнь — сентябрь по 1-му признаку свидетельствует о неравномерности развития отдельных листьев (рис. 10).

Коэффициент вариации более 100 % для среднелистной формы березы в сентябре свидетель-

ствует о том, что в данной совокупности сильна вариация признаков по отношению к средней величине (табл. 13). При проведении дисперсионного анализа (табл. 14) по 1-му признаку «доля объясненной изменчивости» R^2 у среднелистной формы дерева можно отнести в большей степени к категории «средний эффект», у мелколистной формы дерева — к категории «средний эффект».

По тесту Бартлетта:

— среднелистная форма дерева: статистическое значение по тесту Бартлетта 3,424; P -значение 0,3308; по стандартному отклонению SDs ($P < 0,05$) достоверных различий нет;

Т а б л и ц а 11

**Описательная статистика развития листьев березы повислой (*Betula pendula* Roth)
по 5-му признаку (июнь — сентябрь 2022 г., промышленная зона)**

**Descriptive statistics of birch (*Betula pendula* Roth) leaf development for 5 traits
(June — September 2022, industrial zone)**

Показатель	Июнь		Июль		Август		Сентябрь	
	Средне- листная форма	Мелко- листная форма	Средне- листная форма	Мелко- листная форма	Средне- листная форма	Мелко- листная форма	Средне- листная форма	Мелко- листная форма
Количество значений	10	10	10	10	10	10	10	10
Минимальное значение	0,002	0,001	0,002	0,006	0,001	0,001	0,013	0,003
Максимальное значение	0,108	0,071	0,087	0,053	0,109	0,042	0,104	0,092
Стандартное отклонение	0,03074	0,0231	0,02761	0,01725	0,03127	0,01623	0,03453	0,03446
Стандартная ошибка среднего значения	0,00972	0,007306	0,008731	0,005455	0,009888	0,005132	0,01092	0,0109
Коэффициент вариации, %	92,59	75,51	89,93	70,13	97,11	78,40	68,51	71,93

Т а б л и ц а 12

**Дисперсионный анализ ANOVA развития листьев березы повислой (*Betula pendula* Roth)
по 5-му признаку (июнь — сентябрь 2022 г., промышленная зона)**

**ANOVA analysis of variance of birch (*Betula pendula* Roth) leaf development for the 5th trait
(June — September 2022, industrial zone)**

Вариация признака	Сумма квадратов SS	Число степеней свободы df	Среднеквадратичное значение MS	P-значение	F-значение	Доля общей дисперсии R ²	Разница между средними значениями (P < 0,05)
Среднелистная форма							
Между группами	0,002562	3	0,000854	0,4601	0,881	0,06839	Нет
Внутри групп	0,03489	36	0,000969	—	—	—	—
Итого	0,03746	39	—	—	—	—	—
Мелколистная форма							
Между группами	0,004328	3	0,001443	0,0726	2,529	0,1741	Нет
Внутри групп	0,02054	36	0,000571	—	—	—	—
Итого	0,02487	39	—	—	—	—	—

— мелколистная форма дерева: статистическое значение по тесту Бартлетта 1,522; *P*-значение 0,6772; по стандартному отклонению *SDs* (*P* < 0,05) достоверных различий нет.

2-й признак — длина жилки второго порядка от основания листа. Интегральный показатель стабильности развития листьев мелколистной формы березы в рекреационной зоне в июне — сентябре по 2-му признаку не превышает 0,050, однако для 2-го листа в сентябре интегральный показатель составляет около 0,250, что свидетельствует о неравномерности развития отдельных листьев (рис. 11). Коэффициент вариации более 100 % для мелколистной формы березы в сентябре свидетельствует о том, что в исследуемой

совокупности сильна вариация признаков по отношению к средней величине (табл. 15).

При проведении дисперсионного анализа (табл. 16) по 2-му признаку «доля объясненной изменчивости» *R*² у среднелистной формы дерева можно отнести к категории «маленький эффект», а у мелколистной формы дерева — к категории «средний эффект».

По тесту Бартлетта:

— среднелистная форма дерева: статистическое значение по тесту Бартлетта 7,311; *P*-значение 0,0626; по стандартному отклонению *SDs* (*P* < 0,05) достоверных различий нет;

— мелколистная форма дерева: статистическое значение по тесту Бартлетта 40,92; *P*-зна-

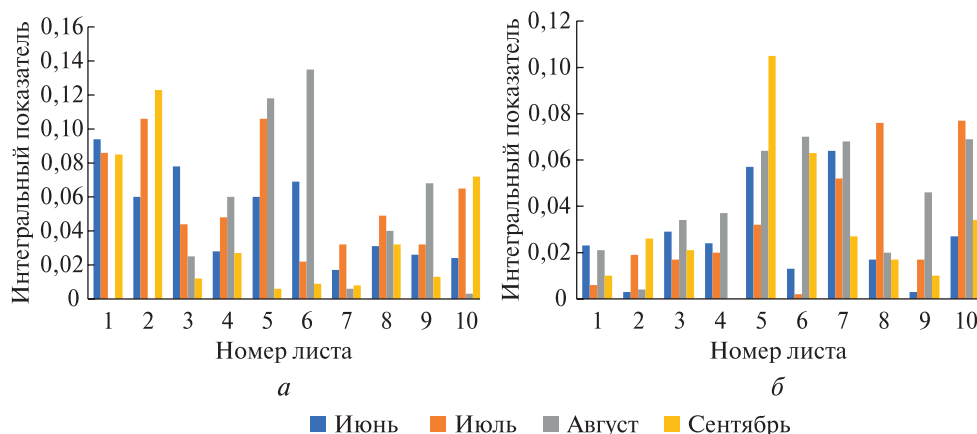


Рис. 10. Интегральный показатель стабильности развития листьев березы повислой (*Betula pendula* Roth) в селитебно-рекреационной зоне (за июнь — сентябрь 2022 г.) по 1-му признаку: *a* — среднелистная форма дерева; *б* — мелколистная форма дерева

Fig. 10. Integral index of sustainable leaf development of birch (*Betula pendula* Roth) in the residential and recreational zone (June — September 2022) for the 1st characteristic: *a* — medium-leaved tree form; *б* — small-leaved tree form

Т а б л и ц а 13

Описательная статистика развития листьев березы повислой (*Betula pendula* Roth) по 1-му признаку (июнь — сентябрь 2022 г., селитебно-рекреационная зона)

Descriptive statistics of birch (*Betula pendula* Roth) leaf development for 1 trait (June — September 2022, residential and recreational zone)

Показатель	Июнь		Июль		Август		Сентябрь	
	Средне-листная форма	Мелко-листная форма	Средне-листная форма	Мелко-листная форма	Средне-листная форма	Мелко-листная форма	Средне-листная форма	Мелко-листная форма
Количество значений	10	10	10	10	8	10	10	9
Минимальное значение	0,017	0,003	0,022	0,002	0,003	0,004	0,006	0,01
Максимальное значение	0,094	0,064	0,106	0,077	0,135	0,07	0,123	0,105
Стандартное отклонение	0,02677	0,02037	0,03065	0,02728	0,04894	0,02387	0,04056	0,03082
Стандартная ошибка среднего значения	0,008466	0,006443	0,009693	0,008628	0,0173	0,00755	0,01283	0,01027
Коэффициент вариации, %	54,97	78,36	51,95	85,80	86,05	55,14	104,8	88,62

чение $< 0,0001$; по стандартному отклонению SDs ($P < 0,05^{****}$) различия достоверны.

3-й признак — расстояние между основаниями первой и второй жилок второго порядка листа. Интегральный показатель стабильности развития листьев среднелистной формы и мелколистной формы березы в селитебно-рекреационной зоне в июне — сентябре по 3-му признаку свидетельствует о неравномерности развития отдельных листьев (рис. 12).

Коэффициент вариации менее 100 % свидетельствует о том, что в исследуемой совокупности слабая вариация признаков по отношению к средней величине (табл. 17).

При проведении дисперсионного анализа (табл. 18) по 3-му признаку «доля объясненной изменчивости» R^2 у среднелистной формы дерева и у мелколистной формы дерева можно отнести к категории «маленький эффект».

По тесту Бартлетта:

— среднелистная форма дерева: статистическое значение по тесту Бартлетта 0,439; P -значение 0,9321; по стандартному отклонению SDs ($P < 0,05$) достоверных различий нет;

— мелколистная форма дерева: статистическое значение по тесту Бартлетта 0,9895; P -значение 0,8038; по стандартному отклонению SDs ($P < 0,05$) достоверных различий нет.

Т а б л и ц а 14

Дисперсионный анализ ANOVA развития листьев березы повислой (*Betula pendula* Roth) по 1-му признаку (июнь — сентябрь 2022 г., селитебно-рекреационная зона)

ANOVA analysis of variance of birch (*Betula pendula* Roth) leaf development for the 1st trait (June — September 2022, residential and recreational zone)

Вариация признака	Сумма квадратов <i>SS</i>	Число степеней свободы <i>df</i>	Среднеквадратичное значение <i>MS</i>	<i>P</i> -значение	<i>F</i> -значение	Доля общей дисперсии <i>R</i> ²	Разница между средними значениями (<i>P</i> < 0,05)
Среднелистная форма							
Между группами	0,002472	3	0,0008241	0,6176	0,6029	0,05051	Нет
Внутри групп	0,04648	34	0,001367	—	—	—	—
Итого	0,04895	37	—	—	—	—	—
Мелколистная форма							
Между группами	0,001559	3	0,00052	0,5104	0,785	0,06304	Нет
Внутри групп	0,02317	35	0,000662	—	—	—	—
Итого	0,02472	38	—	—	—	—	—

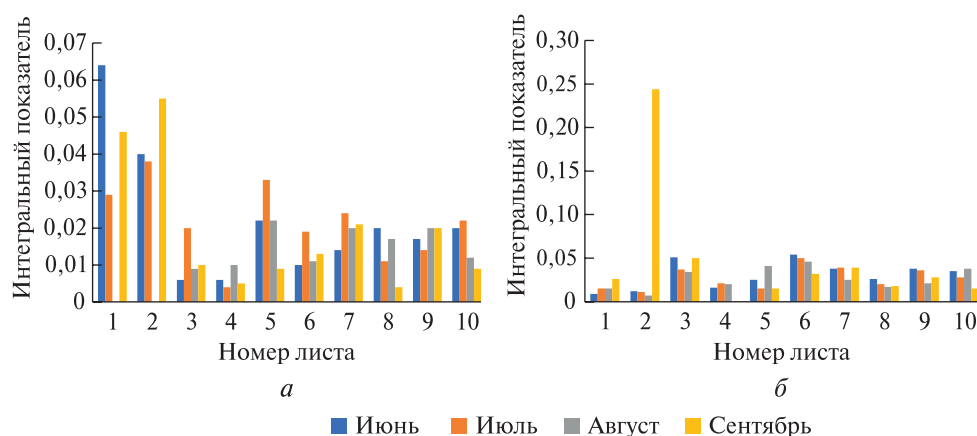


Рис. 11. Интегральный показатель стабильности развития листьев березы повислой (*Betula pendula* Roth) в селитебно-рекреационной зоне (за июнь — сентябрь 2022 г.) по 2-му признаку: *а* — среднелистная форма дерева; *б* — мелколистная форма дерева

Fig. 11. Integral index of leaf development stability of birch (*Betula pendula* Roth) in the residential and recreational zone (June — September 2022) for the 2nd characteristic: *a* — medium-leaved tree form; *b* — small-leaved tree form

4-й признак — расстояние между концами первой и второй жилки второго порядка листа.

Интегральный показатель стабильности развития листьев мелколистной формы березы в селитебно-рекреационной зоне в июне — сентябре по 4-му признаку свидетельствует о неравномерности развития отдельных листьев (рис. 13).

Коэффициент вариации более 100 % у среднелистной формы березы в сентябре свидетельствует о том, что в исследуемой совокупности сильна вариация признаков по отношению к средней величине (табл. 19).

При проведении дисперсионного анализа (табл. 20) по 4-му признаку «доля объяснен-

ной изменчивости» R^2 у среднелистной формы дерева можно отнести в большей степени к категории «средний эффект», а у мелколистной формы дерева — к категории «маленький эффект».

По тесту Бартлетта:

— среднелистная форма дерева: статистическое значение по тесту Бартлетта 33,98; *P*-значение < 0,0001; по стандартному отклонению *SDs* ($P < 0,05^{****}$) различия достоверны;

— мелколистная форма дерева: статистическое значение по тесту Бартлетта 0,3018; *P*-значение 0,9597; по стандартному отклонению *SDs* ($P < 0,05$) достоверных различий нет.

Т а б л и ц а 15

Описательная статистика развития листьев березы повислой (*Betula pendula* Roth) по 2-му признаку (июнь — сентябрь 2022 г., селитебно-рекреационная зона)

Descriptive statistics of birch (*Betula pendula* Roth) leaf development for 2 traits (June — September 2022, residential and recreational zone)

Показатель	Июнь		Июль		Август		Сентябрь	
	Средне-листная форма	Мелко-листная форма	Средне-листная форма	Мелко-листная форма	Средне-листная форма	Мелко-листная форма	Средне-листная форма	Мелко-листная форма
Количество значений	10	10	10	10	8	10	10	9
Минимальное значение	0,006	0,009	0,004	0,011	0,009	0,007	0,004	0,015
Максимальное значение	0,064	0,054	0,038	0,05	0,022	0,046	0,055	0,244
Стандартное отклонение	0,01777	0,01553	0,01027	0,01284	0,005194	0,01272	0,01754	0,07296
Стандартная ошибка среднего значения	0,005618	0,004911	0,003246	0,00406	0,001837	0,004023	0,005545	0,02432
Коэффициент вариации, %	81,13	51,08	47,97	47,20	34,34	48,19	91,33	140,6

Т а б л и ц а 16

Дисперсионный анализ ANOVA развития листьев березы повислой (*Betula pendula* Roth) по 2-му признаку (июнь — сентябрь 2022 г., селитебно-рекреационная зона)

ANOVA analysis of variance of birch (*Betula pendula* Roth) leaf development for the 2nd trait (June — September 2022, residential and recreational zone)

Вариация признака	Сумма квадратов <i>SS</i>	Число степеней свободы <i>df</i>	Среднеквадратичное значение <i>MS</i>	<i>P</i> -значение	<i>F</i> -значение	Доля общей дисперсии <i>R</i> ²	Разница между средними значениями (<i>P</i> < 0,05)
Среднелистная форма							
Между группами	0,000144	3	0,00004789	0,7686	0,3793	0,03541	Нет
Внутри групп	0,003914	31	0,0001263	—	—	—	—
Итого	0,004058	34	—	—	—	—	—
Мелколистная форма							
Между группами	0,00404	3	0,001347	0,4095	0,9884	0,0781	Нет
Внутри групп	0,04769	35	0,001363	—	—	—	—
Итого	0,05173	38	—	—	—	—	—

5-й признак — угол между главной жилкой и второй жилкой второго порядка от основания листа. Интегральный показатель стабильности развития листьев среднелистной формы и мелколистной формы березы в селитебно-рекреационной зоне в июне — сентябре по 5-му признаку свидетельствует о неравномерности развития отдельных листьев (рис. 14).

Коэффициент вариации менее 100 % свидетельствует о том, что в исследуемой совокупности среднелистных и мелколистных форм березы в июне-сентябре наблюдается слабая вариация признаков по отношению к средней величине (табл. 21).

При проведении дисперсионного анализа (табл. 22) по 5-му признаку «доля объясненной изменчивости» *R*² у среднелистной формы дерева можно отнести в большей степени к категории «маленький эффект», а у мелколистной формы дерева в большей степени к категории «средний эффект».

По тесту Бартлетта:

— среднелистная форма дерева: статистическое значение по тесту Бартлетта 2,035; *P*-значение 0,5652; по стандартному отклонению *SDs* (*P* < 0,05) достоверных различий нет;

— мелколистная форма дерева: статистическое значение по тесту Бартлетта 0,9713;

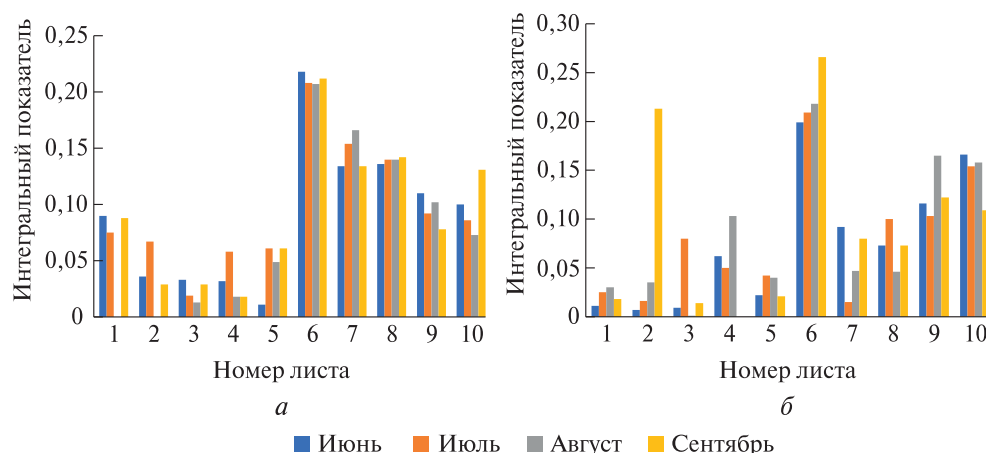


Рис. 12. Интегральный показатель стабильности развития листьев березы повислой (*Betula pendula* Roth) в селитебно-рекреационной зоне (за июнь — сентябрь 2022 г.) по 3-му признаку: *a* — среднелистная форма дерева; *б* — мелколистная форма дерева

Fig. 12. Integral index of sustainable leaf development of birch (*Betula pendula* Roth) in the residential and recreational zone (June — September 2022) for the 3rd characteristic: *a* — medium-leaved tree form; *б* — small-leaved tree form

Т а б л и ц а 17

Описательная статистика развития листьев березы повислой (*Betula pendula* Roth) по 3-му признаку (июнь — сентябрь 2022 г., селитебно-рекреационная зона)

Descriptive statistics of leaf development of birch (*Betula pendula* Roth) for the 3rd trait (June — September 2022, residential and recreational zone)

Показатель	Июнь		Июль		Август		Сентябрь	
	Средне-листная форма	Мелко-листная форма	Средне-листная форма	Мелко-листная форма	Средне-листная форма	Мелко-листная форма	Средне-листная форма	Мелко-листная форма
Количество значений	10	10	10	10	8	10	10	9
Минимальное значение	0,011	0,007	0,019	0,015	0,013	0,001	0,018	0,014
Максимальное значение	0,218	0,199	0,208	0,209	0,207	0,218	0,212	0,266
Стандартное отклонение	0,06386	0,06805	0,05562	0,06389	0,07061	0,0725	0,06216	0,08828
Стандартная ошибка среднего значения	0,0202	0,02152	0,01759	0,0202	0,02497	0,02293	0,01966	0,02943
Коэффициент вариации, %	70,96	89,90	57,94	80,46	73,56	86,00	67,42	86,74

P-значение 0,8082; по стандартному отклонению *SDs* ($P < 0,05$) достоверных различий нет.

Дисперсионный анализ ANOVA показал, что между средними значениями сравниваемых групп по пяти признакам различий нет.

В результате проведенных исследований в течение вегетационного периода в зоне загрязнения (ПП-1) и в селитебно-рекреационной зоне (ПП-11) на основании расчетов были получены интегральные показатели. По значению интегрального показателя стабильности развития насаждения (июнь — сентябрь) на ПП-1 насаждения березы повислой соответствует 5 баллам и показателю «критическое

значение», а на ПП-11 состояние насаждений соответствует 3 баллам, что обычно наблюдается в «загрязненных районах».

На ПП-1 у среднелистной формы дерева интегральный показатель стабильности развития насаждений в течение вегетационного периода составляет 5 баллов — «критическое значение», у мелколистной формы дерева 4 балла — «наблюдается в загрязненных районах».

На ПП-11 интегральный показатель стабильности развития насаждений в течение вегетационного периода как у среднелистной, так и у мелколистной формы дерева соответствует 4 баллам — «наблюдается в загрязненных районах».

Т а б л и ц а 18

Дисперсионный анализ ANOVA развития листьев березы повислой (*Betula pendula* Roth) по 3-му признаку (июнь — сентябрь 2022 г., селитебно-рекреационная зона)

ANOVA analysis of variance of birch (*Betula pendula* Roth) leaf development for the 3rd characteristic (June — September 2022, residential and recreational zone)

Вариация признака	Сумма квадратов <i>SS</i>	Число степеней свободы <i>df</i>	Среднеквадратичное значение <i>MS</i>	<i>P</i> -значение	<i>F</i> -значение	Доля общей дисперсии <i>R</i> ²	Разница между средними значениями (<i>P</i> < 0,05)
Среднелистная форма							
Между группами	0,000252	3	0,00008389	0,9957	0,02125	0,001871	Нет
Внутри групп	0,1342	34	0,003948	—	—	—	—
Итого	0,1345	37	—	—	—	—	—
Мелколистная форма							
Между группами	0,003716	3	0,001239	0,8745	0,2305	0,01938	Нет
Внутри групп	0,1881	35	0,005373	—	—	—	—
Итого	0,1918	38	—	—	—	—	—

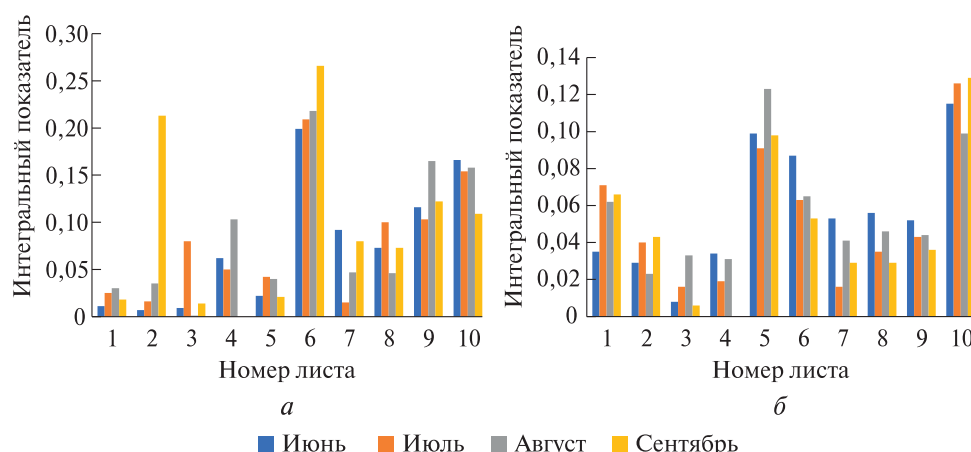


Рис. 13. Интегральный показатель стабильности развития листьев березы повислой (*Betula pendula* Roth) в селитебно-рекреационной зоне (за июнь — сентябрь 2022 г.) по 4-му признаку: *a* — среднелистная форма дерева; *б* — мелколистная форма дерева

Fig. 13. Integral index of sustainable leaf development of birch (*Betula pendula* Roth) in the residential and recreational zone (June — September 2022) according to the 4th characteristic: *a* — medium-leaved tree form; *b* — small-leaved tree form

По результатам описательной статистики по пяти признакам (июнь — сентябрь) можно сделать вывод о высоких значениях коэффициента вариации, что свидетельствует о высокой изменчивости характеристик по отношению к среднему показателю выборки. Совокупность неоднородная.

Дисперсионный анализ ANOVA показал, что нет различий между средними значениями сравниваемых групп по пяти признакам.

Применен тест Бартлетта, который позволяет проверить равенство дисперсий по пяти признакам:

— отклонения между листьями (среднелистная форма березы) на ПП-1 (по 1-му, 3-му, 5-му

признакам) существенных различий не имеют; по 2-му признаку (см. рис. 4) $P < 0,05^*$ эти отклонения различаются; по 4-му признаку $P < 0,05^{****}$ отклонения различаются;

— отклонения между листьями (среднелистная форма березы) на ПП-11 (по 1-му, 2-му, 3-му, 5-му признакам) существенных различий не имеют; по 4-му признаку (см. рис. 4) $P < 0,05^{****}$ эти отклонения различаются;

— отклонения у листьев (мелколистная форма березы) на ПП-1 (по 1-му, 3-му, 4-му и 5-му признакам) существенных различий не имеют. По 2-му признаку $P < 0,05^{****}$ эти отклонения различаются;

Т а б л и ц а 19

Описательная статистика развития листьев березы повислой (*Betula pendula* Roth) по 4-му признаку (июнь — сентябрь 2022 г., селитебно-рекреационная зона)

Descriptive statistics of leaf development of birch (*Betula pendula* Roth) according to the 4th trait (June — September 2022, residential and recreational zone)

Показатель	Июнь		Июль		Август		Сентябрь	
	Средне-листная форма	Мелко-листная форма	Средне-листная форма	Мелко-листная форма	Средне-листная форма	Мелко-листная форма	Средне-листная форма	Мелко-листная форма
Количество значений	10	10	10	10	7	10	9	9
Минимальное значение	0,022	0,008	0,005	0,016	0,002	0,023	0,0003	0,006
Максимальное значение	0,108	0,115	0,086	0,126	0,095	0,123	0,42	0,129
Стандартное отклонение	0,02333	0,03378	0,02876	0,03602	0,02915	0,0319	0,1308	0,03825
Стандартная ошибка среднего значения	0,007378	0,01068	0,009095	0,01139	0,01102	0,01009	0,0436	0,01275
Коэффициент вариации, %	41,29	59,47	64,92	69,26	62,97	56,27	158,4	70,40

Т а б л и ц а 20

Дисперсионный анализ ANOVA развития листьев березы повислой (*Betula pendula* Roth) по 4-му признаку (июнь — сентябрь 2022 г., селитебно-рекреационная зона)

ANOVA analysis of variance of birch (*Betula pendula* Roth) leaf development for the 4th trait (June — September 2022, residential and recreational zone)

Вариация признака	Сумма квадратов <i>SS</i>	Число степеней свободы <i>df</i>	Среднеквадратичное значение <i>MS</i>	<i>P</i> -значение	<i>F</i> -значение	Доля общей дисперсии <i>R</i> ²	Разница между средними значениями (<i>P</i> < 0,05)
Среднелистная форма							
Между группами	0,008297	3	0,002766	0,6368	0,5732	0,051	Нет
Внутри групп	0,1544	32	0,004825	—	—	—	—
Итого	0,1627	35	—	—	—	—	—
Мелколистная форма							
Между группами	0,000155	3	0,00005176	0,9882	0,04232	0,003614	Нет
Внутри групп	0,04281	35	0,001223	—	—	—	—
Итого	0,04296	38	—	—	—	—	—

— отклонения у листьев (мелколистная форма березы) на ПП-11 (по 1-му, 3-му, 4-му и 5-му признакам) существенных различий не имеют; по 2-му признаку $P < 0,05^{****}$ эти отклонения различаются.

У среднелистной формы деревьев при проверке равенства дисперсий по пяти признакам с помощью использования критерия Бартлетта как в промышленной, так и в селитебно-рекреационной зоне были выявлены отличия стандартного отклонения по 4-му признаку. По 2-му признаку отличия стандартного отклонения были выявлены у среднелистной формы дерева только в промышленной зоне (рис. 15, а, в).

У мелколистной формы деревьев при проверке равенства дисперсий по пяти признакам

с помощью использования критерия Бартлетта как в промышленной, так и в селитебно-рекреационной зоне были выявлены отличия стандартного отклонения по 2-му признаку (рис. 15, б, г).

Для проверки предположения о равенстве групповых дисперсий был использован статистический тест Брауна — Форсайта. Стандартное отклонение ($P < 0,05$) значительно отличается по 5-му признаку на ПП-1 для мелколистной формы дерева (см. рис. 15, б).

У листьев среднелистной формы деревьев выражен рост в длину (иллюстрируется изменением по 4-му признаку, см. рис. 15 а, 15 в) как в промышленной, так и в селитебно-рекреационной зоне. У мелколистной формы деревьев 2-й при-

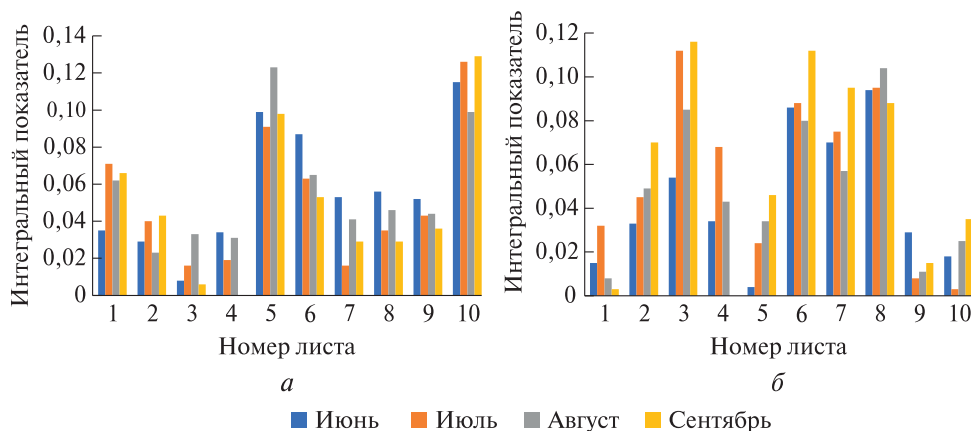


Рис. 14. Интегральный показатель стабильности развития листьев березы повислой (*Betula pendula* Roth) в селитебно-рекреационной зоне (за июнь — сентябрь 2022 г.) по 5-му признаку: *а* — среднелистная форма дерева; *б* — мелколистная форма дерева

Fig. 14. Integral index of sustainable leaf development of birch (*Betula pendula* Roth) in the residential and recreational zone (June — September 2022) according to the 5th characteristic: *а* — medium-leaved tree form; *б* — small-leaved tree form

Т а б л и ц а 2 1

Описательная статистика развития листьев березы повислой (*Betula pendula* Roth) по 5-му признаку (июнь — сентябрь 2022 г., селитебно-рекреационная зона)

Descriptive statistics of birch (*Betula pendula* Roth) leaf development for 5 traits (June — September 2022, residential and recreational zone)

Показатель	Июнь		Июль		Август		Сентябрь	
	Средне-листная форма	Мелко-листная форма	Средне-листная форма	Мелко-листная форма	Средне-листная форма	Мелко-листная форма	Средне-листная форма	Мелко-листная форма
Количество значений	10	10	10	10	8	10	10	9
Минимальное значение	0,001	0,004	0,002	0,003	0,002	0,008	0	0,003
Максимальное значение	0,102	0,094	0,089	0,112	0,076	0,104	0,07	0,116
Стандартное отклонение	0,03425	0,03092	0,032	0,03802	0,02552	0,03215	0,02192	0,04163
Стандартная ошибка среднего значения	0,01083	0,009776	0,01012	0,01202	0,009023	0,01017	0,006931	0,01388
Коэффициент вариации, %	84,35	70,75	82,70	69,13	84,71	64,82	69,15	64,60

знак наиболее информативный и свидетельствует о сбалансированном росте в длину и в ширину как в промышленной зоне, так и в селитебно-рекреационной зоне (см. рис. 15 *а*, 15 *б*, 15 *с*).

Мелколистность растений рассматривается как адаптивная особенность растений в рамках концепции ксероморфизма и ксерофитизации — адаптивная реакция на экстремальные условия произрастания, при которой обеспечивается успешное функционирование ассимиляционного аппарата [46, 47]. Морфологические особенности и физиологические функции в листе связаны неразрывно, однако на более крупных листьях адаптивные реакции проявляются в меньшей степени.

Выводы

Показано, что в условиях нефтехимического загрязнения в Уфимском промышленном центре на фоне снижения выбросов в окружающую среду в период с 2010 по 2022 гг. ОЖС деревьев березы изменилось со статуса «ослабленные» на статус «здоровые». Улучшение состояния деревьев происходило за счет видовой особенности — повышенных регенерационных способностей березы повислой.

Впервые выявлены морфологические отклонения в развитии листьев березы повислой в течение вегетационного периода в промышленной зоне, и в селитебно-рекреационной зоне

Т а б л и ц а 2 2

Дисперсионный анализ ANOVA развития листьев березы повислой (*Betula pendula* Roth) по 5-му признаку (июнь — сентябрь 2022 г., селитебно-рекреационная зона)

ANOVA analysis of variance of birch (*Betula pendula* Roth) leaf development for the 5th trait (June — September 2022, residential and recreational zone)

Вариация признака	Сумма квадратов SS	Число степеней свободы df	Среднеквадратичное значение MS	P -значение	F -значение	Доля общей дисперсии R^2	Разница между средними значениями ($P < 0,05$)
Среднелистная форма							
Между группами	0,000738	3	0,000246	0,831	0,2918	0,0251	Нет
Внутри групп	0,02866	34	0,000843	—	—	—	—
Итого	0,0294	37	—	—	—	—	—
Мелколистная форма							
Между группами	0,002199	3	0,000733	0,6367	0,5728	0,0468	Нет
Внутри групп	0,04478	35	0,00128	—	—	—	—
Итого	0,04698	38	—	—	—	—	—

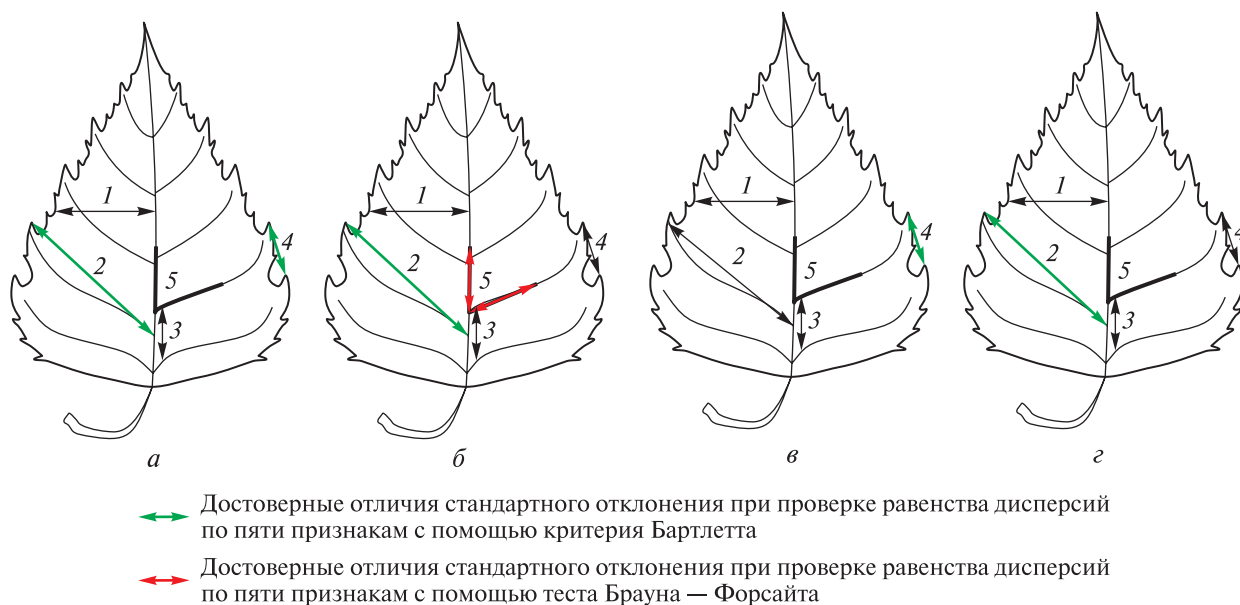


Рис. 15. Схема морфологических признаков листа березы повислой (*Betula pendula* Roth): а — ПП-1, среднелистная форма дерева; б — ПП-1, мелколистная форма дерева; в — ПП-11, среднелистная форма дерева; г — ПП-11, мелколистная форма дерева

Fig. 15. Schematic diagram of morphological characteristics of the leaf of birch (*Betula pendula* Roth): а — ПП-1, medium-leaved tree form; б — ПП-1, small-leaved tree form; в — ПП-11, medium-leaved tree form; г — ПП-11, small-leaved tree form

Уфимского промышленного центра. Анализ морфологических изменений листовых пластин березы в течение вегетационного сезона свидетельствует об индивидуальной траектории сезонного развития отдельных листьев как у среднелистной формы, так и у мелколистной формы. При этом изменения отдельных параметров листа в сезонной динамике согласуются с физиологической активностью и адаптивными реакциями листьев на загрязнение окружающей

среды — в наибольшей степени повреждаются вершина и периферийная часть листа.

При оценке состояния отдельных деревьев и насаждений березы повислой с целью обоснования проведения лесохозяйственных мероприятий в условиях города целесообразно рассматривать морфологические изменения листьев во взаимосвязи с физиологическими характеристиками ассимиляционного аппарата с учетом экологической видоспецифичности, изменчивости и устойчивости.

Работа выполнена на оборудовании центра коллективного пользования «Агидель» в рамках плановых исследований по бюджетной теме № 123020700152-5 FMRS-2023-0008 «Устойчивость лесобразующих древесных видов и эколого-биологические адаптации с учетом антропогенной трансформации ландшафтно-природных комплексов».

Список литературы

- [1] Шварц С.С. Внутривидовая изменчивость млекопитающих и методы ее изучения // Зоологический журнал, 1963. Т. 42. Вып. 3. С. 417–433.
- [2] Большаков В.Н. Изучение внутривидовой изменчивости красной полевки методом колориметрической оценки окраски меха // Экологические основы адаптации животных / под ред. С.С. Шварца. М.: Наука, 1967. С. 49–55.
- [3] Захаров В.М. Асимметрия животных (популяционно-феногенетический подход) / под ред. А.В. Яблокова. М.: Наука, 1987. 215 с.
- [4] Захаров В.М., Баранов А.С., Борисов В.И. Здоровье окружающей среды: методы оценки. М.: Изд-во Центра экологической политики России, 2000. 68 с.
- [5] Константинов Е.Л. Особенности флуктуирующей асимметрии листовой пластинки березы повислой (*Betula pendula* Roth.) как вида биоиндикатора: автореф. дис. ... канд. биол. наук: 03.00.16. Калуга, 2001. 20 с.
- [6] Заренков Н.А. Биосимметрия. М.: URSS, 2009. 318 с.
- [7] Русанович И.И. Внутривидовая изменчивость и систематика белых берез Европейской части СССР в связи с интродукцией: дис. ... канд. биол. наук: 03.00.05. Москва, 1981. 231 с.
- [8] Данченко А.М. Популяционная изменчивость березы / под ред. В.Л. Черепнина. Новосибирск: Наука, 1990. 202 с.
- [9] Мамаев С.А. О закономерностях внутривидовой изменчивости древесных растений // Теоретические основы внутривидовой изменчивости и структура популяции хвойных пород. Свердловск: Изд-во Уральского научного центра АН СССР, 1974. С. 3–12.
- [10] Махнев А.К. Внутривидовая изменчивость и ценные для селекции формы березы Урала // Лесная генетика, селекция и семеноводство (по материалам совещания, состоявшегося 12–15 декабря 1967 г. в г. Петрозаводске) / под ред. В.И. Ермакова. Петрозаводск: Карелия, 1970. С. 266–270.
- [11] Махнев А.К. Внутривидовая изменчивость уральских берез по биологическим свойствам семян // Структура популяций и устойчивость растений на Урале. Сер. «Труды института экологии растений и животных Уральского научного центра АН СССР». Свердловск: Изд-во Уральского научного центра АН СССР, 1978. С. 11–62.
- [12] Махнев А.К. Внутривидовая изменчивость и структура популяций берез секции *Nanae* на Урале и Алтае // Исследование форм внутривидовой изменчивости растений. Свердловск: Изд-во Уральского научного центра АН СССР, 1981. С. 3–24.
- [13] Махнев А.К. О внутривидовой изменчивости и популяционной структуре белых берез на Урале // Экология и физиология основных лесобразующих видов Урала: сб. науч. трудов / под ред. Е.П. Смоленогова, Ю.А. Терешина. Свердловск: Изд-во Уральского научного центра АН СССР, 1986. С. 3–14.
- [14] Махнев А.К., Мамаев С.А. Внутривидовая изменчивость и структура популяций березы в горах Южного Урала в связи с высотной поясностью // Экология, 1972. № 1. С. 24–36.
- [15] Махнев А.К., Мамаев С.А. Внутривидовая изменчивость берез на Урале в связи с проблемами систематики рода // Закономерности внутривидовой изменчивости лиственных древесных пород (труды Института экологии растений и животных / АН СССР Уральск. науч. центр; вып. 91) / под ред. С.А. Мамаева, А. К. Махнева. Свердловск: [б. и.], 1975. С. 67–77.
- [16] Побирушко В.Ф. Эколого-биологические особенности и внутривидовая изменчивость некоторых видов рода *Betula* L. на границах ареалов (в условиях Беларуси): автореф. дис. ... канд. биол. наук: 03.00.05. Минск, 1992. 25 с.
- [17] Галеев Э.И., Коновалов В.Ф. Внутривидовая изменчивость вегетативных органов березы повислой на Южном Урале // Леса Башкортостана: современное состояние и перспективы: материалы науч.-практ. конф., Уфа, 12 марта 1997 г. Уфа: Изд-во Академии наук Республики Башкортостан, 1997. С. 137–138.
- [18] Мамаев С.А., Махнев А.К. Изучение внутривидовой изменчивости Уральских берез в географических культурах // Состояние и перспективы развития лесной генетики, селекции, семеноводства и интродукции: Методы селекции древесных пород (Сб. тезисов докл. конф., Рига, 13–15 авг. 1974 г.). Рига: [б. и.], 1974. С. 79–82.
- [19] Дерюжкин Р.И. Географическая и экологическая изменчивость лиственницы и сосны и ее значение для лесного семеноводства: автореф. дис. ... канд. с.-х. наук. Воронеж, 1955. 20 с.
- [20] Стрельцов А.Б. Региональная система биологического мониторинга. Калуга: Изд-во Калуж. ЦНТИ, 2003. 150 с.
- [21] Захаров В.М. Асимметрия животных. М.: Наука, 1987. 215 с.
- [22] Кожара А.В. Структура показателя флуктуирующей асимметрии и его пригодность для популяционных исследований // Биологические науки, 1985. № 6. С. 100–104.
- [23] Чистякова Е.К. Анализ стабильности развития в природных популяциях растений на примере березы повислой (*Betula pendula* Roth.): автореф. дис. ... канд. биол. наук: 03.00.15. М., 1997. 20 с.
- [24] Захаров В.М., Баранов А.С., Борисов В.И., Валецкий А.В., Кряжева Н.Г., Чистякова Е.К., Чубинишвили А.Т. Здоровье среды: методика оценки. М.: Изд-во Центра экологической политики России, 2000. 68 с.
- [25] Захаров В.М., Шкиль Ф.Н., Кряжева Н.Г. Оценка стабильности развития березы в разных частях ареала // Вестник Нижегородского университета им. Н.И. Лобачевского. Серия: Биология, 2005. № 1. С. 77–84.
- [26] Givnish T.J. Ecological aspects of plant morphology: leaf form in relation to environment // Acta Biotheoretica, 1978, v. 27, pp. 83–142.

- [27] Кулагин А.Ю., Тагирова О.В. Лесные насаждения Уфимского промышленного центра: современное состояние в условиях антропогенных воздействий. Уфа: Гилем, 2015. 196 с.
- [28] Klingenberg C.P., McIntyre G.S. Geometric morphometrics of developmental instability: Analyzing patterns of fluctuating asymmetry with procrustes methods // *Evolution*, 1998, v. 52, pp. 1363–1375.
- [29] Graham J.H., Shimizu K., Emlen J.M., Freeman D., Merkel J. Growth models and the expected distribution of fluctuating asymmetry // *Biol. J. Linn. Soc.* 2003, v. 80, pp. 57–65.
- [30] Шадрина Е.Г., Вольперт Я.Л. Нарушения стабильности развития организма как результат пессимизации среды при техногенной трансформации природных ландшафтов // *Онтогенез*, 2014. Т. 45. № 3. С. 151–161.
- [31] Van Valen L. A study of fluctuating asymmetry // *Evolution*, 1962, v. 16, pp. 125–142.
- [32] Тагирова О.В. Относительное жизненное состояние насаждений березы повислой (*Betula pendula* Roth) в условиях Уфимского промышленного центра: изменения за период 2010–2022 гг. // *Леса России и хозяйство в них*, 2024. № 1 (88). С. 83–92.
- [33] Тагирова О.В., Кулагин А.Ю. Характеристика состояния насаждений березы повислой (*Betula pendula* Roth) с использованием методов относительного жизненного состояния деревьев и интегрального показателя стабильности развития растений (Уфимский промышленный центр, Республика Башкортостан) // *Известия Уфимского научного центра РАН*, 2015. № 4(1). С. 160–167.
- [34] Щеплягин П.В., Громов А.М., Волков К.А., Булатова Н.В., Зубова С.С. Оценка влияния антропогенной нагрузки в лесопарке им. Лесоводов России г. Екатеринбург по флуктуирующей асимметрии листьев березы повислой // *Наукоосфера*, 2021. № 12–1. С. 167–170.
- [35] Атлас Республики Башкортостан / под ред. И.М. Япарова. Уфа: Китап, 2005. 420 с.
- [36] Картограмма: Уфы с размещением ПП1 и ПП11. URL: <https://maps.app.goo.gl/Q5aD3G9D7B4ThfTR6.html> (дата обращения 02.04.2024).
- [37] Температурный режим 2022 г. URL: <https://rp5.ru.html> (дата обращения 01.03.2024).
- [38] Сукачев В.Н., Раунер Ю.Л., Молчанов А.А. Программа и методика биогеоэкологических исследований. М.: Наука, 1966. 333 с.
- [39] Ярмишко В.Т., Лянгузова И.В. Методы изучения лесных сообществ. СПб.: Изд-во НИИХимии СПбГУ, 2002. 240 с.
- [40] Алексеев В.А. Некоторые вопросы диагностики и классификации поврежденных загрязнением лесных экосистем // *Лесные экосистемы и атмосферное загрязнение*. Л.: Наука, 1990. С. 38–54.
- [41] Cornelissen J.H. C., Lavorel S., Garnier E., Diaz S., Buchmann N., Gurvich D.E., Reich P.B., ter Steege H., Morgan H.D., van der Heijden M.G. A., Pausas J.G., Poorter H. A handbook of protocols for standardised and easy measurements of plant functional traits worldwide // *Australian J. of Botany*, 2003, v. 51, no. 4, pp. 335–380. DOI: 10.1071/bt02124
- [42] Graham J.H., Raz S., Hel-Or H., Nevo E. Fluctuating asymmetry: Methods, theory, and applications // *Symmetry*, 2010, v. 2, pp. 466–540. DOI: 10.3390/sym2020466
- [43] Graham J.H., Whitesell M.J., Fleming M., Hel-Or H., Nevo E., Raz Sh. Fluctuating asymmetry of plant leaves: batch processing with LAMINA and continuous symmetry measures // *Symmetry*, 2015, v. 7, pp. 255–268. DOI: 10.3390/sym7010255
- [44] Курченко Е.И., Шорина Н.И. О концепции симметрии в ботанике // *Вестник Тверского государственного университета. Серия: Биология и экология*, 2013. Вып. 32. № 31. С. 180–194.
- [45] Ивантер Э.В., Коросов А.В. Введение в количественную биологию. Петрозаводск: Изд-во ПетрГУ, 2014. 298 с.
- [46] Тарабрин В.П., Кондратюк Е.Н., Башкатов В.Г., Гнатенко А.А., Коршиков И.И., Чернышова Л.В., Шацкая Р.М. Фитотоксичность органических и неорганических загрязнителей. Киев: Наук. думка, 1986. 216 с.
- [47] Николаевский В.С. Экологическая оценка загрязнения среды и состояния наземных экосистем методами фитоиндикации. М.: МГУЛ, 1998. 191 с.

Сведения об авторах

Тагирова Олеся Васильевна  — канд. биол. наук, ст. науч. сотр., Уфимский Институт биологии — обособленное структурное подразделение Федерального государственного бюджетного научного учреждения Уфимского федерального исследовательского центра Российской академии наук (УИБ УФИЦ РАН), olecyi@mail.ru

Кулагин Алексей Юрьевич — д-р биол. наук, зав. лабораторией лесоведения, Уфимский Институт биологии — обособленное структурное подразделение Федерального государственного бюджетного научного учреждения Уфимского федерального исследовательского центра Российской академии наук (УИБ УФИЦ РАН), coolagin@list.ru

Поступила в редакцию 22.08.2024.

Одобрено после рецензирования 27.12.2024.

Принята к публикации 17.03.2025.

SEASONAL VARIABILITY OF BIRCH LEAVES (*BETULA PENDULA* ROTH) UNDER CONDITIONS OF INDUSTRIAL ENVIRONMENT POLLUTION (UFA INDUSTRIAL CENTRE, REPUBLIC OF BASHKORTOSTAN)

O.V. Tagirova✉, A.Y. Kulagin

Ufa Institute of Biology — a separate structural unit of the Federal State Budgetary Scientific Institution Ufa Federal Research Center of the Russian Academy of Sciences, 69, October Av., 450054, Ufa, Russia

olecyi@mail.ru

The study results of the birch plantations (*Betula pendula* Roth) state on the territory of the Ufa Industrial Center (UIC) are presented. The purpose of the study is to characterize the seasonal variability of birch leaves of medium-leaved and small-leaved forms growing in conditions of prevailing petrochemical pollution in the environment of the UIC. The relative living condition of the plantings in the industrial zone and in the residential and recreational zone is characterized as «healthy». An integral indicator of sustainable birch leaf development was used. A new methodological approach was applied, in which studies were conducted on marked birch trees on marked leaves in the period from June to September 2022. It was found that, according to the value of the integral indicator of the sustainable plantation development (June — September) in the industrial zone, birch plantations correspond to the 5th point of the scale and the «critical value» indicator, and in the residential and recreational zone, the state of plantations corresponds to the 3rd point, which is usually observed in «polluted areas». For the first time, morphological abnormalities in the development of birch leaves during the growing season were revealed in the industrial zone and in the residential and recreational zone of the UIC. The analysis of morphological changes in birch leaf plates during the growing season indicates an individual trajectory of seasonal development of individual leaves in both medium-leaved and small-leaved forms. At the same time, changes in individual leaf parameters in seasonal dynamics are consistent with the physiological activity and adaptive responses of leaves to environmental pollution — the tip and peripheral part of the leaf are most damaged. When justifying forestry measures in urban conditions, it is advisable to assess the condition of individual trees and plantings, considering the ecological species peculiarities, variability and sustainability of the birch.

Keywords: *Betula pendula* Roth, morphological variability of leaves, integral indicator, industrial pollution

Suggested citation: Tagirova O.V., Kulagin A.Yu. *Sezonnaya izmenchivost' list'ev berezy povisloy (Betula pendula Roth) v usloviyakh promyshlennogo zagryazneniya okruzhayushchey sredy (Ufimskiy promyshlennyy tsentr, Respublika Bashkortostan)* [Seasonal variability of birch leaves (*Betula pendula* Roth) under conditions of industrial environment pollution (Ufa industrial centre, Republic of Bashkortostan)]. *Lesnoy vestnik / Forestry Bulletin*, 2025, vol. 29, no. 3, pp. 65–91. DOI: 10.18698/2542-1468-2025-3-65-91

References

- [1] Shvarts S.S. *Vnutripopulyatsionnaya izmenchivost' mlekopitayushchikh i metody ee izucheniya* [Intrapopulation variability of mammals and methods of its study]. *Zoologicheskii zhurnal* [Zoological journal], 1963, v. 42, iss. 3, pp. 417–433.
- [2] Bol'shakov V.N. *Izuchenie vnutrividovoy izmenchivosti krasnoy polevki metodom kolorimetricheskoy otsenki okraski mekha* [Study of intraspecific variability of the red-backed vole by colorimetric assessment of fur color]. *Ekologicheskie osnovy adaptatsii zhivotnykh* [Ecological foundations of animal adaptation]. Ed. S.S. Schwartz. Moscow: Nauka, 1967, pp. 49–55.
- [3] Zakharov V.M. *Asimmetriya zhivotnykh (populyatsionno-fenogeneticheskiy podkhod)* [Asymmetry of animals (population-phenogenetic approach)]. Ed. A.V. Yablokov. Moscow: Nauka, 1987, 215 p.
- [4] Zakharov V.M., Baranov A.S., Borisov V.I. *Zdorov'e okruzhayushchey sredy: metody otsenki* [Environmental health: assessment methods]. Moscow: Tsentr ekologicheskoy politiki Rossii [Center for Environmental Policy of Russia], 2000, 68 p.
- [5] Konstantinov E.L. *Osobennosti fluktuiruyushchey asimmetrii listovoy plastinki berezy povisloy (Betula pendula Roth.) kak vida bioindikatora* [Features of fluctuating asymmetry of leaf blade of silver birch (*Betula pendula* Roth.) as a bioindicator species]. Diss. Cand. Sci. (Biol.), 03.00.16. Kaluga, 2001, 20 p.
- [6] Zarenkov N.A. *Biosimmetrika* [Biosymmetry]. Moscow: URSS, 2009, 318 p.
- [7] Rusanovich I.I. *Vnutrividovaya izmenchivost' i sistematika belykh berez Evropeyskoy chasti SSSR v svyazi s introduktsiyey* [Intraspecific variability and taxonomy of white birches of the European part of the USSR in connection with introduction]. Diss. Cand. Sci. (Biol.), 03.00.05. Moscow, 1981, 231 p.
- [8] Danchenko A.M. *Populyatsionnaya izmenchivost' berezy* [Population variability of birch]. Ed. V.L. Cherepnin. Novosibirsk: Nauka, 1990, 202 p.
- [9] Mamaev S.A. *O zakonornostyakh vnutrividovoy izmenchivosti drevesnykh rasteniy* [On the patterns of intraspecific variability of woody plants]. *Teoreticheskie osnovy vnutrividovoy izmenchivosti i struktura populyatsii khvoynykh porod* [Theoretical foundations of intraspecific variability and population structure of coniferous species]. Sverdlovsk: Ural'skiy nauchnyy tsentr AN SSSR [Ural Scientific Center of the USSR Academy of Sciences], 1974, pp. 3–12.
- [10] Makhnev A.K. *Vnutrividovaya izmenchivost' i tsennyye dlya selektsii formy berezy Urala* [Intraspecific variability and valuable forms of Ural birch for breeding]. *Lesnaya genetika, selektsiya i semenovodstvo (Po materialam soveshchaniya, sostoyavshegosya 12–15 dekabrya 1967 g. v g. Petrozavodsk)* [Forest genetics, breeding and seed production (Based on the materials of the meeting held on December 12–15, 1967 in Petrozavodsk)]. Ed. V.I. Ermakov. Petrozavodsk: Karelia, 1970, pp. 266–270.

- [11] Makhnev A.K. *Vnutrividovaya izmenchivost' ural'skikh berez po biologicheskim svoystvam semyan* [Intraspecific variability of Ural birches in biological properties of seeds]. *Struktura populyatsiy i ustoychivost' rasteniy na Urale*. Ser. Vypusk 116 «Trudy instituta ekologii rasteniy i zhivotnykh Ural'skogo nauchnogo tsentra AN SSSR» [Population structure and plant stability in the Urals. Series. Issue 116 «Proceedings of the Institute of Plant and Animal Ecology, Ural Scientific Center, USSR Academy of Sciences». Sverdlovsk: Ural'skiy nauchnyy tsentr AN SSSR [Ural Scientific Center, USSR Academy of Sciences], 1978, pp. 11–62.
- [12] Makhnev A.K. *Vnutrividovaya izmenchivost' i struktura populyatsiy berez sekti Nanae na Urale i Altae* [Intraspecific variability and population structure of birches of the Nanae section in the Urals and Altai]. *Issledovanie form vnutrividovoy izmenchivosti rasteniy* [Study of forms of intraspecific variability of plants]. Sverdlovsk: UNTs AN SSSR [Ural Scientific Center, USSR Academy of Sciences], 1981, pp. 3–24.
- [13] Makhnev A.K. *O vnutrividovoy izmenchivosti i populyatsionnoy strukture belykh berez na Urale* [On intraspecific variability and population structure of white birches in the Urals]. *Ekologiya i fiziologiya osnovnykh lesoobrazuyushchikh vidov Urala: sbornik nauchnykh trudov* [Ecology and physiology of the main forest-forming species of the Urals: collection of scientific papers]. Ed. E.P. Smolonogov, Yu.A. Tereshin. Sverdlovsk: UNTs AN SSSR [Ural Scientific Center of the USSR Academy of Sciences], 1986, pp. 3–14.
- [14] Makhnev A.K., Mamaev S.A. *Vnutrividovaya izmenchivost' i struktura populyatsiy berezy v gorakh Yuzhnogo Urala v svyazi s vysoynoy poyasnost'yu* [Intraspecific variability and population structure of birch in the mountains of the Southern Urals in connection with altitudinal zonation]. *Ekologiya* [Ecology], 1972, no. 1, pp. 24–36.
- [15] Makhnev A.K., Mamaev S.A. *Vnutrividovaya izmenchivost' berez na Urale v svyazi s problemami sistematiki roda* [Intraspecific variability of birches in the Urals in connection with the problems of taxonomy of the genus]. *Zakonmernosti vnutrividovoy izmenchivosti listvennykh drevesnykh porod* (Trudy Instituta ekologii rasteniy i zhivotnykh/ AN SSSR Ural'sk. nauch. tsentr; Vyp. 91) [Patterns of intraspecific variability of deciduous tree species (Proceedings of the Institute of Plant and Animal Ecology. USSR Academy of Sciences Ural Scientific Center; Issue 91). Ed. S.A. Mamaev, A.K. Makhnev. Sverdlovsk, 1975, pp. 67–77.
- [16] Pobirushko V.F. *Ekologo-biologicheskie osobennosti i vnutrividovaya izmenchivost' nekotorykh vidov roda Betula L. na graniitsakh arealov (v usloviyakh Belarusi)* [Ecological and biological characteristics and intraspecific variability of some species of the genus Betula L. at the boundaries of their ranges (in Belarus)]. *Diss. Cand. Sci. (Biol.)*, 03.00.05. Minsk, 1992, 25 p.
- [17] Galeev E.I., Kononov V.F. *Vnutrividovaya izmenchivost' vegetativnykh organov berezy povisloy na Yuzhnom Urale* [Intraspecific variability of vegetative organs of silver birch in the Southern Urals]. *Lesa Bashkortostana: sovremennoe sostoyanie i perspektivy: mater. nauchno-prakticheskoy konferentsii* [Forests of Bashkortostan: current state and prospects: materials of the scientific and practical conference], Ufa, March 12, 1997. Ufa: Akademiya nauk Respubliki Bashkortostan [Academy of Sciences of the Republic of Bashkortostan], 1997, pp. 137–138.
- [18] Mamaev S.A., Makhnev A.K. *Izucheniye vnutrividovoy izmenchivosti Ural'skikh berez v geograficheskikh kul'turakh* [Study of intraspecific variability of Ural birches in geographical cultures]. *Sostoyanie i perspektivy razvitiya lesnoy genetiki, selektsii, semenovodstva i introduktsii: Metody selektsii drevesnykh porod* (Sbornik tezisev dokl. soveshch. 13–15 avg. 1974 g.) [Status and prospects of development of forest genetics, selection, seed production and introduction: Methods of selection of tree species (Collection of abstracts of reports of the meeting of August 13–15, 1974)]. Riga, 1974, pp. 79–82.
- [19] Deryuzhkin R.I. *Geograficheskaya i ekologicheskaya izmenchivost' listvenitsy i sosny i ee znachenie dlya lesnogo semenovodstva* [Geographical and ecological variability of larch and pine and its importance for forest seed production]. *Diss. Cand. Sci. (Agric.)*. Voronezh, 1955, 20 p.
- [20] Strel'tsov A.B. *Regional'naya sistema biologicheskogo monitoringa* [Regional system of biological monitoring]. Kaluga: Izd-vo Kaluzh. TsNTI [Publishing house of Kaluga Central Scientific and Technical Information], 2003, 150 p.
- [21] Zakharov V.M. *Asimmetriya zhivotnykh* [Asymmetry of animals]. Moscow: Nauka, 1987, 215 p.
- [22] Kozhara A.V. *Struktura pokazatelya fluktuiruyushchey asimmetrii i ego prigodnost' dlya populyatsionnykh issledovaniy* [Structure of the fluctuating asymmetry index and its suitability for population studies]. *Biologicheskie nauki* [Biological sciences], 1985, no. 6, pp. 100–104.
- [23] Chistyakova E.K. *Analiz stabil'nosti razvitiya v prirodnykh populyatsiyakh rasteniy na primere berezy povisloy (Betula pendula Roth.)* [Analysis of developmental stability in natural plant populations using the example of silver birch (Betula pendula Roth.)]. *Diss. Cand. Sci. (Biol.)*, 03.00.15. Moscow, 1997, 20 p.
- [24] Zakharov V.M., Baranov A.S., Borisov V.I., Valetskiy A.V., Kryazheva N.G., Chistyakova E.K., Chubinishvili A.T. *Zdorov'e sredi: metodika otsenki* [Environmental health: assessment methods]. Moscow: Tsentr ekologicheskoy politiki Rossii [Center for Environmental Policy of Russia], 2000, 68 p.
- [25] Zakharov V.M., Shkil' F.N., Kryazheva N.G. *Otsenka stabil'nosti razvitiya berezy v raznykh chastyakh areala* [Assessment of the stability of birch development in different parts of the range]. *Vestnik Nizhegorodskogo universiteta im. N.I. Lobachevskogo. Seriya: Biologiya* [Bulletin of the Nizhny Novgorod University named after N.I. Lobachevsky. Series: Biology], 2005, no. 1, pp. 77–84.
- [26] Givnish T.J. *Ecological aspects of plant morphology: leaf form in relation to environment*. *Acta Biotheoretica*, 1978, v. 27, pp. 83–142.
- [27] Kulagin A.Yu., Tagirova O.V. *Lesnye nasazhdeniya Ufimskogo promyshlennogo tsentra: sovremennoe sostoyanie v usloviyakh antropogennykh vozdeystviy* [Forest plantations of the Ufa industrial center: current state under anthropogenic impacts]. Ufa: Gilem, 2015, 196 p.
- [28] Klingenberg C.P., McIntyre G.S. *Geometric morphometrics of developmental instability: Analyzing patterns of fluctuating asymmetry with procrustes methods*. *Evolution*, 1998, v. 52, pp. 1363–1375.
- [29] Graham J.H., Shimizu K., Emlen J.M., Freeman D., Merkel J. *Growth models and the expected distribution of fluctuating asymmetry*. *Biol. J. Linn. Soc.* 2003, v. 80, pp. 57–65.
- [30] Shadrina E.G., Vol'pert Ya.L. *Naruseniya stabil'nosti razvitiya organizma kak rezul'tat pessimizatsii sredi pri tekhnogennoy transformatsii prirodnykh landshaftov* [Violations of the stability of organism development as a result of environmental pessimization during technogenic transformation of natural landscapes]. *Ontogenez* [Ontogenesis], 2014, v. 45, no. 3, p. 151–161.

- [31] Van Valen L. A study of fluctuating asymmetry. *Evolution*, 1962, v. 16, pp. 125–142.
- [32] Tagirova O.V. *Otnositel'noe zhiznennoe sostoyaniye nasazhdeniy berezy povisloy (Betula pendula Roth) v usloviyakh Ufimskogo promyshlennogo tsentra: izmeneniya za period 2010–2022 gg.* [Relative vitality of silver birch stands (Betula pendula Roth) in the Ufa industrial center: changes over the period 2010–2022]. *Lesa Rossii i khozyaystvo v nikh* [Forests of Russia and their management], 2024, no. 1 (88), pp. 83–92.
- [33] Tagirova O.V., Kulagin A.Yu. *Kharakteristika sostoyaniya nasazhdeniy berezy povisloy (Betula pendula Roth) s ispol'zovaniem metodov otnositel'nogo zhiznennogo sostoyaniya derev'ev i integral'nogo pokazatelya stabil'nosti razvitiya rasteniy (Ufimskiy promyshlennyy tsentr, Respublika Bashkortostan)* [Characteristics of the state of silver birch (Betula pendula Roth) stands using the methods of relative tree vitality and the integral indicator of plant development stability (Ufa Industrial Center, Republic of Bashkortostan)]. *Izvestiya Ufimskogo nauchnogo tsentra RAN* [Bulletin of the Ufa Scientific Center of the Russian Academy of Sciences], 2015, no. 4(1), pp. 160–167.
- [34] Shcheplyagin P.V., Gromov A.M., Volkov K.A., Bulatova N.V., Zubova S.S. *Otsenka vliyaniya antropogennoy nagruzki v lesoparke im. Lesovodov Rossii g. Ekaterinburga po fluktuiruyushchey asimmetrii list'ev berezy povisloy* [Morphological variability of leaves as an indicator of Betula pendula Roth adaptability to extreme forest growth conditions]. *Naukosfera* [Ecobiotech], 2020, v. 3, no. 4, pp. 680–689.
- [35] *Atlas Respubliki Bashkortostan* [Atlas of the Republic of Bashkortostan]. Ed. I.M. Yaparov. Ufa: Kitap, 2005, 420 p.
- [36] *Kartoskhema g. Ufy s razmeshcheniem PP1 i PP11* [Map of Ufa with the location of PP1 and PP11]. Available at: <https://maps.app.goo.gl/Q5aD3G9D7B4ThfTR6.html> (accessed 02.04.2024).
- [37] *Temperaturnyy rezhim 2022 g.* [Temperature regime in 2022]. Available at: <https://rp5.ru.html> (accessed 01.03.2024).
- [38] Sukachev V.N., Rauner Yu.L., Molchanov A.A. *Programma i metodika biogeotsenologicheskikh issledovaniy* [Program and methodology of biogeocenological studies]. Moscow: Nauka, 1966, 333 p.
- [39] Yarmishko V.T., Lyanguzova I.V. *Metody izucheniya lesnykh soobshchestv* [Methods for studying forest communities]. St. Petersburg: NIIKhimii SPbGU [Research Institute of Chemistry of St. Petersburg State University], 2002, 240 p.
- [40] Alekseev V.A. *Nekotorye voprosy diagnostiki i klassifikatsii povrezhdennykh zagryazneniem lesnykh ekosistem* [Some issues of diagnostics and classification of forest ecosystems damaged by pollution]. *Lesnye ekosistemy i atmosfernoye zagryaznenie* [Forest ecosystems and atmospheric pollution]. Leningrad: Nauka, 1990, pp. 38–54.
- [41] Cornelissen J.H. C., Lavorel S., Garnier E., Diaz S., Buchmann N., Gurvich D.E., Reich P.B., ter Steege H., Morgan H.D., van der Heijden M.G. A., Pausas J.G., Poorter H. A handbook of protocols for standardised and easy measurements of plant functional traits worldwide. *Australian J. of Botany*, 2003, v. 51, no. 4, pp. 335–380. DOI: 10.1071/bt02124
- [42] Graham J.H., Raz S., Hel-Or H., Nevo E. Fluctuating asymmetry: Methods, theory, and applications. *Symmetry*, 2010, v. 2, pp. 466–540. DOI: 10.3390/sym2020466
- [43] Graham J.H., Whitesell M.J., Fleming M., Hel-Or H., Nevo E., Raz Sh. Fluctuating asymmetry of plant leaves: batch processing with LAMINA and continuous symmetry measures. *Symmetry*, 2015, v. 7, pp. 255–268. DOI: 10.3390/sym7010255
- [44] Kurchenko E.I., Shorina N.I. *O kontseptsii simmetrii v botanike* [On the concept of symmetry in botany]. *Vestnik TvGU. Seriya: Biologiya i ekologiya* [Bulletin of TVSU. Series: Biology and Ecology], 2013, iss. 32, no. 31, pp. 180–194.
- [45] Ivanter E.V., Korosov A.V. *Vvedenie v kolichestvennyuyu biologiyu* [Introduction to quantitative biology]. Petrozavodsk: PetrSU Publishing House, 2014, 298 p.
- [46] Tarabrin V.P., Kondratyuk E.N., Bashkatov V.G., Gnatenko A.A., Korshikov I.I., Chernyshova L.V., Shatskaya R.M. *Fitotoksichnost' organicheskikh i neorganicheskikh zagryazniteley* [Phytotoxicity of organic and inorganic pollutants]. Kyiv: Naukova dumka, 1986, 216 p.
- [47] Nikolaevskiy V.S. *Ekologicheskaya otsenka zagryazneniya sredy i sostoyaniya nazemnykh ekosistem metodami fitoindikatsii* [Ecological assessment of environmental pollution and the state of terrestrial ecosystems using phytointication methods]. Moscow: MSFU, 1998, 191 p.

The work was carried out on the equipment of the centre of collective use «Agidel» within the framework of planned research under the budgetary theme № 123020700152-5 FMRS-2023-0008 «Sustainability of forest-forming tree species and ecological and biological adaptations considering anthropogenic transformation of landscape-natural complexes».

Authors' information

Tagirova Olesya Vasil'evna — Cand. Sci. (Biology), Senior Researcher of the Ufa Institute of Biology — a separate structural subdivision of the Federal State Budgetary Scientific Institution Ufa Federal Research Center of the Russian Academy of Sciences (UIB UFIC RAS), olecyi@mail.ru

Kulagin Aleksey Yur'evich — Dr. Sci. (Biology), Head of the Laboratory of Forestry of the Ufa Institute of Biology — a separate structural subdivision of the Federal State Budgetary Scientific Institution Ufa Federal Research Center of the Russian Academy of Sciences (UIB UFIC RAS), coolagin@list.ru

Received 22.08.2024.

Approved after review 27.12.2024.

Accepted for publication 17.03.2025.

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

ФЕНОЛОГИЧЕСКИЕ НАБЛЮДЕНИЯ В РАБОТАХ Г.Э. ИОГАНЗЕНА (ПО МАТЕРИАЛАМ ОТДЕЛА РУКОПИСЕЙ И КНИЖНЫХ ПАМЯТНИКОВ НАУЧНОЙ БИБЛИОТЕКИ ТОМСКОГО ГОСУДАРСТВЕННОГО УНИВЕРСИТЕТА И ГОСУДАРСТВЕННОГО АРХИВА ТОМСКОЙ ОБЛАСТИ)

Т.Э. Куклина

ФГАОУ ВО «Национальный исследовательский Томский государственный университет», Россия, 634050,
г. Томск, пр. Ленина, д. 36

t_kuklina63@mail.ru

Проанализированы архивные материалы, касающиеся фенологических наблюдений Г.Э. Иоганзена (1866–1930), профессора Томского государственного университета (кафедра сравнительной анатомии и зоологии позвоночных), выдающегося зоолога, орнитолога, энтомолога, фенолога. Проведен сравнительный анализ опубликованных и неопубликованных работ. Установлено, что в публикациях, посвященных творчеству ученого, имеются неточности. В ходе сравнительного анализа опубликованных и не опубликованных работ Г.Э. Иоганзена выявлено несколько автографов, которые не упоминаются в специальной литературе. Показано, что заметки Г.Э. Иоганзена имеют не только научную, но историко-культурную ценность, а некоторые из них могут служить косвенными свидетельствами использования в озеленении города отдельных видов древесных растений, иногда указаны даже конкретные места их произрастания. Приведены фрагменты рукописи «Начала томской фенологии», содержащие данные о средних многолетних датах наступления фенофаз у некоторых местных и интродуцированных видов древесных растений.

Ключевые слова: Г.Э. Иоганзен, фенологические наблюдения, архивные материалы, древесные растения, г. Томск

Ссылка для цитирования: Куклина Т.Э. Фенологические наблюдения в работах Г.Э. Иоганзена (по материалам отдела рукописей и книжных памятников Научной библиотеки Томского государственного университета и Государственного архива Томской области) // Лесной вестник / Forestry Bulletin, 2025. Т. 29. № 3. С. 92–110. DOI: 10.18698/2542-1468-2025-3-92-110

27 октября 2026 г. исполнится 160 лет со дня рождения Германа Эдуардовича Иоганзена (1866, Омск — 1930, Томск), выдающегося зоолога, орнитолога, энтомолога, фенолога, профессора Томского государственного университета (ТГУ) кафедры сравнительной анатомии и зоологии позвоночных (рис. 1). Его биография подробно освещена в работах [1–12].

Детство и юность Г.Э. Иоганзена прошли в Твери, где он окончил классическую гимназию, уже тогда проявив интерес к орнитологическим наблюдениям. В 1885 г. он поступил на естественное отделение физико-математического факультета Императорского Дерптского университета (ныне — Тартуский университет, г. Тарту, Эстония), которое окончил со степенью кандидата зоологии в 1889 г. В 1891–1892 гг. Г.Э. Иоганзен работал в качестве прозектора на частной биологической станции Н.А. Абрикосова

в Тарасовке под Москвой. В это же время появились его первые научные публикации.

В 1893 г. Г.Э. Иоганзен принял решение переехать в Сибирь в надежде получить место в недавно открытом Томском университете. Однако кафедра зоологии уже была занята профессором Н.Ф. Кашенко, поэтому Г.Э. Иоганзен начал работу с должности учителя немецкого языка, а позднее — естественной истории и физики в Томском Алексеевском реальном училище.

С первых лет пребывания в Томске судьба Г.Э. Иоганзена была связана с первым в Сибири университетом. В 1894 г. в свое свободное время он работал в зоологическом музее, приводя в порядок сборы и музейные коллекции. В 1907 г. оставил службу в реальном училище и перешел на должность консерватора зоологического музея. Все это время Г.Э. Иоганзен много преподавал, совершал экспедиционные поездки по Сибири, принимал активное участие в работе

Сибирских высших женских курсов и Института исследования Сибири. В 1921 г. его избрали профессором сравнительной анатомии и зоологии позвоночных физико-математического факультета ТГУ.

Г.Э. Иоганзен известен прежде всего как орнитолог: в результате поездок и экскурсий по Западной Сибири и Алтаю им описаны некоторые подвиды птиц. Впервые в Сибири им проводилось кольцевание птиц. Кроме того, были продолжены начатые еще в студенческие годы занятия энтомологией.

Остановимся на фенологических наблюдениях Г.Э. Иоганзена, материалы которых до сих пор полностью не введены в научный оборот.

Документы, связанные с жизнью и деятельностью Г.Э. Иоганзена, отложились в составе двух собраний: отдела рукописей и книжных памятников Научной библиотеки ТГУ (ОРКП НБ ТГУ) и Государственного архива Томской области (ГАТО). Архив, хранящийся в настоящее время в ОРКП НБ ТГУ, был передан туда наследниками Г.Э. Иоганзена в 1997 г. и описан сотрудником ОРКП Н.В. Васенькиным (в предисловии приводится краткая биография ученого) [13]. Именно здесь хранятся материалы, посвященные фенологическим наблюдениям — автографы, тетради с наклеенными вырезками из газет, некоторые опубликованные работы. Часть архива, которая оказалась в ГАТО, в настоящее время хранится в составе двух дел [14, 15]:

- первое [14] — содержит биографию Г.Х. Иогансена¹, Б.Г. Иоганзена², Г.Э. Иоганзена, основную литературу о Г.Э. Иоганзене;

- второе [15] — включает в себя следующие материалы: 1) Из жизни томской природы. Дневники фенологических наблюдений за 1918–1925 гг. С предисловием и под редакцией Б.Г. Иоганзена. 360 с. Машинопись; 2) Проф. Г.Э. Иоганзен. Рыбы и рыбные богатства СССР по зоогеографическим участкам и бассейнам рек и морей. С. 361–489. Машинопись. Предисловие — автограф Б. Иоганзена, 14 дек. 1932 г.

Исследование обеих частей архива Г.Э. Иоганзена показало, что в имеющихся публикациях, посвященных творчеству ученого, имеются неточности.

Цель работы

Цель работы — сравнительный анализ опубликованных и неопубликованных работ Г.Э. Иоганзена, посвященных фенологическим наблюдениям, а также публикация фрагмента одной из рукописей.

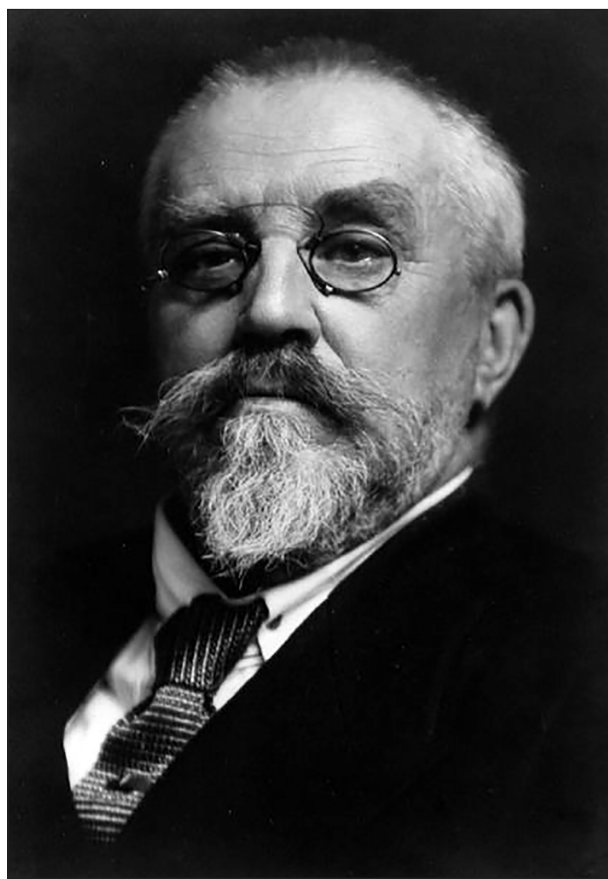


Рис. 1. Г.Э. Иоганзен (<https://www.elib.tomsk.ru/page/30031/>)

Fig. 1. G.E. Ioganzhen (<https://www.elib.tomsk.ru/page/30031/>)

Результаты и обсуждение

Есть сведения, что первые фенологические наблюдения Г.Э. Иоганзена опубликованы в 1894–1896 гг. в газете «St. Petersburg Herald»³ [7]. В ОРКП и общем фонде НБ ТГУ, а также в ГАТО это издание отсутствует. Одна из тетрадей архивного фонда ОРКП содержит несколько вклеенных вырезок из этой газеты за 1894(?)–1896 гг., посвященных фенологическим наблюдениям [16, л. 25–33]. Сам Г.Э. Иоганзен называл эти заметки «мои первые попытки в «рабкорсты» [16, л. 1].

Выдержки из дневников наблюдений начали публиковать с апреля 1911 г. в виде небольших заметок в томской газете «Сибирское слово» (впоследствии «Утро Сибири») под заглавиями «Весна идет!», «Весна пришла!», «Наше лето», «Наша осень» и «Наша зима». С 1914 по 1919 гг. Г.Э. Иоганзен вел в «Сибирской жизни» раздел «Из жизни томской природы». В 1919 г. он поместил несколько статей из цикла «Четверть века фенологических наблюдений в Томске» в периодическом издании «Вестник

Томской губернии». Несколько лет Г.Э. Иоганзен сотрудничал с газетой «Красное знамя», где вел раздел «Томская природа». Всего им опубликовано 225 газетных заметок [12]. М.А. Тюльпанов [7] указал на наличие более 280 заметок. В 2013 г. одна из заметок, опубликованных в газете «Сибирская жизнь», была воспроизведена в экспресс-выпуске издания «Русский орнитологический журнал» [17].

Полностью дневник наблюдений за 1911 г. напечатан в календаре газеты «Утро Сибири» за 1912 г. [18]; наблюдения за 1912 г. изданы автором в 1914 г. [19, 20], наблюдения за 1913 г. напечатаны в сводном издании «Труды Томского общества изучения Сибири», Том III в 1915 г. [21].

В книге Н.С. Евсеевой «География Томской области» [22] со ссылкой на работу Г.В. Крылова и др. «Исследователи природы Западной Сибири» [3] указано, что фенологические заметки Г.Э. Иоганзена за 1914–1915 гг. изданы в сборнике «Известия Института исследований Сибири» (Т. 2, 1920), причем в этом выпуске напечатаны только фенологические заметки за 1914 г., а за 1915 г. — лишь отдельные фенодаты в конце публикации [23]. Наблюдения за 1915 г. полностью изданы только в 1927 г. в сборнике «Труды Общества изучения Томского края» (вып. 1) [24]. Наблюдения за 1916 г. опубликованы в 1930 г. в Т. 1 издания «Материалы по изучению Сибири» [25] уже после смерти автора. В 2018 г. фенологические заметки за 1915 г. были включены в публикацию И.А. Голева [26].

Дневники за 1918–1925 гг. отредактированы и подготовлены к печати Б.Г. Иоганзенем. Один экземпляр машинописного текста общим объемом 360 с. с предисловием и под редакцией Б.Г. Иоганзена хранится в ОРКП НБ ТГУ [27], другой — в ГАТО [15]. Судьба остальных трех копий неизвестна (в предисловии указано на наличие пяти машинописных копий).

Есть и другие неточности в отношении неопубликованных работ по фенологии. Так, в статье М.А. Тюльпанова [7] указано, что «фенологические материалы с 1917 по 1926 г., наиболее точные и полные, к сожалению, остались неопубликованными» [7, с. 283]. Б.Г. Иоганзен отмечал, что заметки за 1917 г. находятся в редакции (должны были быть изданы отдельной брошюрой), а не изданы дневники с 1918 по 1925 гг., действительно наиболее полные и точные, «так как в эти годы Г.Э. имел местом постоянного жительства построенную и оборудованную им Биологическую станцию в «Городке» близ Томска, где в течение 10 лет почти ежедневно имел общение с природой» [27, л. 3].

В описи архива, сделанной Н.В. Васенькиным [13], также указано, что неопубликованными остались наблюдения за 1917–1925 гг. Сам Г.Э. Иоганзен в предисловии к публикации «Из жизни томской природы. Дневник фенологических наблюдений за 1916 г.» отметил: «Надеясь, что последующие дневники, ведение которых я прекратил в 1926 г. в связи с переселением из Городка в город, также со временем будут напечатаны на страницах «Материалов по изучению Сибири», я постепенно подготавливаю их к печати» [25, с. 111]. Между тем в ОРКП кроме рукописных дневников за 1918 г. (Д. 2) [28], 1919 г. (Д. 4) [29], 1920 г. (Д. 5) [30], 1921 г. (Д. 6) [31], 1922 г. (Д. 7) [32], 1923 г. (Д. 9) [33], 1924 г. (Д. 10) [34], 1925 г. (Д. 11) [35], отредактированных Б.Г. Иоганзенем (Д. 3) [27], хранятся рукописные дневники за 1917 г. (Д. 1) [36], 1926 г. (Д. 12) [37], 1927–1929 гг. (Д. 13) [38], 1930 г. (Д. 14) [39]. В дневнике за 1930 г. большая часть записей (с л. 3 об., т. е. с 17 февраля 1930 г.) сделана рукой Б.Г. Иоганзена (умер Г.Э. Иоганзен 22 февраля 1930 г.) [27]. Значительная часть заметок за 1927–1929 гг. посвящена метеорологическим наблюдениям. На рукописном дневнике за 1917 г. содержится помета: «Переписано на машине и проверено» [36, л. 1], однако сам машинописный вариант в архиве не обнаружен.

В ОРКП также хранятся тетради с наклеенными вырезками из газет «Сибирское слово» («Утро Сибири») и «Сибирская жизнь» с авторскими правками опечаток и комментариями (Д. 15, Д. 16) [40, 41]. Структура заметок в целом повторяет дневниковую, т. е. для каждого числа месяца приводится своя запись, более или менее подробная, однако иногда эта структура несколько изменена. Так, статьи за сентябрь, октябрь, ноябрь 1913 г. [40, л. 66, 67, 68] представляют собой, скорее, краткие обзоры фенологических явлений.

Отдельного внимания заслуживает рукопись «Начала томской фенологии. Сводка наблюдений над периодическими явлениями в мире животных и растений окрестностей г. Томска за 1894–1928» (Д. 8) [42], где приведены данные многолетних метеорологических и фенологических наблюдений за древесными, травянистыми растениями в природе и культуре, за грибами и животными.

Фенологические наблюдения Г.Э. Иоганзена представляют не только научную, но и историко-культурную ценность. Написанные живым образным языком, они отражают отношение автора к разным явлениям жизни, подчас содержат нравственную оценку событий:

«Моим наблюдениям над образом жизни, главным образом, полетом пары летяг, происшедшем на одном и том же месте в течение нескольких недель почти каждый вечер около солнечного заката, неожиданно положен предел молодым человеком, не сумевшим иным способом и с большей пользой для себя и для других использовать появление близ его дачи этого интереснейшего зверка-грызуна, как пулюю из монтекристо⁴ убить летягу-самку с наполненными молоком млечными железами. Интереснейший зверок, доставивший немало удовольствия многим, погиб, но с ним вместе и его детеныши, лишенные материнской пищи, обречены на верную гибель. Самец еще несколько раз появлялся на даче, но теперь и он куда-то исчез. Бесцельное истребление живой природы в ее высших формах проявления, млекопитающих и птицах, со стороны деревенской детворы еще, пожалуй, простительно, но такому отношению к природе со стороны учащейся молодежи следует положить предел» [41, л. 18].

«В городе белки исчезли. Их всячески истребили, иногда подвергая мучениям, напр., отрывая у живых хвосты, привязывая за передние лапы к заборам и т. д. В окрестностях города их еще много. Мышей также много, и некоторые, как полевая, стараются проникнуть в дома» [41, л. 62].

«Апреля 25. — ... По ж.-д. ветке к ст. Тайга один верстовой сторож расставил ряд скворешен, по-видимому, нашедших обитателей. Пример, заслуживающий подражания и поощрения! В Германии в полосе отчуждения железных дорог устраиваются различного рода приюты для птиц, насаждаются кустарники и т. п.» [40, л. 35].

Заметки Г.Э. Иоганзена изобилуют простонародными названиями растений, грибов и животных: брянь-троецвет (*Polemonium coeruleum*), «колючий дьявол» (*Aralia chinensis mandshurica*) [35, 40], маральник (*Rhododendron*), вероника змеиная головка (*Veronica teucrium*), соломонова печать (*Poligonatum officinale*), желтый скрипун (*Sedum aizoon*), дикая рябинка (*Tanacetum vulgare*), «ветренник» (*Pulsatilla patens*), кукушкины сапожки всех трех видов (*Cypripedium calceolus*, *macranthum* и *guttatum*) [41], «троицына трава» (*Trientalis europaea*), царские кудри (*Lilium martagon*), грибы *Tricholoma sulphureum* — песочники («курочки», «зелянки», «канарейки»), *Alcedo ispida pallasii* — зимородок («каменный воробей») [42], «пронзенные сердца» (*Dichlytra spectabilis*) [40], алданский виноград, «охта» (*Ribes dikuscha*) [24] и др.

Некоторые заметки могут служить косвенными свидетельствами использования в озеленении отдельных видов древесных растений, причем иногда с указанием конкретных мест их произрастания:

«[Сентября] — 3 — утром сильный дождь⁵. В университетской роще оголяются тополя у озера. Хвоя лиственницы начинает желтеть» [40, л. 16].

«15/6. Утром +9°. ... В [Г]ородке⁶ за время моего отсутствия Min -3°, Max +26°. ... В Ун-те цветет сирень⁷» [28, л. 96 об.].

«18.V. Утром +5° (в 5 ч.). Утро и день солнечные. Днем жарко. ... Березы и черемухи начин. покрываться листьями, а также боярки⁸ на Красноарм. ул. и татарская жимолость в Ун-ской роще» [38, л. 58 об.].

«26.VII. Min +7°. Max +23°. Весь день солнечный, небо безоблачное. В универс. у фонтана цветет все еще *Rosa rugosa*?» [38, л. 28 об.].

«12. После дождя, бывшего ночью, утро пасмурное. День пасмурный с дождем при северном ветре. В Университетской роще цветут мушмула⁹, жимолость татарская, яблони и желтые акации. ...» [24, с. 71].

«15.VI. В Городке minimum за ночь +10°. ... В городе нач. цвести сирень и желтая акация. В Городке maximum +24°» [36, л. 18 об.].

Не ускользали от внимательного взгляда исследователя и интересные декоративные формы растений: «-27. — ... На лугу среди множества цветущих кандыков найдено с десятков экземпляров с белыми венчиками. Красивая разновидность, достойная внимания садоводов и заслуживающая быть фиксированной» [40, л. 35].

Рисунков в рукописных дневниках Г.Э. Иоганзена всего два: на одном — градина в натуральную величину (рис. 2), на другом — относительные размеры Луны и Венеры (рис. 3).

В опубликованных дневниках Г.И. Иоганзена также два рисунка: на одном — план сурчины (норы, вырытой алтайским сурком — *Marmota (Arctomys) baibacina*, которую впервые в Сибири автор исследовал 26–29 января 1914 г.) на берегу р. Ушайки в окрестностях г. Томска [23, вклейка между с. 56 и 57], на другом — котцы (ловушки для рыбы), точнее, горизонтальный разрез части такого сооружения с указанием приблизительных размеров [25, с. 141].

Г.Э. Иоганзен всегда указывал, что в своих работах приводил наблюдения не только собственные, но и других лиц — «природко-ров», как он их называл (это и его товарищи, и ученики по университету, и сыновья, и многие другие, которым Герман Эдуардович был неизменно очень признателен за всякого рода сообщения о наблюдениях в природе).

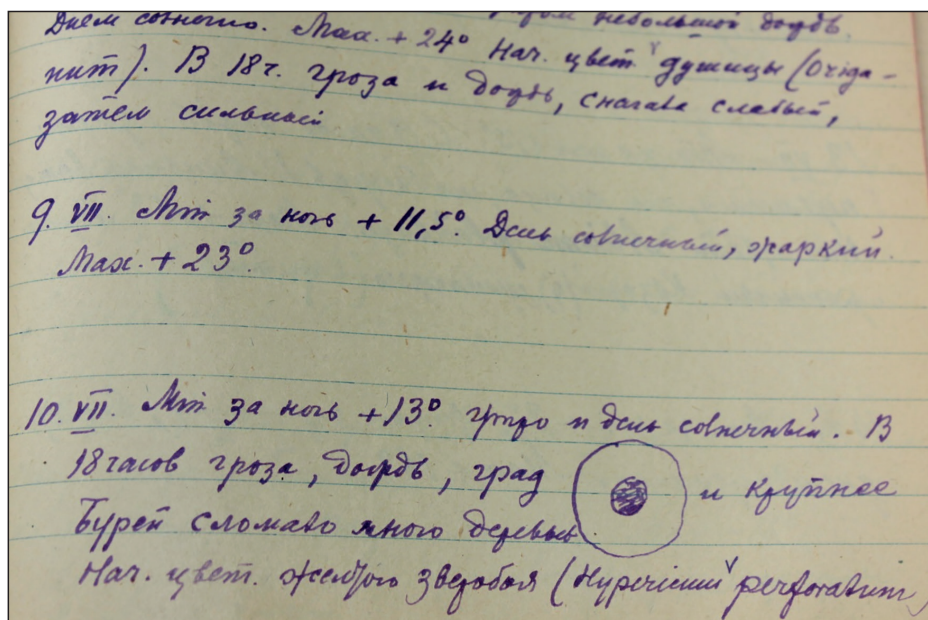


Рис. 2. Градина в натуральную величину. ОРКП НБ ТГУ. Ф. 22. Оп. 1. Д. 12. Л. 22 (фото Н.В. Гончаровой)

Fig. 2. Life-size hailstone. Rare Books and Manuscripts Department of Tomsk State University Research Library (ORKP). Fund 22. List 1. File 12. F. 22 (photo by N.V. Goncharova)

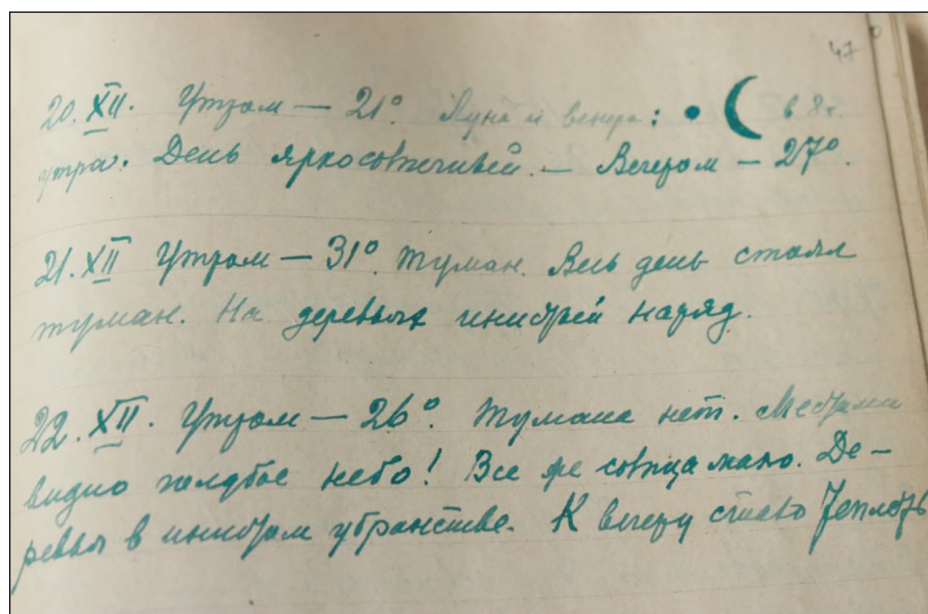


Рис. 3. Относительные размеры Луны и Венеры. ОРКП НБ ТГУ. Ф. 22. Оп. 1. Д. 13. Л. 47 (фото Н.В. Гончаровой)

Fig. 3. Relative sizes of the Moon and Venus. Rare Books and Manuscripts Department of Tomsk State University Research Library (ORKP). Fund 22. List 1. File 13. F. 47 (photo by N.V. Goncharova)

В итоговую сводку [42] вошли не все виды, упоминаемые в опубликованных и неопубликованных работах (возможно, в связи с недостаточным количеством лет наблюдений). Так, например, из древесных растений не вошли в

сводку: «канадский маральник (*Rhododendron canadense*)» [24], «*Aralia chinensis mandshurica*» [36, 41], ежевика (*Rubus caesius*) [24], даурский плющ (*Menispermum dauricum*) [25], облепиха¹⁰, клюква, ежевика и др. [24, 25 и др.].

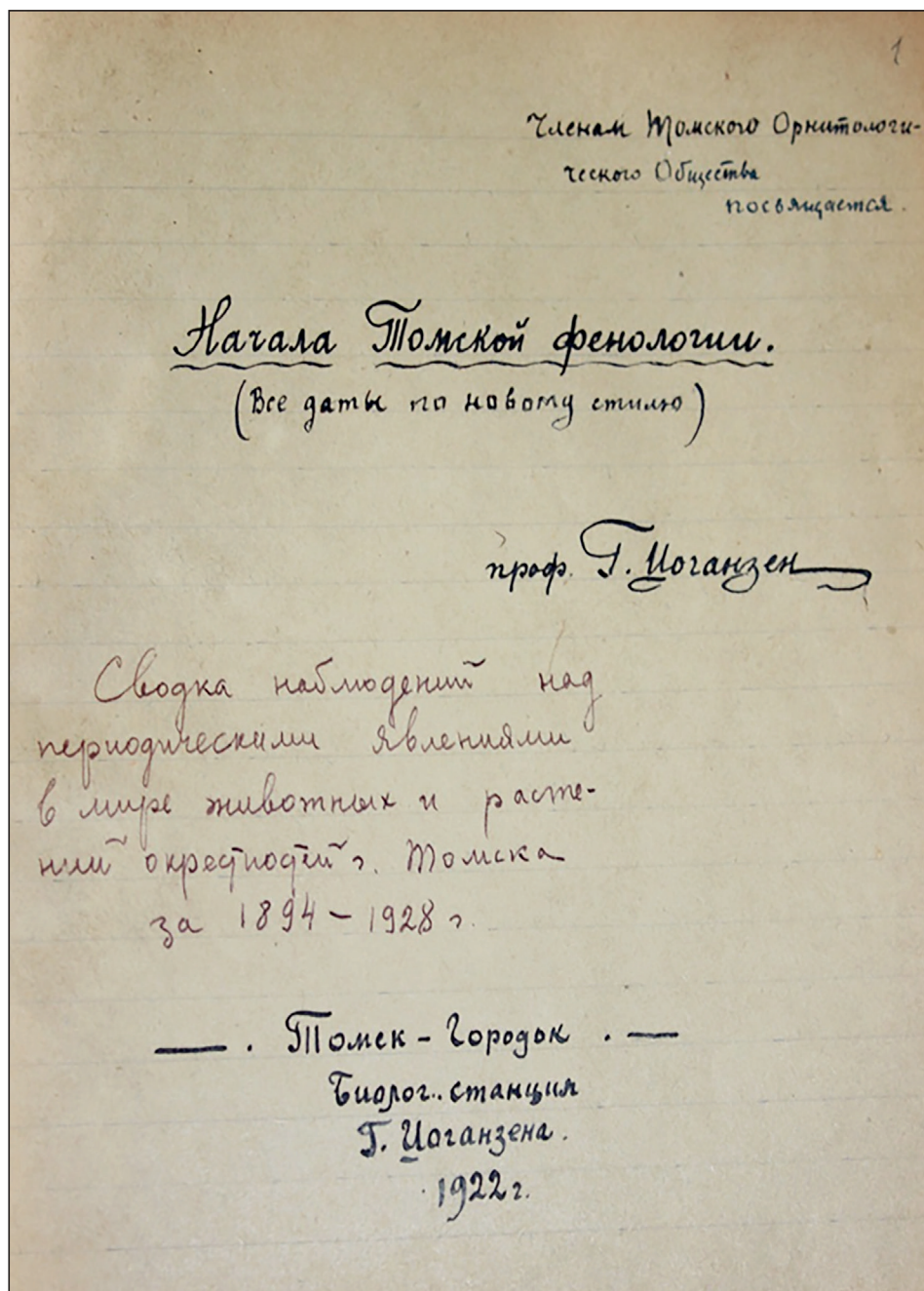


Рис. 4. Титульный лист. ОРКП НБ ТГУ. Ф. 22. Оп. 1. Д. 8. Л. 1. (фото Н.В. Гончаровой)

Fig. 4. Title. Rare Books and Manuscripts Department of Tomsk State University Research Library (ORKP). Fund 22. List 1. File 8. F. 1. (photo by N.V. Goncharova)

Из итоговой сводки [42] нами выбраны фрагменты, посвященные только наблюдениям за древесными растениями. В настоящее время такие наблюдения проводятся как в Сибирском ботаническом саду, так и в Биологическом институте ТГУ [43–46 и др.], поэтому публикуемые материалы могут заинтересовать интродукторов, ботаников, специалистов в области лесного хозяйства и ландшафтного

строительства (полностью текст рукописи планируется к публикации в составе коллективной монографии) (рис. 4).

В публикуемых фрагментах сохранены различные варианты выделений и подчеркиваний, используемые Г.Э. Иоганзенем. Расположение текста, принятое в рукописи, не сохранено. Текст публикуется в соответствии с современными правилами орфографии и пунктуации.

Иоганзен Г.Э. Начала томской фенологии. Сводка наблюдений над периодическими явлениями в мире животных и растений окрестностей Томска за 1894–1928 годы (ОРКП НБ ТГУ. Ф. 22: Иоганзен Г.Э. ОП. 1. Д. 8. 120 л.) [42].

Л. 17 об. Средние Г.Э. выведены по данным на 1922 г. За последующие годы они часто меняются, что и проверено мною. 22/VIII 33 Подпись Б.Г. Иоганзена (рис. 5).

Л. 18. Появление листы (заголовок взят в рамку красным карандашом).

1. *Larix sibirica*. Лиственница сибирская. Средн. 18 мая. 22.V.1911; 15.V.1912; 17.V.1913; 16.V.1914; 7.V.1915; 27.V.1916; 10.V.1917; 22.V.1918; 17.V.1919; 22.V.1920; 24.V.1921; 19.1922; 24.V.23; 14.V.24; 24.V.25. 29.V.26; 6.V.27

2. *Salix sp.* Тальники¹¹ 18.V.1911.

3. *Quercus sp.*¹² Дуб. (От проф. М.Д. Рузского¹³) 4.VI.1922. 11.VI.24; 14.VI.25; 13.VI.27.

4. *Betula alba*.¹⁴ Береза Средн. 19 (зачеркнуто, исправлено на 21) мая. 30.V.1911; 16.V.12; 16.V.13; 13.V.14; 10.V.15; 26.V.16; 14.V.17; 23.V.18; 21.V.19; 26.V.20; 20.V.22; 28.V.23; 22.V.24; 26.V.25; 30.V.26. 10.V.27.

5. *Alnus fruticosa* Ольха Ср. 27 мая.

Л. 19. Появление листы (рис. 6).

6. *Populus tremula*. Осина 7.VI.1912.

7. *Populus alba*. Серебристый тополь. Ср. 28 мая. 5.VI.1911, 3.VI.13, 14.V.15; 29.V.16.

8. *Populus* 13.V.1914; 9.V.15 об. 15 (написано карандашом) 4.VI.26, 10.V.27.

9. *Tilia cordata*. Липа¹⁶ 7.VI.1916; 4.VI.22.

10. *Prunus padus*. Черемуха¹⁷ Средн. 16 мая. 15.V.1912; 6.V.14; 6.V.15; 26.V.16; 9.V.17; 11.V.18; 20.V.19; 22.V.20; 26.V.21; 19.V.22; 26.V.23; 17.V.24. 6.V.27.

11. *Sorbus aucuparia*. Рябина¹⁸ Средн. 18 (зачеркнуто, исправлено на 24) мая. 22.V.1912; 13.V.1915; 18.V.17; 22.V.22; 27.V.23; 24.V.24; 30.V.25; 4.VI.26.

Л. 20. Появление листы.

12. *Pirus sp.* Яблоня¹⁹ 13.V.15; 28.V.16; 23.V.18; 25.V.22; 22.V.24; 1.VI.25.

13. *Sambucus racemosa*. Бузина²⁰ Средн. 12 мая. 13.V.1913; 6.V.14; 1.V.15; 26.V.16; 12.V.17; 7.V.18; 17.V.19; 13.V.20; 22.V.21. 3.V–13.V.22; 7.V.23; 14.V.24; 24.V.25, 6.V.27.

14. *Crataegus sanguinea*. Боярышник сибирский Средн. 14 (зачеркнуто, исправлено на 17) мая. 10.V.1904; 13.V.12; 23.V.13; 6.V.14; 4.V.15; 26.V.16; 20.V.22; 27.V.23; 30.V.25; 12.V.27.

15. *Viburnum opulus*. Калина. 26.V.1916; 21.V.22.

16. *Cornus sibirica*. Дерен сибирский²¹ Средн. 23 (зачеркнуто, исправлено на 24) мая. 30.V.1911; 18.V.12; 27.V.14; 9.V.15; 5.VI.21; 21.V.22; 24.V.24.

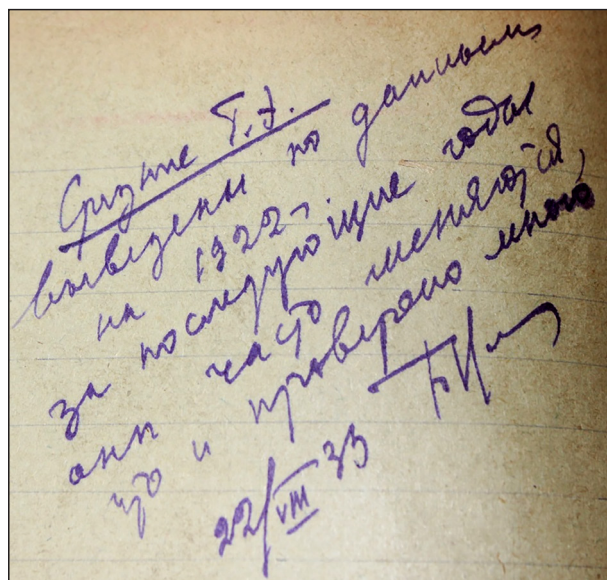


Рис. 5. Автограф Б.Г. Иоганзена. ОРКП НБ ТГУ. Ф. 22. Оп. 1. Д. 8. Л. 17 об. (фото Н.В. Гончаровой)

Fig. 5. Autograph of B.G. Ioganzen. Rare Books and Manuscripts Department of Tomsk State University Research Library (ORKP). Fund 22. List 1. File 8. F. 17 b. (photo by N.V. Goncharova)

17. *Acer sp.* Клен татарский²² 1.VI.1916; 5.VI.1921, 2.VI.23; 27.V.24.

18. *Syringa sp.* Сирень Ср. 22 V; 12.V.1915; 30.V.23; 1.VI.25; 12.V.27.

Л. 20 об. Ср. 23 V.

19. *Caragana frutescens* Степная акация²³ 4.VI.25, 12.V.27.

Дуб (от М.Д. Рузского) (зачеркнуто) 14.VI.25. (зачеркнуто) 13.VI.27. (зачеркнуто).

Л. 21. Появление листы.

20. *Caragana arborescens*. Желтая акация. Средн. 21 (зачеркнуто, исправлено на 23) мая. 22.V.1912; 13.V.15; 30.V.16; 22.V.22; 29.V.23; 24.V.24; 5.VI.25; 12.V.27.

21. *Sorbaria sorbifolia*. Спирея рябинолистная. Средн. 15 (зачеркнуто, исправлено на 16) мая. 19.V.1912; 13.V.13; 16.V.14; 9.V.15; 23.V.16; 10.V.17; 10.V.18; 20.V.19; 13.V.20; 22.V.21; 17.V.22; 23.V.23; 15.V.24; 24.V.25; 6.V.27.

22. *Spiraea chamaedrifolia*. Спирея дубровколистная. Ср. 23 V. 19.V.1922; 27.V.23; 19.V.24; 27.V.25.

23. *Spiraea salicifolia*. Спирея розовая²⁴. 21.V.1922; 27.V.23.

24. *Lonicera tatarica*. Жимолость татарская. Средн. 22 мая. 18.V.1912; 16.V.14; 28.V.16; 15.V.17; 20.V.19; 5.VI.21; 21.V.22; 30.V.23; 21.V.24; 27.V.25. 12.V.27.

25. *Lonicera xylosteum*. Жимолость обыкновенная. Средн. 24 мая. 18.V.1917; 20.V.1919; 4.VI.21; 24.V.22; 27.V.23; 21.V.24; 26.V.25.

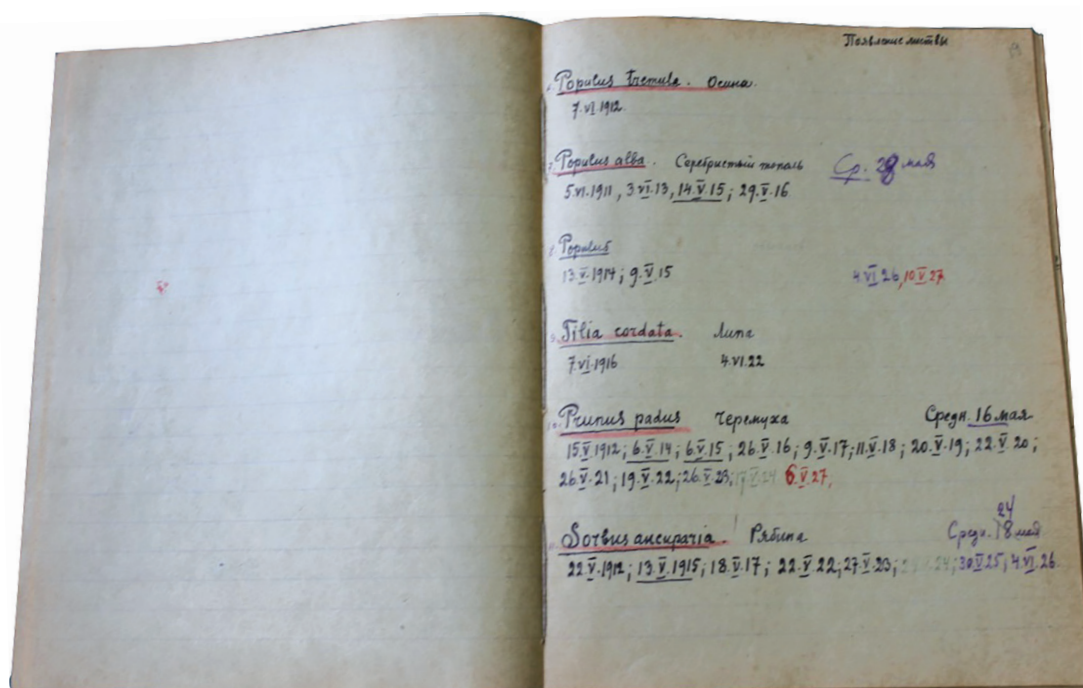


Рис. 6. Пример записей на странице рукописи Г.Э. Иоганзена «Начала Томской фенологии». ОРКП НБ ТГУ. Ф. 22. Оп. 1. Д. 8. Л. 19 (фото Н.В. Гончаровой)

Fig. 6. An example of notes on a page of G.E. Ioganzen's manuscript «The Beginnings of Tomsk Phenology». Rare Books and Manuscripts Department of Tomsk State University Research Library (ORKP). Fund 22. List 1. File 8. F. 19 (photo by N.V. Goncharova)

26. *Lonicera coerulea*. Жимолость голубая. Средн. 22 мая. 21.V.22; 19.V.24; 26.V.25.

Л. 22. Появление листы.

27. *Cotoneaster acutifolia et vulgaris* Ирга. (Кизильник)²⁵ Ср. 1 VI. 7.VI.1915; 28.V.16; 30.V.23; 1.VI.25.

28. *Rubus idaeus*. Малина. Ср. 23 мая. 9.V.1915; 28.V.16; 23.V.18; 25.V.22; 1.VI.25.

29. *Ribes dickuscha*. Алданский виноград (охта, дикуша)²⁶ Ср. 10 мая. 28.IV.1911; 5.V.12; 1.V.15; 21.V.16; 1.V.17; 30.IV.18; 17.V.19; 13.V.20; 15.V.21; 13.V.22; 7.V.23; 12.V.24; 24.V.25; 16.V.26.

30. *Ribes nigrum*. Черная смородина. 1.V.1915.

31. *Ribes pubescens*. Красная смородина²⁷. Ср. 19 V. 18.V.1912; 16.V.14; 22.V.16.

Ribes grossularia. Крыжовник²⁸ Ср. 18 мая. 18.V.1912; 21.V.16; 17.V.19; 5.VI.21; 15.V.22; 17.V.23; 12.V.24; 24.V.25; 16.V.26; 6.V.27.

32. *Rosa acicularis*. Шиповник. Ср. 27 мая. 25.V.1922; 29.V.23; 22.V.24; 1.VI.25.

33. *Potentilla fruticosa*. Лапчатка кустарная²⁹. Ср. 29 V. 21.V.1922; 7.VI.1925.

Л. 23. Начало цветения (взято в красную рамку).

1. *Pinus sylvestris*. Сосна. Средн. 7 (зачеркнуто, исправлено на 9) июня. 12.VI.1912; 10.VI.14; 21.V.15; 10.VI.16; 10.VI.18; 14.VI.19; 5.VI.22; 8.VI.23; 8.VI.24; 14.VI.25; 17.VI.26.

Л. 25 об. [Начало цветения].

31. Тополя (в городе). 25.V.25;

Л. 26. Начало цветения.

23. *Betula alba*. Береза. Средн. 18 мая. 12.V.1912; 20.V.13; 13.V.14; 27.V.16; 15.V.17; 21.V.19; 23.V.24 (полн. цв.); 20.V.25.

25. *Populus tremula*. Осина Средн. 11 (зачеркнуто, исправлено на 12) мая. 23.V.1902 (полн. цв.) (зачеркнуто); 16.V.11; 4.V.12; 6.V.14; 25.V.16; 9.V.17; 7.V.18; 3.V.19; 15.V.21; 13.V.22; 18.V.23; 10.V.24; 19.V.25.

26. *Salix sp.* Тальники. Ср. 10.V. 23.V.1902 (полн. цв.) (зачеркнуто); 4.V.12; 16.V.13; 6.V.14; 9.V.15; 7.V.18; 13.V.22; 10.V.24; 12.V.25; 9.V.26.

28. *Daphne mezereum*. Волчье лыко Ср. 10 мая. 4.V.1899; 5.V.07; 6.V.15; 21.V.18; 13.V.21.

Л. 28. Начало цветения.

41. *Solanum dulcamara persicum*. Паслен сладкогорький³⁰. Средн. 28 (зачеркнуто, исправлено на 26) мая. 25.VI.13; 27.VI.14; 15.VI.15; 22.VI.16; 20.VI.17; 19.VI.20; 29.VI.21; 1.VII.23; 23.VII.25. 15.VI.27.

Л. 29. Начало цветения.

53. *Ledum palustre*. Багульник. Средн. 8 июня. 10.VI.1912; 8.VI.13; 14.VI.14; 23.V.15; 11.VI.16; 3.VI.17; 9.VI.18; 16.VI.19; 13.VI.20; 10.VI.22; 6.VI.24.

54. *Cassandra caliculata*³¹ Кассандра болотная. Средн. 23 мая. 25.V.1913; 21.V.17; 27.V.18; 20.V.20; 23.V.22.

55. *Andromeda polifolia*. Подбел. Средн. 31 мая. 4.VI.1911; 11.VI.16 (полн. цв.); 3.VI.17; 24.V.22.

Л. 30. Начало цветения.

56. *Vaccinium myrtillus*. Черника. Ср. 1.VI. 2.VI.1912; 29.V.22; 4.VI.24.

57. *Vaccinium vitis-idaea*. Брусника. Ср. 14.VI. 13.VI.1914; 6.VI.24; 22.VI.26.

Л. 32. Начало цветения.

71. *Lonicera coerulea*. Жимолость синяя. Ср. 1 июня. 1.VI.1910; 5.VI.21; 31.V.22; 2.VI.23; 26.V.24; 12.VI.25; 13.VI.25; 13.VI.26; 14.V.27.

72. *Lonicera xylosteum*. Жимолость обыкновенная. Средн. 7 июня. 10.VI.1914; 30.V.15; 9.VI.16; 6.VI.18; 11.VI.19 9.VI.20; 12.VI.21; 6.VI.22; 10.VI.23. 4.VI.24; 16.VI.25; 17.VI.25; 17.VI.26; 19.V.27.

73. *Viburnum opulus*. Калина. Средн. 20 июня. 22.VI.1911; 23.VI.1913; 18.VI.14; 9.VI.15; 24.VI.16; 17.VI.17; 16.VI.18; 26.VI.19; 21.VI.20; 24.VI.22; 18.VI.23, 3.VII.25; 23.VI.26; 11.VI.27.

74. *Cornus sibirica*. Дерен сибирский. Средн. 14 (зачеркнуто, исправлено на 16) июня. 18.VI.1912; 14.VI.13; 11.VI.14; 16.VI.21; 19.VI.23.

Л. 33. Начало цветения.

81. *Sorbus aucuparia*. Рябина. Средн. 12 (зачеркнуто, исправлено на 11) июня. 10.VI.1912; 14.VI.13; 13.VI.16; 10.VI.17; 11.VI.18; 16.VI.19; 11.VI.20; 12.VI.21; 9.VI.22; 8.VI.23; 8.VI.24; 18.VI.25; 17.VI.26; 30.V.27.

82. *Cotoneaster vulgaris melanocarpa*. Кизильник (ирга)³² 16.VI.1916. (название и дата зачеркнуты).

83. *Crataegus sanguinea*. Боярышник сибирский. Средн. 9 июня. 14.VI.1911; 7.VI.12; 11.VI.13; 25.V.15; 13.VI.16; 11.VI.18; 16.VI.19; 10.VI.20; 12.VI.21; 8.VI.22; 10.VI.23; 8.VI.24; 18.VI.25; 19.V.27.

84. *Spiraea salicifolia*. Таволга розовая. Ср. 9.VII. 12.VII.1921; 6.VII.22.

85. *Spiraea chamaedrifolia*. Таволга дубровколистная. Средн. 9 (зачеркнуто, исправлено на 11) июня. 6.VI.1911; 16.VI.13; 11.VI.14; 8.VI.18; 8.VI.20; 11.VI.21; 9.VI.22; 5.VI.23; 7.VI.24. 15.VI.25; 14.VI.26; 19.V.27.

Л. 34. Начало цветения.

86. *Rosa acicularis*. Шиповник иглистый. Средн. 16 (зачеркнуто, исправлено на 18) июня. 19.VI.1911; 15.VI.12; 18.VI.13; 14.VI.14; 12.VI.15; 21.VI.16; 13.VI.17; 16.VI.18; 23.VI.19; 17.VI.20; 19.VI.21; 13.VI.22; 17.VI.23; 23.VI.24; 23.VI.25; 24.VI.26.

91. *Prunus padus*. Черемуха. Средн. 28 мая. 2.VI.1894, 29.V.1906 (при снеге); 26.V.12;

29.V.13; 29.V.14; 12.V.15; 31.V.16; 20.V.17; 26.V.18; 27.V.19; 31.V.20; 6.VI.21; 29.V.22; 2.VI.23; 22.V.24; 9.VI.25; 3.VI.26; 13.V.27. 29.V.28.

Л. 35.

95. *Caragana frutescens*. Акация 4-хлистная (степная). Ср. 11 июня.

7.VI.1912; 11.VI.16; 13.VI.17; 9.VI.18; 13.VI.20; 14.VI.21; 10.VI.23; 22.VI.25; 19.VI.26. 19.V.27.

96. *Caragana arborescens*. Акация обыкновенная. Средн. 9 5 (5-е зачеркнуто) июня. 13.VI.1911; 7.VI.12; 4.VI.13; 19.V.15; 11.VI.16; 9.VI.18; 5.VI.19; 8.VI.22. 15.VI.24; 19.VI.25; 15.VI.26; 19.V.27.

Л. 40. Начало цветения.

[1]38. *Atragene alpina sibirica*³³. Дикий «хмель». Средн. 4 июня. 7.VI.11; 3.VI.12; 4.VI.13; 1.VI.14; 26.V.15; 11.VI.16; 27.V.17; 3.VI.18; 10.VI.19; 3.VI.20; 10.VI.21; 5.VI.22; 6.VI.23; 3.VI.24; 15.VI.25; 14.VI.26. 19.V.27.

Л. 41. [Начало цветения садовых].

50. *Rosa rugosa*. Роза «Царица Севера»³⁴. Ср. 3.VII. 24.VI.15; 22.VII.16 (!); 27.VI.17; 26.VI.18; 7.VII.19; 6.VII.20; 29.VI.21; 4.VII.22; 3.VII.23; 15.VII.25; 30.VI.26; 22.VI.27.

Л. 42. [Начало цветения садовых].

51. *Rhododendron davuricum*³⁵. Маральник. Средн. 23 мая. 23.V.13; 10.V.15; 27.V.16; 18.V.17; 23.V.18; 20.V.19; 30.V.20; 29.V.21; 26.V.22; не цв. 23. не цв. 24; 26.V.25.

52. *Sambucus racemosa*. Красная бузина. Ср. 3.VI. 7.VI.1912; 8.VI.13; 23.V.15; 6.VI.16; 3.VI.18; 4.VI.19; 5.VI.21; 6.VI.23; 29.V.24; 14.VI.25; 13.VI.26; 16.V.27.

54. *Sorbaria sorbifolia*. Рябинолистная спирея. Ср. 9 (исправлено на 11) июля. 24.VII.1912; 5.VII.13; 16.VII.14; 19.VII.17; 12.VII.18; 16.VII.18; 9.VII.20; 12.VII.21; 5.VII.22; 7.VII.23; 7.VII.24; 18.VII.25; 12.VII.26; 29.VI.27.

55. *Lonicera tatarica*. Жимолость татарская. Ср.12 (исправлено на 11) июня. 18.VI.1912; 14.VI.13; 25.V.15; 13.VI.16; 10.VI.17; 10.VI.18; 20.VI.19; 13.VI.20; 16.VI.21; 9.VI.22; 13.VI.23; 11.VI.24; 19.VI.25; 16.VI.26; 24.V.27.

Л. 43. Начало цветения садовых.

64. *Mahonia*. Магония³⁶. 2.VI. 31.V.22; 5.VI.23; 30.V.24; 14.VI.25; 10.VI.26, 17.V.27.

Л. 44. Начало цветения садовых.

69. *Potentilla fruticosa*. Кустарная лапчатка. Ср. 11.VII. 29.VII.1920; 5.VII.21; 29.VI.22; 13.VII.23; 30.VI.26; 18.VII.27.

Л. 45. Начало цветения садовых.

72. *Jasminum*³⁷. Жасмин. Средн. 30 (исправлено на 29) июня. 12.VII.1912; 30.VI.16; 5.VII.19; 24.VI.20; 29.VI.21; 24.VI.22; 26.VI.23; 6.VII.24; 1.VII.25; 29.VI.26; 14.VI.27.

74. *Syringa*. Сирень. Ср. 12 VI. 3.VI.1911; 10.VI.12; 11.VI.13; 16.VI.14; 13.VI.20; в саду дачи 10.VI.22; 13.VI.24; 17.VI.25; 15.VI.26; 28.V.27.

76. *Ribes dikuscha*. Алданский виноград. Ср. 26 V. 28.V.1913; 13.V.15; 31.V.16; 18.V.17; 23.V.19; 5 (исправлено на 3).VI.21 (полн. цв.); 26.V.22; 6.VI.25.

77. *Ribes pubescens* Hedl. Красная смородина (русское название зачеркнуто). Ср. 27.V. 19.V.12; 5.VI.21; 25.V.22 (все даты зачеркнуты).

78. *Ribes procumbens*³⁸. Смородина-моховка. 31.V.22; 1.VI.24.

79. *Ribes grossularia*. Крыжовник. Ср. 31 V. 5.VI.1921; 26.V.22; 2.VI.23; 22.V.24; 5.VI.25; 5.VI.26.

80. Малина. 25.VI.1913.

Л. 46. Начало цветения садовых.

82. *Pyrus malus*. Яблоня. Ср. 10 VI. 13.VI.1911; 11.VI.13; 4.VI.12; 6.VI.18; 15.VI.19; 6.VI.22; 8.VI.23; 5.VI.24; 15.VI.25; 14.VI.26.

83. *Symphoricarpos racemosus*. Снежное дерево³⁹. 18.VIII.23;

84. Барбарис⁴⁰. 14.VI.1924; 24.VI.25; 22.VI.26; 11.VI.27.

85. *Cotoneaster nigra*. Ирга. 16.VI.1916; 26.VI.27.

*Amelanchier canadensis*⁴¹.

Л. 52. Вторичное (осеннее) цветение (взято в рамку красным карандашом).

4 *Rosa acicularis*: 17.IX.13; 15 и 22.IX.24.

5 *Prunus padus*: 10.VIII.15; 14.IX.19.

Л. 52 об.

16 *Vaccinium vitis-idaea*: 11.XI.24 (крупные бутоны), 18.X.25.

Выводы

Проведенное исследование показало, что обширное фенологическое наследие Г.Э. Иоганзена имеет значительную научную и историко-культурную ценность и в настоящее время, поэтому актуально введение в научный оборот неопубликованных материалов. Публикуемые фрагменты рукописи «Начала томской фенологии», посвященные наблюдениям только за древесными растениями могут быть интересны интродукторам, ботаникам, специалистам в области лесного хозяйства и ландшафтного строительства.

Примечания

¹Иогансен Ганс Христианович (1897–1973) — профессор кафедры зоологии позвоночных. Руководил кафедрой и зоомузеем после смерти Г.Э. Иоганзена в 1930 г. Датский подданный. В 1937 г. покинул СССР. До послед-

них дней поддерживал связь со многими советскими зоологами, в том числе орнитологами Томского государственного университета [47].

²Иоганзен Бодо (Бодо Отто Хинрих Дагоберт) Германович (9/22 января 1911, Томск — 23 сентября 1996, Томск) — ихтиолог, профессор кафедры ихтиологии и гидробиологии Томского государственного университета, сын Г.Э. Иоганзена [48].

³«Газета «St. Petersburg Herald» — одна из самых крупных и популярных Санкт-Петербургских ежедневных общественно-политических и литературных немецких газет во второй половине XIX в. Основана Францем Гезеллиусом (1840–1900) в 1875 г. [49, с. 50].

⁴Ружье «Монтекристо» — разработанное в середине XIX в. французским оружейником Флобером под собственный патрон кольцевого воспламенения легкое ружье для спортивной и развлекательной стрельбы [50].

⁵Все даты — по старому стилю, все температуры — в градусах Реомюра [24, с. 60].

⁶Городок — местность на левом берегу р. Томи за Нестоянным озером в Казенном Темерчинском (сосновом) бору [51, 52] (ныне село в Первомайском районе Томской области), находящаяся напротив Томска. Застроена дачами томских жителей [51, с. 297].

⁷К началу проведения Г.Э. Иоганзеном фенологических наблюдений (1894) в Томске интродуцирована только сирень обыкновенная (*Syringa vulgaris* L., 1890 г.), позднее — сирень амурская (*S. amurensis* Rupr., 1916 г.). Другие виды сирени, используемые в озеленении г. Томска в настоящее время, интродуцированы А.Г. Гончаровым (работал в саду с 1938 по 1955 г.) еще позднее, в 1940-е годы: сирень венгерская (*S. josickaea* Jacq.), сирень мохнатая (*S. villosa* Vahl) в культуре с 1940 г., сирень Вольфа (*S. Wolfii* Schneid.) — с 1941 г. [53–55].

⁸Боярышник кроваво-красный (*Crataegus sanguinea* Pall.). Местный вид [56].

⁹По-видимому, речь идет об ирге (*Amelanchier*): «9-го [мая] начали цвести ландыши (на 10 дней раньше нормы), примулы (*Primula auricular*) — на 9 дней раньше, чем в прошлом году, и мушмула (*Amelanchier* sp.)» [41, л. 18]. В «Началах томской фенологии» упоминается *Amelanchier canadensis* [42, л. 46]. *Amelanchier canadensis* (L.) Medic. (*A. botryapium* DC., *A. oblongifolia* Roem., *Mespilus canadensis* L.) [57, с. 500]. Мушмула (тур. *musmula*) — род листопадных растений (*Mespilus*) сем. розоцветных, из одного вида — м. германской, или м. обыкновенной (*M. germanica* L.). Дерево или кустарник высотой 3...6 м. В диком виде встречается в Иране, Малой Азии, на Балканском

полуострове, в Кавказе, Крыму, Туркмении. Возделывается в некоторых странах Европы и США. Также мушмула субтропическая, или м. японская, или эриоботрия японская, или мушмула, или локва (*Eriobotrya japonica* (Thunb.) Lindl. Syn. *Mespilus japonica* Thunb., *Photinia japonica* Franch. et Sav., *Crataegus bibas* Lour.) — вечнозеленое субтропическое дерево или кустарник высотой до 6 м рода эриоботрия сем. розоцветные. В диком виде встречается в Китае и Северной Индии. Культивируется в Китае, Японии, США, средиземноморских странах, на Черноморском побережье Кавказа и Южном берегу Крыма, в некоторых странах Средней Азии [57–59].

¹⁰Облепиха крушиновая (*Hippophae rhamnoides* L.). Интродуцирована П.Н. Крыловым в 1930 г. [53].

¹¹В некоторых областях России в повседневной речи используют слово «тальник», называя им некоторые ивы, преимущественно кустарниковые, а также их заросли [60].

¹²В список видов, интродуцированных при непосредственном участии и под руководством П.Н. Крылова (с 1885 по 1931 г.), включен только дуб черешчатый (*Quercus robur* L.) (1885–1888; 1888–1906) [53]. Дуб монгольский (*Q. mongolica* Fisch. ex Ledeb.) появился в коллекции Сибирского ботанического сада только в 1990-е гг. [61].

¹³Рузский Михаил Дмитриевич (7 (19) сентября 1864 г., с. Осьмино Гдовского уезда Петербургской губернии — 16 апреля 1948, г. Томск) — русский зоолог, гидробиолог, паразитолог, орнитолог, энтомолог, профессор Томского государственного университета, основатель сибирской научной школы зоологии и основоположник российской мирмекологии. Заслуженный деятель науки РСФСР [62].

¹⁴*Betula alba* L. — очевидно, Г.Э. Иоганзен наблюдал сборный вид, описанный Карлом Линнеем в 1753 г. [63]. Это единственный случай, когда Г.Э. Иоганзен привел латинское название наблюдаемой им березы. Фенологические наблюдения за березой без учета видов и в настоящее время распространены очень широко по причине их трудного определения широким кругом добровольных фенонаблюдателей. При этом либо с большой долей вероятности за объект наблюдений принимается *Betula pendula* в связи с преобладанием ее по количеству на единицу площади лесов над *Betula pubescens* либо наблюдения проводятся без разделения на виды [64].

¹⁵Г.Э. Иоганзен мог наблюдать местный вид — тополь черный (*Populus nigra* L.) [56, 65]. Названия других местных видов рода *Populus* (*P. alba* L., *P. tremula* L.) приводятся на

л. 19, 26 рукописи [42]. Возможно также, что это были другие виды. Так, первые упоминания в публикациях сотрудников Сибирского ботанического сада об использовании в озеленении города североамериканского тополя бальзамического (*P. balsamifera* L.), а также тополя лавролистного (*P. laurifolia* Ledeb.), произрастающего в пойме р. Томи [66], но не отмеченного во флоре Томской области [56, 65], относятся к послевоенному периоду (1960–1980-м годам) [67–69]. В.Я. Поляков в 1960 г. в статье «Тополь бальзамический в Сибири» писал: «Долголетие сибирского бальзамического тополя не ясно, так как культура его в Сибири начиналась немногим более шестидесяти лет тому назад. ... Растет сибирский бальзамический тополь очень быстро, быстрее лавролистного тополя, и едва ли уступает в этом осокору, достигая при благоприятных условиях в 30 лет высоты до 21 м и толщины ствола до 35 см» [69, с. 79]. «... в Томске на лучших почвах встречаются бальзамические тополи 28 метров высоты и 70 сантиметров в диаметре» [70, с. 78].

¹⁶Липа мелколистная (*Tilia cordata* L.). Интродуцирована П.Н. Крыловым в 1885–1889 гг.) [53].

¹⁷Речь, очевидно, идет о черемухе обыкновенной (*Prunus avium* Mill.) (*Padus asiatica* Kom., *P. avium* Mill., *P. racemosa* (Lam.) Gilib.) [71]. Местный вид [56].

¹⁸Рябина обыкновенная (р. сибирская) (*Sorbus aucuparia* L. (*S. sibirica* Hedl.) [71]. Местный вид [56].

¹⁹«Карл Линней поместил известные ему яблони в род *Pyrus* L. [Sp. pl. (1753), 479]. Род *Malus* Mill. выделен в качества самостоятельного Миллером [Gard. Dict. Abridg., ed. 4 (1754)]. При проверке синонимов старых названий в литературе XVIII–XIX вв. приходится учитывать, что виды рода *Malus* были включены в род *Pyrus*» [72, с. 1588] «Родовые границы в подсемействе яблоневых не всегда четки. Многие ботаники включают в род груша (*Pyrus*), кроме груши в узком смысле, также яблоню (*Malus*), рябину (*Sorbus*), аронию (*Aronia*); другие же рассматривают эти таксоны в качестве самостоятельных родов» [73. С. 184]. В 1885–1887 гг. П.Н. Крыловым интродуцирована яблоня Палласова, или сибирская (яблоня ягодная) *Malus pallasiana* Juz. (*M. baccata* (L.) Borkh.) [53, 71]. В это же время (1880–1890-е гг.) П.Н. Крыловым и Н.Ф. Кашенко были заложены основы плодоводства в Сибири. После суровой зимы 1907–1908 гг. П.Н. Крылов начал выращивать яблони в стланцевой форме, которую впоследствии стали применять и другие садоводы [54]. Возможно, речь идет о каком-либо сорте *Malus*

domestica Borkh. (*Pyrus malus* L.) [57], тем более что на л. 46 приводится название *Pyrus malus* L. Л.П. Сергиевская [74] упоминает среди видов, за которыми она проводила фенологические наблюдения, *Pirus baccata* L. Однако наряду с сортовыми яблонями, Г.Э. Иоганзен упоминает в своих заметках и об уссурийской груше: «20/9. Утром пасмурно и накрапывает дождь. День дождливый, пасмурный. Дождь весь день. Мин. +4,5°. Макс. +9,5°. Посадка двух яблонь [38, л. 109] («Сибирский анисик»), 2 уссур. груш, 2 уссурийск. слив, 4 смородин, 10 восточн. маков и 5 оранжевых лилий в саду биолог. станции» [38, л. 109 об.].

²⁰Бузина кистевая, обыкновенная (б. сибирская) (*Sambucus racemosa* L. (*S. sibirica* Nakai)). [71]. Местный вид [56].

²¹*Swida alba* (L.) Opiz (*Cornus alba* (L.) Rojark., *C. sanguinea* L., *Thelycrania alba* (L.) Rojark. [70]. Местный вид [56]. *Swida alba* 'Sibirica' (*Cornus alba* 'Sibirica') — декоративная низкорослая форма с ярко-красной корой. Рекомендована в озеленение г. Томска [69].

²²Клен татарский (*Acer tataricum* L.). Интродуцирован в 1920 г. [53].

²³Караганник, чапыжник, чилига (*Caragana frutescens* DC) [75]; карагана кустарник, дереза, чилига (Syn. *Caragana frutex* (L.) C. Koch) [71]. Местный вид [56].

²⁴Тривиальное название спиреи иволистной [76].

²⁵Кизильник остролистный (*Cotoneaster acutifolius* Turcz.). Родина Монголия, Китай [70]. В списке видов, интродуцированных в период с 1885 по 1931 год, отсутствует [53]. Возможно также, речь идет о кизильнике блестящем (*Cotoneaster lucidus* Schlecht.) [77] или о каком-либо виде ирги: «В 5 ½ ч. утра +18° в тени. День солнечный, жаркий. Начинает распускаться листва у ирги (*Cotoneaster acutifolia* и *nigra*), у облепихи, у колючей аралии, татарской жимолости, паслена (*Solanum dulcamara persicum*), яблони, барбарисов» [25, с. 15].

²⁶Смородина дикуша, алданский виноград (*Ribes dikuscha* Fisch. ex Turcz.). Родина Сибирь, Дальний Восток [71]. В списке видов, интродуцированных за период с 1885 по 1931 год, отсутствует [53].

²⁷Смородина пушистая (*Ribes pubescens* (Schwartz.) Hedl.). Европа [71]. Интродуцирована в 1987 г. [78]. Л.П. Сергиевская наблюдала *R. pubescens* в 1923, 1925 гг. [72].

²⁸Возможно, Г.Э. Иоганзен наблюдал *Ribes acicularis* Smith (*Grossularia acicularis* (Smith) Spach. [71]. *R. reclinana* (L.) Mill. (*R. grossularia* L.) [75]. *R. grossularia* Отсутствует в списке видов, интродуцированных с 1885 по 1931 гг. [53]. Упоминается, однако, Л.П. Сергиевской среди

видов, за которыми велись фенологические наблюдения в арборетуме Сибирского ботанического сада в 1923–1925 гг. [74].

²⁹*Pentstemon fruticosus* (L.) O. Schwarz (*Dasiphora fruticosa* (L.) Rydb., *Potentilla fruticosa* L.) [70]. Вид введен в культуру наряду с другими видами рода в течение 1957–1961 гг. [79]. Л.П. Сергиевская наблюдала *Potentilla fruticosa* L. в 1921, 1923–1925 гг. [74].

³⁰Наиболее вероятно, что Г.Э. Иоганзен наблюдал местный вид *Solanum kitagawae* Schonbeck-Temesy (*S. depilatum* Kitagawae, *S. persicum* Willd.) [56]. В пользу этого свидетельствует невключение его в группу садовых, а упоминание в одной группе с местными видами (багульников, подбелом, голубикой и др.). Паслен сладкогорький (*Solanum dulcamara* L.). Родина Европа, Северная Африка. Интродуцирован в 1962 г. [80]. Рекомендован для ограниченного использования в озеленении г. Томска [67]. В настоящее время отсутствует в коллекции Сибирского ботанического сада. Л.П. Сергиевская наблюдала *Solanum dulcamara* L. var. *persicum* Willd. в 1919–21 гг. [74].

³¹Хамедафне болотная (касандрра обыкновенная) (*Chamedaphne caliculata* (L.) Moench (*Cassandra caliculata* D. Don)). Местный вид [56]. Хамедафне прицветничковая (*Chamedaphne calyculata* (L.) Moench.). Syn. *Andromeda calyculata* L., *Lionia caliculata* Rchb., *Cassandra calyculata* Don. [81].

³²Кизильник черноплодный (*Cotoneaster melanocarpus* Fisch. ex Blytt (*C. integerrimus* Medik., *C. nigra* Fries)). Местный вид [56].

³³По-видимому, Г.Э. Иоганзен наблюдал княжик красивый (к. сибирский) (*Atragene speciosa* Weinm. (*A. sibirica* L.)). Местный вид [82, 56].

³⁴Приведено латинское название вида *Rosa rugosa* (роза морщинистая) и здесь же — русское название сорта 'Царица Севера'. Роза 'Царица Севера' выведена Э.Л. Регелем в Императорском ботаническом саду (Петербург). Сорт с махровыми малиново-красными цветками [57]. Вид *Rosa rugosa* Thunb. интродуцирован в Сибирском ботаническом саду в 1896 г. [53], сорт 'Царица Севера' — в 1954 г. [83].

³⁵Рододендрон даурский (*Rhododendron dauricum* L.). Сибирь, Дальний Восток [71]. Указан Л.П. Сергиевской в составе арборетума ботанического сада [54, 74]. В списке видов, интродуцированных с 1885 по 1931 год, отсутствует [53].

³⁶*Berberis aquifolium* Pursh (*B. repens* Lindl., *Mahonia aquifolium* Nutt., *M. repens* Don.). Северная Америка [71]. *Mahonia aquifolium* (Pursh) Nutt. Первичная интродукция 1953 г. Фенологические наблюдения в Сибирском ботаническом саду с 1956 г. [84].

³⁷Садовым жасмином часто называют виды рода чубушник (*Philadelphus*) за характерный запах [79]. В 1887 г. интродуцирован чубушник Лемуана (*Ph. Lemoinei* Lemoine), другие виды — уже после смерти Г.Э. Иоганзена: *Ph. coronarius* L. в 1941–1942 гг., *Ph. Lewisii* Pursh. в 1941 г. (интродуктор А.Г. Гончаров), остальные — в послевоенные годы [53]. Г.Э. Иоганзен упоминает об использовании этого растения в озеленении города: «14.VI. День жаркий солнечный без дождя! ... В городе нач. цвести жасмин» [38, л. 21 об.]. Представители рода жасмин (*Jasminum*) сем. маслиновые (*Oleaceae*) встречаются в теплом поясе обоих полушарий, включая субтропики [73].

³⁸Смородина лежащая, стелющаяся, моховка (*Ribes procumbens* Pall.). Растет в Сибири, на Дальнем Востоке и южнее [71]. В списке видов, интродуцированных в период с 1885 по 1931 г., отсутствует [53]. Включена в список растений, за которыми проводила фенологические наблюдения Л.П. Сергиевская в 1923, 1925 гг. [74].

³⁹Снежноягодник белый, кистевой (*Symphoricarpos albus* (L.) Blake (*S. ovatus* Spaeth, *S. racemosus* Michx.)). Северная Америка [71]. Интродуцирован в 1954 г. [53]. Однако снежноягодник (без указания вида) упоминается в «Прейскуранте семян, растений и проч. садового заведения Томского общества садоводства» за 1912 г. [85].

⁴⁰В 1921 г. интродуцирован барбарис обыкновенный (*Berberis vulgaris* L.) [53].

⁴¹Ирга канадская (*Amelanchier canadensis* (L.) Medik.). Первый из интродуцированных в Томске видов ирги (1921 г.) — ирга ольхолистная (*A. alnifolia* (Nutt.) Nutt.) [53]. Ирга канадская (*A. canadensis*) упоминается среди растений, за которыми проводила фенологические наблюдения Л.П. Сергиевская в 1919–1921 гг., 1923–1925 гг. в арборетуме ботанического сада [54, 74].

Благодарности

Автор выражает благодарность всем, кто оказал помощь в работе: сотрудникам ОРКП НБ ТГУ (зав. сектором изучения и раскрытия фонда, д-р ист. наук В.А. Есиповой, вед. библиотечарю О.В. Крупцевой, гл. библиотечарю Н.В. Гончаровой), сотрудникам Сибирского ботанического сада Томского государственного университета (инженеру лаборатории дендрологии и ландшафтной архитектуры А.Л. Барановой, канд. биол. наук, ст. науч. сотр. лаборатории редких растений А.С. Прокопьеву, канд. биол. наук, ст. науч. сотр. лаборатории редких растений О.Д. Черновой, инженеру лаборатории редких растений Т.Н. Катаевой).

Список литературы

- [1] Рузский М.Д. Проф. Г.Э. Иоганзен (1866–1930). Некролог // Труды Биологического факультета Томского государственного университета. Т. 1 (83). Вып. 1, 1931. С. 1–4.
- [2] Сибирская советская энциклопедия. В 4 т. Т. 2. 3-К. 1931. 1152 стб.
- [3] Крылов Г.В., Иоганзен Б.Г. Старейший краевед и зоолог Сибири Г.Э. Иоганзен (1866–1930) // Труды комиссии по охране природы при СО АН СССР. Новосибирск, 1962. Вып. 1. С. 205–208.
- [4] Лаптев И.П. Жизнь и деятельность Г.Э. Иоганзена (к столетию со дня рождения) // Вопросы зоологии. Томск: Изд-во Томского ун-та, 1966. С. 275–277.
- [5] Поспелова В.М. Г.Э. Иоганзен как энтомолог // Вопросы зоологии. Томск: Изд-во Томского ун-та, 1966. С. 278–280.
- [6] Титова С.Д. Преподавательская деятельность проф. Г.Э. Иоганзена // Вопросы зоологии. Томск: Изд-во Томского ун-та, 1966. С. 280–282.
- [7] Тюльпанов М.А. Г.Э. Иоганзен как фенолог // Вопросы зоологии. Томск: Изд-во Томского ун-та, 1966. С. 282–283.
- [8] Гынгазов А.М., Крыжановская В.В., Лаптев И.П., Титова С.Д., Тюльпанов М.А. Жизнь и деятельность профессора Германа Эдуардовича Иоганзена (к 100-летию со дня рождения) // Труды НИИ биологии и биофизики при Томском ун-те, 1970. Т. 1. С. 5–10.
- [9] Крылов Г.В., Завалишин В.В., Козакова Н.Ф. Исследователи природы Западной Сибири. Новосибирск: Новосиб. книжн. изд-во, 1988. 352 с.
- [10] Лыготина Л.П. Из истории изучения природы территории современной Томской области (дореволюционный период) // Вопросы географии Сибири. Вып. 18. Томск: Изд-во ТГУ, 1993. С. 154–159.
- [11] Профессора Томского университета. Биографический словарь / С.Ф. Фоминых, С.А. Некрылов, Л.Л. Берцун, А.В. Литвинов. Т. 2. Томск: Изд-во ТГУ, 1998. С. 170–176.
- [12] Иоганзен-Рюбке Т.Б. Сибирская династия: три поколения семьи Иоганзен // Начало века: литературный и краеведческий журнал, 2008. № 2. С. 159–167.
- [13] Васенькин Н.В. Архивный фонд НБ ТГУ. Вып. 8. Герман Эдуардович Иоганзен. Опись архива. Томск, 2008. 19 с. URL: <http://vital.lib.tsu.ru/vital/access/manager/Repository/vtls:000398277> (дата обращения 28.12.2019)
- [14] Государственный архив Томской области (ГАТО). Ф. Р-1944. Оп. 1. Д. 222.
- [15] Государственный архив Томской области (ГАТО). Ф. Р-1944. Оп. 1. Д. 236.
- [16] ОРКП. Ф. 22: Иоганзен Г.Э. Оп. 1. Д. 26. 33 л.
- [17] Иоганзен Г.Э. Из жизни томской природы. Второе издание. Первая публикация в 1915 // Русский орнитологический журнал. Т. 22, Экспресс-выпуск № 866. 2013. С. 936–937. URL: <http://rozh.lgb.ru/downloads/category/21-2013.html?start=20> (дата обращения 08.05.2024).
- [18] Иоганзен Г.Э. Томская природа в 1911 году. Заметки Г. Иоганзена // Календарь-справочник газеты «Утро Сибири» на 1912 год. Томск: Паровая типография Н.И. Орловой, 1912. С. 84–100.
- [19] Иоганзен Г.Э. Томская природа в 1912 году // Заметки Г. Иоганзена. Томск, 1914. 39 с.

- [20] Иоганзен Г.Э. Томская природа в 1912 году // Заметки Г. Иоганзена. Томск: Печатня Яковлева, 1914. 39 с.
- [21] Иоганзен Г.Э. Из жизни томской природы в 1913 году // Труды Томского общества изучения Сибири. Т. 3. Вып. 1 / под ред. Г.Н. Потанина. Томск, 1915. С. 109–136.
- [22] Евсеева Н.С. География Томской области (Природные условия и ресурсы). Томск: Изд-во ТГУ, 2001. 223 с.
- [23] Из жизни томской природы за 1914 и 1915 гг. // Известия Института исследования Сибири. № 2: Труды естественно-исторического отдела. № 1. Томск: Народная типография № 2, 1920. С. 54–75.
- [24] Иоганзен Г.Э. Из жизни томской природы. Фенологические заметки за 1915 г. Томск // Труды Общества изучения Томского края. Томск, 1927. Вып. 1. С. 60–86.
- [25] Из жизни томской природы. Дневник фенологических наблюдений за 1916 г. // Материалы по изучению Сибири. Т. 1. Томск, 1930. С. 111–145.
- [26] Голев И.А. Падает редкий снег, днем проглядывало солнце: фенологические заметки Германа Иоганзена // Сибирская старина. Краеведческий альманах. № 31, 2018. С. 34–65.
- [27] ОРКП. Ф. 22: Иоганзен Г.Э. Оп. 1. Д. 3. 363 л.
- [28] ОРКП. Ф. 22: Иоганзен Г.Э. Оп. 1. Д. 2. 39 л.
- [29] ОРКП. Ф. 22: Иоганзен Г.Э. Оп. 1. Д. 4. 37 л.
- [30] ОРКП. Ф. 22: Иоганзен Г.Э. Оп. 1. Д. 5. 38 л.
- [31] ОРКП. Ф. 22: Иоганзен Г.Э. Оп. 1. Д. 6. 40 л.
- [32] ОРКП. Ф. 22: Иоганзен Г.Э. Оп. 1. Д. 7. 35 л.
- [33] ОРКП. Ф. 22: Иоганзен Г.Э. Оп. 1. Д. 9. 40 л.
- [34] ОРКП. Ф. 22: Иоганзен Г.Э. Оп. 1. Д. 10. 43 л.
- [35] ОРКП. Ф. 22: Иоганзен Г.Э. Оп. 1. Д. 11. 43 л.
- [36] ОРКП. Ф. 22: Иоганзен Г.Э. Оп. 1. Д. 1. 40 л.
- [37] ОРКП. Ф. 22: Иоганзен Г.Э. Оп. 1. Д. 12. 41 л.
- [38] ОРКП. Ф. 22: Иоганзен Г.Э. Оп. 1. Д. 13. 116 л.
- [39] ОРКП. Ф. 22: Иоганзен Г.Э. Оп. 1. Д. 14. 29 л.
- [40] ОРКП. Ф. 22: Иоганзен Г.Э. Оп. 1. Д. 15. 78 л.
- [41] ОРКП. Ф. 22: Иоганзен Г.Э. Оп. 1. Д. 16. 79 л.
- [42] ОРКП. Ф. 22: Иоганзен Г.Э. Оп. 1. Д. 8. 120 л.
- [43] Хан Л.В. Особенности сезонного развития хвойных деревьев в условиях городской среды // Экология сегодня. Сб. работ науч. молодежи ТГУ. Томск: Изд-во ТГУ, 2001. Вып. 1. С. 39–42.
- [44] Куклина Т.Э. Весеннее развитие березы повислой и березы пушистой в озеленении г. Томска и пригороде // Лесное хозяйство и зеленое строительство в Западной Сибири: Материалы III Междунар. интернет-семинара, Томск, 01–31 мая 2007 г. Томск: Изд-во ТГУ, 2007. С. 168–186.
- [45] Куклина Т.Э., Данченко А.М. Осеннее развитие *Betula pendula* Roth и *Betula pubescens* Ehrh. в озеленении г. Томска и пригороде // Вестник Томского государственного университета, 2009. № 322 (май). С. 239–242.
- [46] Баранова А.Л., Еремина В.И. Отборные формы *Actinidia kolomikta* (Rupr.) Maxim. в интродукционном эксперименте // Вестник ИрГСХА, 2011. № 44. С. 19–23.
- [47] Москвитина Н.С. Кафедра зоологии позвоночных и экологии: историческая ретроспектива и современность // Вестник ТГУ. Приложение № 5, 2003. С. 25–34.
- [48] Романов В.И. История кафедры ихтиологии и гидробиологии биолого-почвенного факультета // Вестник Томского государственного университета. Приложение № 5, 2003. С. 45–53.
- [49] Зверева И.С. Издатель и редактор Густав Пипирс (К истории дореволюционной немецкой печати в России) // Вестник СПбГУКИ, 2006. № 1 (4). С. 48–55.
- [50] Weaponclub.ru. 2023. URL: <http://weaponclub.ru/obychnoe-oruzhie-rasprostranennoe/ognestrelnoe-oruzhie/ruzhe-montekristo/> (дата обращения 29.04.2023).
- [51] Чавыкин Г.В. Весь Томск на 1911–1912 гг.: адресно-справочная книжка. Томск, 1911. 369 с.
- [52] Город Томск. Бесплатное приложение к газете «Сибирская жизнь» за 1912 год. Томск: Издание Сибирского товарищества печатного дела в Томске, 1912. 348 с.
- [53] Морякина В.А. Интродукция древесных и кустарниковых растений в Сибирском ботаническом саду // Бюллетень Сибирского ботанического сада. Вып. 6. Томск, 1965. С. 19–26.
- [54] Морякина В.А. История и основные этапы интродукции растений в Томске // Бюллетень Сибирского ботанического сада. Вып. 7. Томск, 1970. С. 3–18.
- [55] Гончаров А.Г. Новые древесно-кустарниковые породы в Сибирском ботаническом саду // Бюллетень Главного ботанического сада. Вып. 24, 1956. С. 11–15.
- [56] Эбель А.Л., Пяк А.И., Ревушкин А.С., Гуреева И.И., Курбатский В.И., Олонова М.В., Эбель Т.В., Мерзлякова И.Е., Шеголева Н.В., Волкова И.И., Зверев А.А., Борисенко А.Л., Прокопьев А.С. Определитель растений Томской области. Томск, 2014. 464 с.
- [57] Деревья и кустарники СССР. Дикорастущие, культивируемые и перспективные для интродукции. Т. 3 / под ред. С.Я. Соколова. М.; Л.: Изд-во АН СССР, 1954. 872 с.
- [58] Большая советская энциклопедия. 3-е изд. Т. 17. М.: Советская энциклопедия, 1974. 616 с.
- [59] The Plant List (2013). Version 1.1. Published on the Internet. URL: <http://www.theplantlist.org/> (дата обращения 07.05.2024).
- [60] Большая советская энциклопедия. 3-е изд. Т. 25. М.: Советская энциклопедия, 1976. 600 с.
- [61] *Quercus mongolica* Fisch. ex Ledeb. // Рукописная картотека коллекции древесных растений лаборатории дендрологии и ландшафтной архитектуры СибБС. Томск: СибБС, 1990.
- [62] Профессора Томского университета. Биографический словарь. Вып. 1. 1888–1917 / отв. ред. С.Ф. Фоминых. Томск: Изд-во ТГУ, 1996. 288 с.
- [63] Данченко А.М. Популяционная изменчивость березы. Новосибирск: Наука, 1990. 205 с.
- [64] Шрам В.Е., Хомченко В.Е. Природные особенности Омской области по фенологическим показателям (начало зеленения березы и начало цветения черемухи) // Ритмы природы Сибири и Дальнего Востока. Иркутск, 1975. С. 27–35.
- [65] Морякина В.А. Деревья и кустарники лесов южной части Томской области // Бюллетень Сибирского ботанического сада. Вып. 11, 1978. С. 27–32.
- [66] Климов А.В. Топольники поймы реки Томи (таксономический состав, полиморфизм, естественная гибридизация): дис. ... канд. биол. наук: 03.00.05. Новосибирск, 2008. 146 с.
- [67] Морякина В.А. Лучшие деревья и кустарники для озеленения города Томска // Природа Томской

- области и ее охрана / отв. ред. И.П. Лаптев. Вып. 2. Томск: Изд-во Томского ун-та, 1965. С. 52–59.
- [68] Морякина В.А. Ритм цветения интродуцированных деревьев и кустарников в Томске // Бюллетень Сибирского ботанического сада. Томск, 1973. Вып. 9. С. 3–9.
- [69] Морякина В.А., Осипова В.Д., Орлова Т.Г. Руководство по зеленому строительству в Томской области. Томск, 1980. 78 с.
- [70] Поляков В.Я. Тополь бальзамический в Сибири // Труды Сибирского технологического института. Сб. XXV. Красноярск: Изд-во СибТИ, 1960. С. 77–81.
- [71] Встовская Т.Н., Коропачинский И.Ю. Определитель местных и экзотических растений Сибири. Новосибирск: Гео (филиал издательства СО РАН), 2003. 702 с.
- [72] Фирсов Г.А., Васильев Н.П., Ткаченко К.Г. Род Яблоня (*Malus* Mill.) в коллекции Ботанического сада Петра Великого // Hortus botanicus. 2015. Т. 10. URL: <http://hb.karelia.ru/journal/article.php?id=2341> (дата обращения 22.04.2024). DOI: 10.15393/j4.art.2015.2341
- [73] Жизнь растений: в 6 т. / под ред. А.Л. Тахтаджяна. Т. 5(2). М.: Просвещение, 1981. 512 с.
- [74] Сергиевская Л.П. Фито-фенологические наблюдения, проведенные в Томске и его окрестностях в 1919–21, 1923–25 гг. // Известия Томского государственного университета. Т. 77, 1926. 84 с.
- [75] Рычин Ю.В. Древесно-кустарниковая флора. М.: Просвещение, 1972. 264 с.
- [76] Плантариум. Растения и лишайники России и сопредельных стран: открытый онлайн атлас и определитель растений. URL: <https://www.plantarium.ru/page/view/item/36504.html> (дата обращения: 10.03.2024).
- [77] Колесников А.И. Декоративная дендрология. М.: Лесная пром-сть, 1974. 703 с.
- [78] *Ribes pubescens* (Schwartz.) Hedl. // Рукописная картотека коллекции древесных растений лаборатории дендрологии и ландшафтной архитектуры СибБС. Томск: СибБС, 1987.
- [79] Сибирский ботанический сад / под ред. Н.В. Прикладова. Томск: Изд-во Томского университета, 1969. 168 с.
- [80] *Solanum dulcamara* L. // Рукописная картотека коллекции древесных растений лаборатории дендрологии и ландшафтной архитектуры СибБС. Томск: СибБС, 1962.
- [81] Флора Западной Сибири. Руководство к определению западно-сибирских растений. Второе дополненное и расширенное издание «Флоры Алтая и Томской губернии» П. Крылова. Выпуск IX. *Pirolaceae–Labiales*. Томск, 1937. С. 2089–2401.
- [82] Морякина В.А. Деревья и кустарники Западно-Сибирской флоры в зеленом строительстве // Бюллетень Сибирского ботанического сада, 1983. Вып. 13. С. 9–15.
- [83] *Rosa rugosa* Thunb. сорт 'Царица Севера' // Рукописная картотека коллекции древесных растений лаборатории дендрологии и ландшафтной архитектуры СибБС. Томск: СибБС, 1953.
- [84] *Mahonia aquifolium* (Pursh) Nutt. // Рукописная картотека коллекции древесных растений лаборатории дендрологии и ландшафтной архитектуры СибБС. Томск: СибБС, 1953.
- [85] Прейскурант семян, растений и проч. садового заведения Томского общества садоводства: 1912 год. Томск: Типография Дома Трудолюбия, 1912. 34 с. URL: <https://elib.tomsk.ru/purl/1-17146/> (дата обращения 25.08.2022).

Сведения об авторе

Куклина Татьяна Эдуардовна — канд. биол. наук, доцент кафедры лесного хозяйства и ландшафтного строительства, Биологический институт, ФГАОУ ВО «Национальный исследовательский Томский государственный университет», t_kuklina63@mail.ru

Поступила в редакцию 17.05.2024.

Одобрено после рецензирования 31.05.2024.

Принята к публикации 10.04.2025.

PHENOLOGICAL OBSERVATIONS IN G.E. IOGANZEN WORKS (BASED ON ARCHIVE MATERIALES OF RARE BOOKS AND MANUSCRIPTS DEPARTMENT OF TOMSK STATE UNIVERSITY RESEARCH LIBRARY AND STATE ARCHIVE OF TOMSK REGION)

T.E. Kuklina

National Research Tomsk State University, 36, Lenin av., 634050, Tomsk, Russia

t_kuklina63@mail.ru

Archival materials related to the phenological observations made by G.E. Ioganzen, a professor at TSU in the Department of Comparative Anatomy and Vertebrate Zoology, being an outstanding zoologist, ornithologist, entomologist, phenologist (1866–1930) were analyzed. A comparative analysis of published and unpublished works was carried out. The documents related to the life and work of G.E. Ioganzen assembled in two collections: Rare Books and Manuscripts Department of Tomsk State University Research Library (ORKP) and the State Archives of the Tomsk Region (GATO). The main materials related to phenological observations (autographs, notebooks with pasted newspaper clippings, some published works) are in the ORKP. A study of both parts of the archive collected by G.E. Ioganzen showed that there are a number of inaccuracies in publications devoted to the work of the scientist. In a comparative analysis of the published and unpublished works of G.E. Ioganzen, several autographs were identified that are not mentioned in the special literature. It is shown that the notes made by G.E. Ioganzen have not only scientific, but historical and cultural value. Some notes can serve as indirect evidence of the use of certain species of woody plants in landscape gardening of the city, and sometimes even specific places of their growth are indicated in them. Fragments of the manuscript «The Bases of Tomsk Phenology» are published, containing data on the average long-term dates of the onset of phenophases in a number of native and introduced species of woody plants, observations of which were carried out in the University grove, in the city and its environs, as well as in the suburban area Gorodok on the left bank of the river Tom.

Keywords: G.E. Ioganzen, phenological observations, archival materials, woody plants, Tomsk

Suggested citation: Kuklina T.E. *Fenologicheskie nablyudeniya v rabotakh G.E. Ioganzena (po materialam ot dela rukopisey i knizhnykh pamyatnikov Nauchnoy biblioteki Tomskogo gosudarstvennogo universiteta i Gosudarstvennogo arkhiva Tomskoy oblasti)* [Phenological observations in G.E. Ioganzen works (based on archive materiales of Rare Books and Manuscripts Department of Tomsk State University Research Library and State Archive of Tomsk region)]. *Lesnoy vestnik / Forestry Bulletin*, 2025, vol. 29, no. 3, pp. 92–110. DOI: 10.18698/2542-1468-2025-3-92-110

References

- [1] Ruzskiy M.D. *Prof. G.E. Ioganzen (1866–1930). Nekrolog* [Prof. G.E. Ioganzen (1866–1930). Obituary]. *Trudy Biologicheskogo fakul'teta Tomskogo gosudarstvennogo universiteta* [Proc. of the Faculty of Biology of Tomsk State University], 1931, v. 1 (83), iss. 1, pp. 1–4.
- [2] *Sibirskaya sovetskaya entsiklopediya. V 4 t.* [Siberian Soviet Encyclopedia: in 4 v.], v. 2 (Z-K), 1931, 1152 cols.
- [3] Krylov G.V., Ioganzen B.G. *Stareyshiy kraeved i zoolog Sibiri G.E. Ioganzen (1866–1930)* [The oldest local historian and zoologist of Siberia G.E. Ioganzen]. *Trudy komissii po okhrane prirody pri SO AN SSSR* [Proc. of the Commission for Nature Protection at the Siberian Branch of the USSR Academy of Sciences]. Novosibirsk, 1962, v. 1, iss. 1, pp. 205–208.
- [4] Laptev I.P. *Zhizn' i deyatel'nost' G.E. Ioganzena (k stoletiyu so dnya rozhdeniya)* [The life and work of G.E. Ioganzen (on the centenary of his birth)]. *Voprosy zoologii* [Questions of Zoology]. Tomsk: Izd-vo Tom. un-ta, 1966, pp. 275–277.
- [5] Pospelova V.M. *G.E. Ioganzen kak entomolog* [G.E. Ioganzen as an entomologist]. *Voprosy zoologii* [Questions of Zoology]. Tomsk: Izd-vo Tom. un-ta, 1966, pp. 278–280.
- [6] Titova S.D. *Prepodavatel'skaya deyatel'nost' prof. G.E. Ioganzena* [Teaching activities of Professor G.E. Ioganzen]. *Voprosy zoologii* [Questions of Zoology]. Tomsk: Izd-vo Tom. un-ta, 1966, pp. 280–282.
- [7] Tyul'panov M.A. *G.E. Ioganzen kak fenolog* [G.E. Ioganzen as a phenologist]. *Voprosy zoologii* [Questions of Zoology]. Tomsk: Izd-vo Tom. un-ta, 1966, pp. 282–283.
- [8] Gyngazov A.M., Kryzhanovskaya V.V., Laptev I.P., Titova S.D., Tyul'panov M.A. *Zhizn' i deyatel'nost' professora Germana Eduardovicha Ioganzena (k 100-letiyu so dnya rozhdeniya)* [The life and work of Professor G.E. Ioganzen (on the occasion of his 100th birthday)]. *Trudy NII biologii i biofiziki pri Tomskom un-te* [Proc. of the Research Institute of Biology and Biophysics at Tomsk University], 1970, v. 1, pp. 5–10.
- [9] Krylov G.V., Zavalishin V.V., Kozakova N.F. *Issledovateli prirody Zapadnoy Sibiri* [Nature Explorers of Western Siberia]. Novosibirsk: Novosibirskoe knizhnoe izdatel'stvo, 1988, 352 p.
- [10] L'gotina L.P. *Iz istorii izucheniya prirody territorii sovremennoy Tomskoy oblasti (dorevolutsionnyy period)* [From the history of studying the nature of the territory of the modern Tomsk region (pre-revolutionary period)]. *Voprosy geografii Sibiri* [Questions of the geography of Siberia], iss. 18. Tomsk: Tomsk State University Publ., 1993, pp. 154–159.

- [11] *Professora Tomskogo universiteta. Biograficheskiy slovar'* [Professors of Tomsk University. Biographical Dictionary]. Fominykh S.F., Nekrylov S.A., Bertsun L.L., Litvinov A.V. Tomsk: Tomsk State University Publ., 1998, v. 2, pp. 170–176.
- [12] Ioganzen-Ryubke T.B. *Sibirskaya dinastiya: tri pokoleniya sem'i Ioganzen* [The Siberian Dynasty: three generations of the Ioganzen family]. Nachalo veka: literaturnyy i kraevedcheskiy zhurnal. Tomsk, 2008, no. 2, pp. 159–167.
- [13] Vasen'kin N.V. *Arkhivnyy fond NB TGU. Vyp. 8. German Eduardovich Ioganzen. Opis' arkhiva* [Archive Fund of Research Library of Tomsk State University. Iss. 8. German Eduardovich Ioganzen. Archive inventory]. Tomsk, 2008, 19 p. Available at: <http://vital.lib.tsu.ru/vital/access/manager/Repository/vtls:000398277> (accessed 28.12.2019).
- [14] The State Archive of Tomsk Region (GATO). Fund R-1944. List 1. File 222.
- [15] The State Archive of Tomsk Region (GATO). Fund R-1944. List 1. File 236.
- [16] Rare Books and Manuscripts Department of Tomsk State University Research Library (ORKP). Fund 22. List 1. File 26.
- [17] Ioganzen G.E. *Iz zhizni tomskoy prirody. Vtoroe izdanie. Pervaya publikatsiya v 1915* [From the life of Tomsk nature. Second edition. First publication in 1915]. Russkiy ornitologicheskii zhurnal [The Russian Journal of Ornithology], 2013, v. 22, express-issue № 866, pp. 936–937. Available at: <http://rozh.lgb.ru/downloads/category/21-2013.html?start=20> (accessed on 08.05.2024).
- [18] Ioganzen G.E. *Tomskaya priroda v 1911 godu. Zametki G. Ioganzena* [Tomsk nature in 1911. Notes by G. Ioganzen]. Kalendar'-spravochnik gazety «Utro Sibiri» na 1912 god. [The calendar directory of the newspaper «Morning of Siberia» for 1912]. Tomsk: Parovaya tipografiya N.I. Orlovoy, 1912, pp. 84–100.
- [19] Ioganzen G.E. *Tomskaya priroda v 1912 godu. Zametki G. Ioganzena* [Tomsk nature in 1912. Notes by G. Ioganzen]. Tomsk, 1914, 39 p.
- [20] Ioganzen G.E. *Tomskaya priroda v 1912 godu. Zametki G. Ioganzena* [Tomsk nature in 1912. Notes by G. Ioganzen]. Tomsk: Pechatnya Yakovleva, 1914, 39 p.
- [21] Ioganzen G.E. *Iz zhizni Tomskoy prirody v 1913 godu. G. Ioganzen* [Tomsk nature in 1913. G. Ioganzen]. Trudy Tomskogo obshchestva izucheniya Sibiri [Proc. of the Tomsk Society for the Study of Siberia]. Ed. Potanin G.N. Tomsk, 1915, v. 3, iss. 1, pp. 109–136.
- [22] Evseeva N.S. *Geografiya Tomskoy oblasti (Prirodnye usloviya i resursy)* [Geography of the Tomsk region (Natural conditions and resources)]. Tomsk: Tomsk State University Publ., 2001, 223 p.
- [23] *Iz zhizni Tomskoy prirody za 1924 i 1915 gg.* [From the life of Tomsk nature. Phenological notes for 1924 and 1915]. Izvestiya Instituta issledovaniya Sibiri [Bulletin of the Institute of the Research of Siberia], no. 2: Trudy estestvenno-istoricheskogo otdela, no. 1. Tomsk: Narodnaya tipografiya, no. 2, 1920, pp. 54–75.
- [24] Ioganzen G.E. *Iz zhizni Tomskoy prirody. Fenologicheskie zametki za 1915 g.* [From the life of Tomsk nature. Phenological notes for 1915]. Tomsk. Trudy Obshchestva izucheniya Tomskogo kraya [Proc. of the Society for the Study of the Tomsk Region]. Tomsk, 1927, iss. 1, pp. 60–86.
- [25] Ioganzen G.E. *Iz zhizni Tomskoy prirody. Dnevnik fenologicheskikh nablyudeniy za 1916 g.* [From the life of Tomsk nature. Diary of phenological observations for 1916]. Materialy po izucheniyu Sibiri [Materials on the study of Siberia], Tomsk, 1930, v. 1, pp. 111–145.
- [26] Golev I.A. *Padaet redkiy sneg, dnem proglyadyvalo solntse: fenologicheskie zametki Germana Ioganzena* [Rare snow falls, the sun peeked through during the day: phenological notes by German Ioganzen]. Sibirskaya starina. Kraevedcheskiy al'manakh [Siberian Antiquity. Local history almanac], 2018, no. 31, pp. 34–65.
- [27] Rare Books and Manuscripts Department of Tomsk State University Research Library (ORKP). Fund 22. List 1. File 3.
- [28] Rare Books and Manuscripts Department of Tomsk State University Research Library (ORKP). Fund 22. List 1. File 2.
- [29] Rare Books and Manuscripts Department of Tomsk State University Research Library (ORKP). Fund 22. List 1. File 4.
- [30] Rare Books and Manuscripts Department of Tomsk State University Research Library (ORKP). Fund 22. List 1. File 5.
- [31] Rare Books and Manuscripts Department of Tomsk State University Research Library (ORKP). Fund 22. List 1. File 6.
- [32] Rare Books and Manuscripts Department of Tomsk State University Research Library (ORKP). Fund 22. List 1. File 7.
- [33] Rare Books and Manuscripts Department of Tomsk State University Research Library (ORKP). Fund 22. List 1. File 9.
- [34] Rare Books and Manuscripts Department of Tomsk State University Research Library (ORKP). Fund 22. List 1. File 10.
- [35] Rare Books and Manuscripts Department of Tomsk State University Research Library (ORKP). Fund 22. List 1. File 11.
- [36] Rare Books and Manuscripts Department of Tomsk State University Research Library (ORKP). Fund 22. List 1. File 4.
- [37] Rare Books and Manuscripts Department of Tomsk State University Research Library (ORKP). Fund 22. List 1. File 12.
- [38] Rare Books and Manuscripts Department of Tomsk State University Research Library (ORKP). Fund 22. List 1. File 13. 116 p.
- [39] Rare Books and Manuscripts Department of Tomsk State University Research Library (ORKP). Fund 22. List 1. File 14. 29 p.
- [40] Rare Books and Manuscripts Department of Tomsk State University Research Library (ORKP). Fund 22. List 1. File 15. 78 p.
- [41] Rare Books and Manuscripts Department of Tomsk State University Research Library (ORKP). Fund 22. List 1. File 16. 79 p.
- [42] Rare Books and Manuscripts Department of Tomsk State University Research Library (ORKP). Fund 22. List 1. File 8. 120 p.
- [43] Khan L.V. *Osobennosti sezonnogo razvitiya khvoynykh derev'ev v usloviyakh gorodskoy sredy* [Features of the seasonal development of conifers in urban environments]. Ekologiya segodnya. Sbornik rabot nauchnoy molodezhi TGU [Ecology today. Collection of works by TSU scientific youth]. Tomsk: Tomsk State University Publ., 2001, iss. 1, pp. 39–42.
- [44] Kuklina T.E. *Vesennnee razvitie berezy povisloy i berezy pushistoy v ozelenenii g. Tomsk i prigorode* [Spring development of weeping birch and downy birch in the landscaping of Tomsk and the suburbs]. Lesnoe khozyaystvo i zelenoe stroitel'stvo v Zapadnoy Sibiri: Materialy III Mezhdunarodnogo internet-seminara (may 2007 g.) [Forestry and Green Construction in Western Siberia: Materials of the III international Internet-seminar (May 2007)]. Tomsk: Tomsk State University Publ., 2007, pp. 168–186.

- [45] Kuklina T.E., Danchenko A.M. *Osennee razvitie Betula pendula Roth i Betula pubescens Ehrh. v ozelenenii g. Tomsk i prigorode* [The Autumn Development of *Betula pendula* Roth and *Betula pubescens* Ehrh. in Tomsk Landscape Gardening and Forest Stands]. Vestnik Tomskogo gosudarstvennogo universiteta [Tomsk State University Journal], 2009, 322 (may), pp. 239–242.
- [46] Baranova A.L., Eremina V.I. *Otbornye formy Actinidia kolomikta (Rupr.) Maxim. v introduktsionnom eksperimente* [Selected forms of *Actinidia kolomikta* (Rupr.) Maxim. in the introductory experiment]. Vestnik IrGSKhA, 2011, no. 44 (3), pp. 19–23.
- [47] Moskvitina N.S. *Kafedra zoologii pozvonochnykh i ekologii: istoricheskaya retrospektiva i sovremennost'* [Department of Vertebrate Zoology and Ecology: historical retrospective and modernity]. Vestnik Tomskogo gosudarstvennogo universiteta [Tomsk State University Journal], 2003, app. no. 5, pp. 25–34.
- [48] Romanov V.I. *Istoriya kafedry ikhtologii i gidrobiologii biologo-pochvennogo fakul'teta* [History of the Department of Ichthyology and Hydrobiology of the Faculty of Biology and Soil]. Vestnik Tomskogo gosudarstvennogo universiteta [Tomsk State University Journal], 2003, app. no. 5, pp. 45–53.
- [49] Zvereva I.S. *Izdatel' i redaktor Gustav Pipirs (K istorii dorevolutsionnoy nemetskoj pechati v Rossii)* [Publisher and editor Gustav Pipirs (On the History of the pre-revolutionary German press in Russia)] // Vestnik SPbGUKI [Bulletin of Saint Petersburg State University of Culture (SPbGUKI)], July 2006, pp. 48–55.
- [50] Weaponclub.ru. 2023. Available at: <http://weaponclub.ru/obychnoe-oruzhie-rasprostranennoe/ognestrelnoe-oruzhie/ruzhe-montekristo/> (accessed on 29.04.2024).
- [51] Chavykin G.V. *Ves' Tomsk na 1911–1912 gg.: adresno-spravochnaya knizhka* [The whole of Tomsk for 1911–1912: address and reference book]. Tomsk, 1911, 369 p.
- [52] *Gorod Tomsk. Besplatnoe prilozhenie k gazete «Sibirskaya zhizn'» za 1912 god* [Tomsk city. Free supplement to the newspaper «Siberian Life» for 1912]. Tomsk: Izdanie Sibirskogo tovarishchestva pechatnogo dela v Tomske, 1912, 348 p.
- [53] Moryakina V.A. *Introduktsiya drevesnykh i kustarnikovykh rasteniy v Sibirskom botanicheskom sadu* [History and main stages of plant introduction in Tomsk]. Byulleten' Sibirskogo botanicheskogo sada [Bulletin of the Siberian Botanical Garden]. Tomsk, 1965, iss. 6, pp. 1–26.
- [54] Moryakina V.A. *Istoriya i osnovnye etapy introduktsii rasteniy v Tomske* [The history and main stages of plant introduction in Tomsk]. Byulleten' Sibirskogo botanicheskogo sada [Bulletin of the Siberian Botanical Garden], iss. 7. Tomsk, 1970, pp. 3–18.
- [55] Goncharov A.G. *Novye drevesno-kustarnikovye porody v Sibirskom botanicheskom sadu* [New tree and shrub species in the Siberian Botanical Garden]. Byulleten' Glavnogo botanicheskogo sada [Bulletin of the Main Botanical Garden], 1956, iss. 24, pp. 11–15.
- [56] Ebel' A.L., Pyak A.I., Revushkin A.S., Gureeva I.I., Kurbatskiy V.I., Olonova M.V., Ebel' T.V., Merzlyakova I.E., Shchegoleva N.V., Volkova I.I., Zverev A.A., Borisenko A.L., Prokop'ev A.S. *Opredelitel' rasteniy Tomskoy oblasti* [Manual for the Identification of Plants of the Tomsk region]. Tomsk, 2014, 464 p.
- [57] *Derev'ya i kustarniki SSSR. Dikorastushchie, kul'tiviruemye i perspektivnye dlya introduktsii* [Trees and shrubs of the USSR. Wild-growing, cultivated and promising for introduction], Ed. Sokolov S.Ya. Moscow; Leningrad: Izd-vo Akad. Nauk SSSR, 1954, v. 3, 872 p.
- [58] *Bol'shaya sovetskaya entsiklopediya* [The Great Soviet Encyclopedia]. 3d ed., v. 17. Moscow: Sovetskaya entsiklopediya, 1974, 616 p.
- [59] The Plant List (2013). Version 1.1. Published on the Internet. Available at: <http://www.theplantlist.org/> (accessed 07.05.2024).
- [60] *Bol'shaya sovetskaya entsiklopediya* [The Great Soviet Encyclopedia]. 3d ed., v. 25. Moscow: Sovetskaya entsiklopediya, 1976, 600 p.
- [61] *Quercus mongolica* Fisch. ex Ledeb. Rukopisnaya kartoteka kolleksii drevesnykh rasteniy laboratorii dendrologii SibBS [Handwritten card file of the collection of woody plants of the Laboratory of Dendrology and Landscape Architecture of Siberian Botanical Garden]. Tomsk: Siberian Botanical Garden, 1990.
- [62] *Professora Tomskogo universiteta. Biograficheskiy slovar'* [Professors of Tomsk University. Biographical dictionary], 1888–1917. Ed. Fominykh S.F. Tomsk: Izd-vo Tom. un-ta, 1996, iss. 1, 288 p.
- [63] Govaerts R. Proposal to reject the name *Betula alba* (Betulaceae). *Taxon*. Wiley, 1996, v. 45, pp. 697–698. DOI:10.2307/1224262/.
- [64] Shram V.E., Khomchenko V.E. *Prirodnye osobennosti Omskoy oblasti po fenologicheskim pokazatelyam (nachalo zeleneniya berezy i nachalo tsveteniya cheremukhi)* [Natural features of the Omsk region according to phenological indicators (the beginning of birch greening and the beginning of bird cherry blossom)]. Ritmy prirody Sibiri i Dal'nego Vostoka [Rhythms of nature of Siberia and the Far East]. Irkutsk, 1975, pp. 27–35.
- [65] Moryakina V.A. *Derev'ya i kustarniki lesov yuzhnoy chasti Tomskoy oblasti* [Trees and shrubs of forests in the southern part of the Tomsk region]. Byulleten' Sibirskogo botanicheskogo sada [Bulletin of the Siberian Botanical Garden], Tomsk, 1978, iss. 11, pp. 27–32.
- [66] Klimov A.V. *Topol'niki poymy reki Tomi (taksonomicheskiy sostav, polimorfizm, estestvennaya gibrizatsiya)* [Poplar trees of the floodplain of the Tom River (taxonomic composition, polymorphism, natural hybridization)]. Cand. Sci. (Biol.) Dis. Abstract. 03.00.05. Novosibirsk, 2008. 15 p.
- [67] Moryakina V.A. *Luchshie derev'ya i kustarniki dlya ozeleneniya goroda Tomsk* [The best trees and shrubs for Tomsk landscape gardening]. Priroda Tomskoy oblasti i ee okhrana [Nature of the Tomsk region and its protection]. Ed. Laptev I.P. Tomsk: Izd-vo Tomskogo un-ta, 1965, iss. 2, pp. 52–59.
- [68] Moryakina V.A. *Ritm tsveteniya introdutsirovannykh derev'ev i kustarnikov v Tomske* [The rhythm of flowering of introduced trees and shrubs in Tomsk]. Byulleten' Sibirskogo botanicheskogo sada [Bulletin of the Siberian Botanical Garden]. Tomsk, 1973, iss. 9, pp. 3–9.

- [69] Moryakina V.A., Osipova V.D., Orlova T.G. Rukovodstvo po zelenomu stroitel'stvu v Tomskoy oblasti [Guidelines to green construction in the Tomsk region]. Tomsk, 1980, 78 p.
- [70] Polyakov V.Ya. *Topol' bal'zamicheskii v Sibiri* [Balsam poplar in Siberia]. Trudy Sibirskogo tekhnologicheskogo instituta [Proc. of the Siberian Technological Institute]. Krasnoyarsk: SibTI, 1960, iss. XXV, pp. 77–81.
- [71] Vstovskaya T.N., Koropachinskiy I.Yu. *Opredelitel' mestnykh i ekzoticheskikh drevesnykh rasteniy Sibiri* [Manual for the Identification of Native and Exotic Woody Plants of Siberia]. Novosibirsk: Publishing House of SB RAS, «Geo» Branch, 2003, 702 p.
- [72] Firsov G., Vasiliev N., Tkachenko K. Genus *Malus* Mill. in Arboretum collection of Peter the Great Botanic Garden. Hortus botanicus, 2015, no. 10. Available at: <http://hb.karelia.ru/journal/article.php?id=2341> (accessed on 22.04.2024). DOI: 10.15393/j4.art.2015.2341
- [73] *Zhizn' rasteniy: v 6 t.* [Plants life: in 6 v.]. Ed. Takhtadzhyan A.L. V. 5(2). Moscow: Prosveshchenie, 1981, 512 p.
- [74] Sergievskaya L.P. *Fito-fenologicheskie nablyudeniya, provedennyye v Tomske i ego okrestnostyakh v 1919–21, 1923–25 gg.* [Phyto-phenological observations carried out in Tomsk and its environs in 1919–21, 1923–25]. Izvestiya Tomskogo gosudarstvennogo universiteta, 1926, v. 77, 84 p.
- [75] Rychin Yu. V. *Drevesno-kustarnikovaya flora* [Tree and shrub flora]. Moscow: Prosveshchenie, 1972, 264 p.
- [76] Plantarium. Plants and lichens of Russia and neighboring countries: open online galleries and plant identification guide. URL: <https://www.plantarium.ru/lang/en/page/view/item/36504.html> (accessed 10.03.2024).
- [77] Kolesnikov A.I. *Dekorativnaya dendrologiya* [Decorative dendrology]. Moscow: Lesnaya promyshlennost', 1974, 703 p.
- [78] *Ribes pubescens* (Schwartz.) Hedl. *Rukopisnaya kartoteka kollektsii drevesnykh rasteniy laboratorii dendrologii SibBS* [Handwritten card file of the collection of woody plants of the Laboratory of Dendrology and Landscape Architecture of Siberian Botanical Garden]. Tomsk: Siberian Botanical Garden, 1987.
- [79] *Sibirskiy botanicheskiy sad* [Siberian Botanical Garden]. Ed. Prikladov N.V. Tomsk: Izd-vo Tom. un-ta, 1969, 168 p.
- [80] *Solanum dulcamara* L. *Rukopisnaya kartoteka kollektsii drevesnykh rasteniy laboratorii dendrologii SibBS* [Handwritten card file of the collection of woody plants of the Laboratory of Dendrology and Landscape Architecture of Siberian Botanical Garden]. Tomsk: Siberian Botanical Garden, 1962.
- [81] *Flora Zapadnoy Sibiri. Rukovodstvo k opredeleniyu zapadno-sibirskikh rasteniy. Vtoroe dopolnennoe i rasshirennoe izdanie «Flory Altaya i Tomskoy gubernii»* P. Krylova. Vypusk IX. *Pirolaceae–Labiatae* [Flora of Western Siberia. Guidelines for the Definition of Western Siberian Plants. The second supplemented and expanded edition of «Flora of Altai and Tomsk Province» by P. Krylov. Issue IX. *Pirolaceae–Labiatae*]. Tomsk, 1937, pp. 2089–2401.
- [82] Moryakina V.A. *Derev'ya i kustarniki Zapadno-Sibirskoy flory v zelenom stroitel'stve* [Trees and shrubs of the West Siberian flora in green construction]. Byulleten' Sibirskogo botanicheskogo sada [Bulletin of the Siberian Botanical Garden], 1983, iss. 13, pp. 9–15.
- [83] *Rosa rugosa* Thunb. sort 'Tsaritsa Severa'. *Rukopisnaya kartoteka kollektsii drevesnykh rasteniy laboratorii dendrologii SibBS* [Handwritten card file of the collection of woody plants of the Laboratory of Dendrology and Landscape Architecture of Siberian Botanical Garden]. Tomsk: Siberian Botanical Garden, 1953.
- [84] *Mahonia aquifolium* (Pursh) Nutt. *Rukopisnaya kartoteka kollektsii drevesnykh rasteniy laboratorii dendrologii SibBS* [Handwritten card file of the collection of woody plants of the Laboratory of Dendrology and Landscape Architecture of Siberian Botanical Garden]. Tomsk: Siberian Botanical Garden, 1953.
- [85] *Preyskurant semyan, rasteniy i proch. sadovogo zavedeniya Tomskogo obshchestva sadovodstva: 1912 god* [Price list of seeds, plants, etc. of the garden institution of the Tomsk Society of Horticulture: 1912]. Tomsk: Tipografiya Doma Trudolyubiy, 1912, 34 p. Available at: <https://elib.tomsk.ru/purl/1-17146/> (accessed 25.08.2022).

Acknowledgments

The author expresses gratitude to everyone who assisted in the work: employees of Rare Books and Manuscripts Department of Tomsk State University Research Library (V.A. Esipova, Dr. Sci. (Hist.), Head of sector; the Leading Librarian O.V. Kruptseva, the Chief Librarian N.V. Goncharova), employees of Siberian Botanical Garden (A.L. Baranova, Engineer; Laboratory of Dendrology and Landscape Architecture; A.S. Prokop'ev, Cand. Sci. (Biol.); Senior Researcher; Laboratory of Rare Plants; O.D. Chernova, Cand. Sci. (Biol.), Senior Researcher; Laboratory of Rare Plants; T.N. Kataeva, Engineer; Laboratory of Rare Plants).

Author's information

Kuklina Tat'yana Eduardovna — Cand. Sci. (Biol.), Associate Professor of the Department of Forestry and Landscape Construction of the Institute of Biology of the National Research Tomsk State University, t_kuklina63@mail.ru

Received 17.05.2024.

Approved after review 31.05.2024.

Accepted for publication 10.04.2025.

ИЗМЕНЕНИЕ ПРОИЗВОДСТВЕННО-ЭКОНОМИЧЕСКИХ ПОКАЗАТЕЛЕЙ ОТРАСЛЕЙ ЛЕСНОГО КОМПЛЕКСА В УСЛОВИЯХ АДАПТАЦИИ ЭКОНОМИКИ РОССИИ К СОВРЕМЕННОЙ СИТУАЦИИ

Н.Б. Пинягина, Н.С. Горшенина✉

МГТУ им. Н.Э. Баумана (Мытищинский филиал), Россия, 141005, Московская обл., г. Мытищи, ул. 1-я Институтская, д. 1

gorshenina2303@icloud.com

Представлены результаты сравнительного анализа состояния производства основных направлений лесохозяйственного сектора экономики и дана их оценка. Приведено обоснование тенденций изменения финансовой результативности. Выявлены причины снижения инвестиционной привлекательности и конкурентоспособности отдельных видов продукции, производимых предприятиями лесного комплекса. Разработаны предложения по формированию кадровой политики и подготовке профессиональных специалистов в соответствии с отраслевой спецификой.

Ключевые слова: лесопромышленные компании, аналитический обзор, сравнительный анализ, финансово-экономическая деятельность, прямые инвестиции, кадровая политика

Ссылка для цитирования: Пинягина Н.Б., Горшенина Н.С. Изменение производственно-экономических показателей отраслей лесного комплекса в условиях адаптации экономики России к современной ситуации // Лесной вестник / Forestry Bulletin, 2025. Т. 29. № 3. С. 111–126.

DOI: 10.18698/2542-1468-2025-3-111-126

Анализ состояния основных отраслей лесного комплекса и оценка результатов производственно-экономической деятельности лесопромышленных компаний показал, что, несмотря на позитивные изменения, произошедшие в начале 2020-х годов, здесь остаются проблемы, требующие серьезного исследования и поиска путей их решения. В связи с этим необходимо более глубокое рассмотрение перспектив развития лесного комплекса в рамках адаптации экономики и промышленного производства России к новым сложившимся современным условиям. Для решения имеющихся проблем нами проведен сравнительный анализ социально-экономических показателей по отраслям лесного комплекса с учетом общего состояния экономики России и прогнозов ее развития [3].

Сравнительный анализ тенденций изменения финансово-экономических показателей позволил выявить факторы и причины их снижения в определенных периодах. Кроме того, выполнена оценка результатов финансово-инвестиционной деятельности отраслей лесного комплекса. При этом важным аспектом исследования является изучение перспектив вложения прямых инвестиций в лесной комплекс для обеспечения его финансовой стабильности [1–4].

Цель работы

Цель работы — анализ, оценка и исследование тенденций изменения основных показателей производственно-экономической деятельности лесопромышленных компаний в условиях адаптации экономики России к современным условиям ее развития.

Материалы и методы

Исследования проводили по четырем направлениям, наиболее полно отражающим состояние, динамику и перспективы развития отраслей лесного комплекса России с учетом текущих особенностей экономики и прогнозов ее развития. По данным сравнительного анализа состояния производственной и социальной сфер, тенденций изменения ключевых показателей, инвестиционной активности определена результативность деятельности лесопромышленных компаний, указаны проблемы, направления и прогнозы ее развития в соответствии с социально-экономической политикой применительно к экономике страны в рамках адаптации к новым условиям.

Краткая характеристика общего состояния экономики России с акцентом на лесной комплекс. Адаптация экономики и промыш-

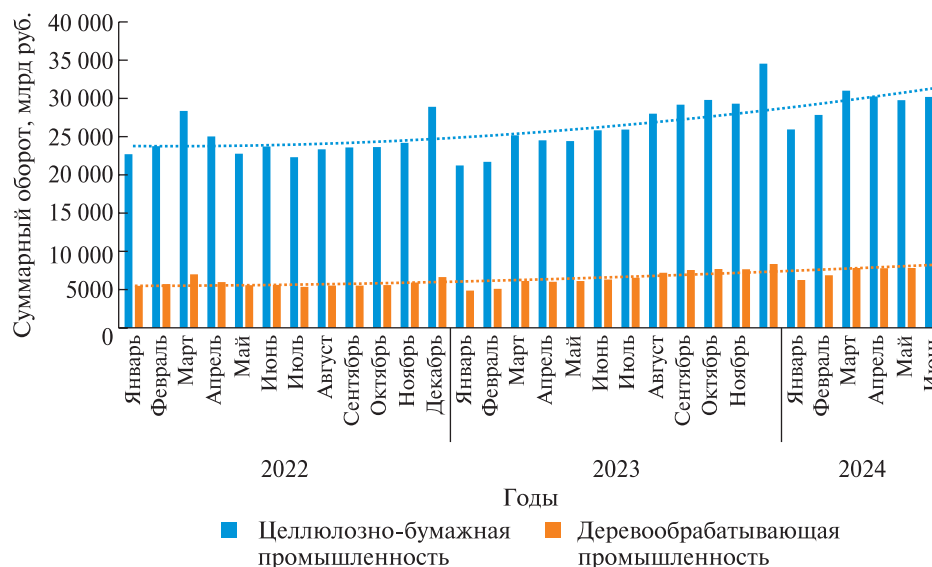


Рис. 1. Суммарный оборот предприятий и организаций России за 2022, 2023 гг. и I полугодие 2024 г., в том числе обрабатывающих производств в динамике, млрд руб.

Fig. 1. Total turnover of enterprises and organisations in Russia for 2022, 2023 and the first half of 2024, including manufacturing industries, in dynamics, billion rubles

Т а б л и ц а 1

Оборот предприятий по основным отраслям лесного комплекса за I полугодие 2022, 2023 и 2024 гг., млрд руб.

Turnover of enterprises by main branches of the forestry complex for the first half of 2022, 2023 and 2024, billion rubles

Отрасль экономики	2022	2023	2024	Изменение относительно I полугодия 2024 г., %	
				по 2022 году	по 2023 году
Лесоводство и лесозаготовки, млрд руб.	167	132	147	88,0	111,4
Производство бумаги и бумажных изделий, млрд руб.	736	647	823	111,8	127,2
Обработка древесины и производство изделий из дерева и пробки, млрд руб.	538	428	524	97,4	122,4
Производство мебели, млрд руб.	211	207	355	168,2	171,5
Доля оборота целлюлозно-бумажной промышленности в суммарном обороте в лесном комплексе, %	44,5	45,8	44,5	0 п.п.	-1,3 п.п.
Доля оборота предприятий ЛПК в общем обороте продукции в РФ, %	2,0	1,0	1,06	-0,94 п.п.	0,06 п.п.
Суммарный оборот организаций и предприятий лесного комплекса	1652	1414	1849	111,9	130,8
Обрабатывающие производства, всего, млрд руб.	35 175	34 742	44 281	125,9	127,5
Всего по России, млрд руб.	145 862	142 777	174 733	119,8	122,4

ленного производства к новым условиям хозяйствования в санкционный период в I полугодии 2024 г. отразилась на динамике суммарного оборота предприятий и организаций, демонстрируя его существенный рост: суммарный оборот по стране за I полугодие 2024 г. вырос относительно того же периода 2023 г. на 22 % (рис. 1) [33–34].

Как следует из рис. 1, суммарный оборот компаний обрабатывающих производств увеличился относительно предыдущего периода на 27,5 %. Эти данные свидетельствуют о расширении рынка потребления лесобумажной продукции. Оживление экономики страны, рост оборота в секторах и отраслях, которые используют товары преимущественно из древесины

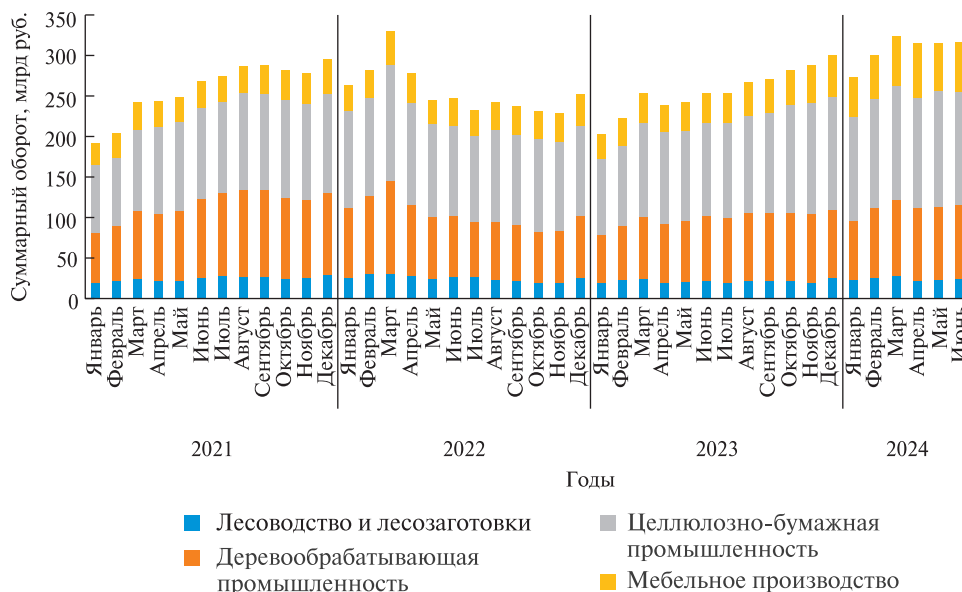


Рис. 2. Изменение суммарного оборота предприятий лесного комплекса по отраслям за 2021–2023 гг. и I полугодие 2024 г. в динамике, млрд руб.

Fig. 2. Change in the total turnover of forest enterprises by sector for 2021-2023 and the first half of 2024 in dynamics, billion rubles

Т а б л и ц а 2

Объем отгрузки продукции предприятиями лесопромышленного комплекса за I полугодие 2022, 2023, 2024 гг., млрд руб.

Volume of product shipment by enterprises of the timber industry in the first half of 2022, 2023, 2024, billion rubles

Отрасль экономики	2022	2023	2024	Изменение относительно I полугодия 2024 г., %	
				по 2022 году	по 2023 году
Целлюлозно-бумажная промышленность	697	618	781	112,1	126,4
Деревообрабатывающая промышленность	517	392	484	93,6	123,5
Мебельное производство	202	191	245	121,3	128,3
Суммарный объем отгрузки обрабатывающих предприятий лесопромышленного комплекса	1485	1201	1511	101,7	125,8

и ее производных, оказали значимое влияние на темпы развития всего лесного комплекса (табл. 1).

Сравнительная динамика изменения суммарного оборота лесопромышленных предприятий за I полугодие 2022, 2023 и 2024 годов показывает высокий рост практически по всем отраслям. Так, в I полугодии 2024 г. оборот предприятий целлюлозно-бумажной промышленности (ЦБП) увеличился на 27 % по сравнению с таким же периодом 2023 г. При этом наибольший всплеск роста суммарного оборота наблюдался в мебельном производстве — на 71,5 %

Доля суммарного оборота лесного комплекса в общем обороте экономики России в I полугодии 2022 г. составляла 2 %. В I полугодии 2023 г. и 2024 г. она имела тенденцию к снижению, что свидетельствует об отставании темпов развития лесной отрасли на фоне общероссийских темпов. Наибольшую долю в суммарном обороте лесного комплекса занимают предприятия и организации ЦБП — 44,5 %. В 2023 г. она слегка увеличилась до 45,8 %, а в 2024 г. вновь составила 44,5 % (рис. 2).

Снижение оборота лесопромышленных предприятий в его общем объеме по лесному комплексу, несмотря на существенный рост

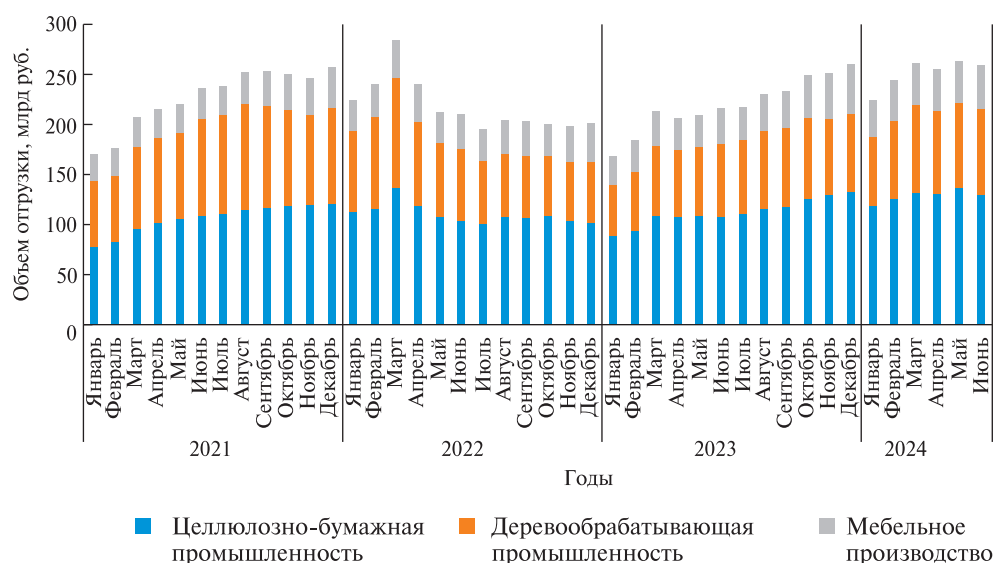


Рис. 3. Изменение объемов отгрузки продукции предприятиями лесного комплекса по отраслям за 2021–2023 гг. и I полугодие 2024 г. в динамике, млрд руб.

Fig. 3. Changes in the volume of product shipment by enterprises of the forestry complex by industry for 2021–2023 and the first half of 2024 in dynamics, billion rubles

Т а б л и ц а 3

Сравнительные индексы производства за I полугодие 2023 и 2024 гг. по отраслям лесопромышленного комплекса, %

Comparative indices of production for the first half of 2023 and 2024 by sectors of the timber industry, %

Отрасли экономики	I полугодие 2023 г. относительно I полугодия 2022 г.	I полугодие 2024 г. относительно I полугодия 2023 г.
Целлюлозно-бумажная промышленность	97,5	106,9
Деревообрабатывающая промышленность	99,2	106,0
Мебельное производство	114,5	114,8

в I полугодии 2024 г., свидетельствует о более медленном его восстановлении в условиях современности по сравнению с экономикой страны в целом, что подчеркивает важность решения сложившихся текущих проблем и необходимость разработки эффективной стратегии развития лесного комплекса [34].

Согласно данным рис. 2 увеличение суммарного оборота во всех отраслях началось с первого квартала.

По данным анализа изменения объемов отгрузки продукции лесопромышленного комплекса (ЛПК) в стоимостном выражении за I по-

лугодие 2022, 2023 и 2024 гг., было определено, что отгрузка продукции в отчетном периоде 2024 г. в целом по сравнению с этим же периодом 2023 г. возросла почти на 26 % (табл. 2) [33].

Заметный рост объема отгрузки продукции лесопромышленными предприятиями во всех отраслях ЛПК нивелирует весьма скромный рост по отношению к I полугодию 2022 г. — 1,7 %. Среди ЛПК ускоренные темпы отгрузки продукции показывают предприятия ЦБП (12 % к 2022 г.), а также мебельного производства (21,3 % к 2022 г.) (рис. 3). Однако в целом по ЛПК вследствие резкого падения объемов отгрузки продукции деревообрабатывающими предприятиями в 2023 г. этот показатель в 2024 г. не достиг ожидаемых темпов роста.

Сравнительный анализ состояния производства в лесном комплексе России за I полугодие 2022, 2023, 2024 гг. по отраслям. Анализ изменения индексов производства в отраслях ЛПК в натуральном выражении за I полугодие 2024 г. по сравнению с I полугодием 2023 г. свидетельствует о положительной динамике и ускорении роста выпуска продукции во всех отраслях. Если годом ранее индексы производства в целлюлозно-бумажной и деревообрабатывающей отраслях промышленности в I полугодии 2023 г. снизились по отношению к аналогичному периоду 2022 г., то в I полугодии 2024 г. лидером по темпам увеличения выпуска продукции стало мебельное производство, рост которого составил 114,8 %, в целлюлозно-бумажной промышленности рост составил 106,9 % (табл. 3).

Т а б л и ц а 4

**Сравнительные данные по объемам производства основных видов
лесобумажной продукции за I полугодие 2022, 2023, 2024 гг.**

**Comparative data on the production volumes of the main types of forest paper products
for the first half of 2022, 2023, 2024**

Наименование продукции	2022	2023	2024	Изменение относительно I полугодия 2024 г., %	
				по 2022 году	по 2023 году
Лесозаготовительная промышленность					
Производство круглых лесоматериалов и топливных дров, плотн. м³	69	65	66	95,6	101,5
Деревообрабатывающая промышленность					
Пиломатериалы, тыс. м³	14 712	13 942	14 545	98,9	104,3
Фанера, тыс. м³	1901	1586	1763	92,7	111,2
Плиты древесностружечные, тыс. усл. м³	5142	5339	6457	125,6	120,9
Плиты древесноволокнистые, млн усл. м²	368	309	357,5	97,1	115,7
Дома деревянные заводского изготовления (домокомплекты), тыс. м² общ. пл.	72	112	127	176,4	113,4
Целлюлозно-бумажная промышленность					
Целлюлоза + древесная масса, тыс. т	4420,1	4266	4280	96,8	100,3
Бумага и картон, тыс. т	5080,2	4864	5321	104,7	109,4
Бумага газетная, тыс. т	543,8	482	494	90,9	102,5
Бумага офсетная, тыс. т	186,5	222	231	124,0	104,1
Тарный картон (крафт-лайнер), тыс. т	932,4	812,0	956	102,5	118,0
Ящики и коробки из гофрированного картона, тыс. м²	3738,0	3903,0	4211	107,9	112,6
Санитарно-гигиенические изделия, тыс. шт.	1082,0	1295,0	1252,2	96,7	115,7

Объемы производства в отраслях лесопромышленного комплекса в I полугодии 2024 г. по сравнению с I полугодием 2023 г. увеличились практически по всем основным видам продукции (табл. 4).

В деревообрабатывающей промышленности наибольший рост за рассматриваемый период показало производство древесно-стружечных плит — 120,9 % и производство древесноволокнистых плит — 115,7 %. Резко вырос по отношению к I полугодию 2022 г. выпуск деревянных домокомплектов — 176,4 %.

Объемы производства в ЦБП за I полугодие 2024 г. по сравнению с тем же периодом 2023 г. также выросли по всем видам продукции. Наибольший рост наблюдался в производстве тарного картона (крафт-лайнера) — 118 %, санитарно-гигиенических изделий — 115,7 %, ящиков и коробок из гофрированного картона — 112,6 % (рис. 4).

Ускорение темпов производства продукции ЦБП является следствием оживления экономики России, роста ВВП и объемов производства в отраслях, потребляющих эту продукцию. Индекс физического объема ВВП относительно

I квартала 2023 г. составил 105,4 %, в том числе по обрабатывающим производствам — 109,0 %, по оптовой и розничной торговле — 111,4 %, по строительству — 104,5 %. Особенно сильно вырос за этот период суммарный оборот предприятий пищевой и легкой промышленности — на 15...30 %. Оборот предприятий, выпускающих компьютеры и иную электротехнику увеличился более чем на 50 %.

Таким образом, для секторов и отраслей экономики, в значительных объемах потребляющих продукцию ЦБП, потребуются дополнительные объемы таких товаров из бумаги и картона, как упаковка, офсетная бумага, санитарно-гигиенические изделия. Это даст импульс наращиванию мощности по производству конечной потребительской продукции и полуфабрикатов, в частности целлюлозы, макулатуры, ролевых бумаги и картона, гофрокартона. Прогнозы роста ВВП в стране на перспективу позволяют ожидать формирования благоприятных условий для дальнейшего развития отечественной ЦБП (рис. 5) [1].

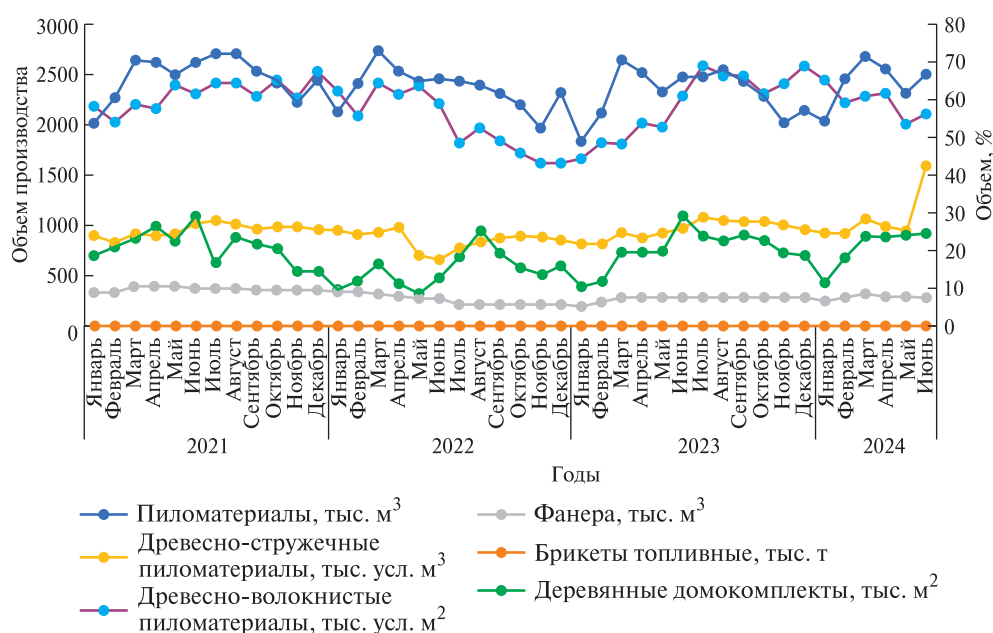


Рис. 4. Изменение объемов производства основных видов продукции деревообрабатывающей отрасли за 2021–2023 гг. и I полугодие 2024 г. в динамике

Fig. 4. Changes in the production volumes of the main types of woodworking products for 2021–2023 and the first half of 2024 in dynamics

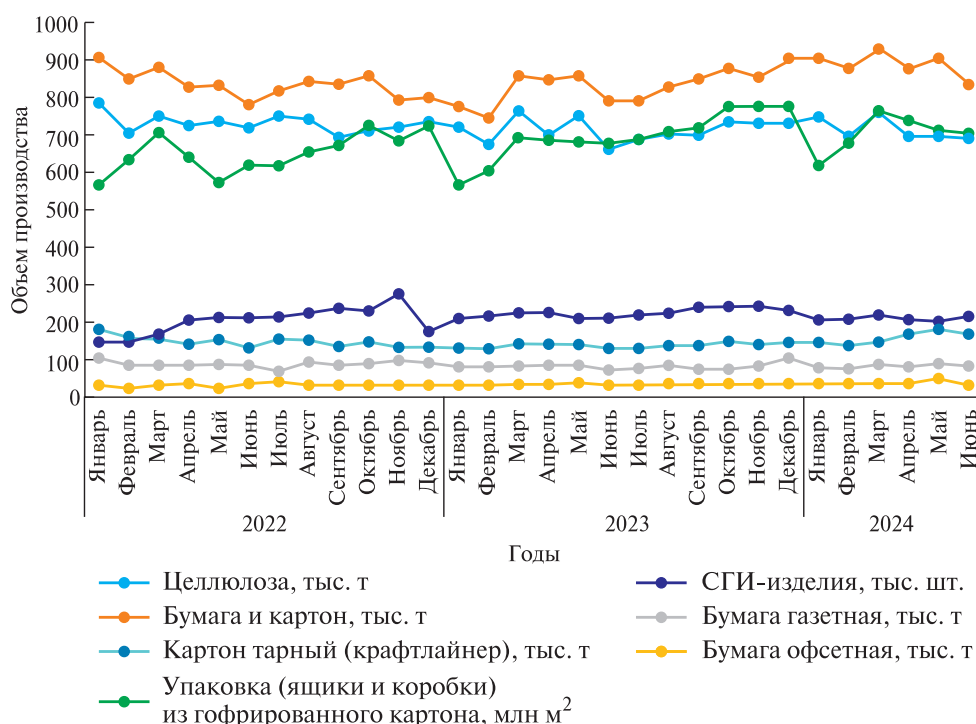


Рис. 5. Изменение объемов производства основных видов продукции целлюлозно-бумажной промышленности за 2022, 2023 гг. и I полугодие 2024 г. в динамике

Fig. 5. Change in the production volumes of the main types of pulp and paper industry products in 2022, 2023 and I half of 2024 in dynamics

Т а б л и ц а 5

Показатели деятельности отраслей лесного комплекса к концу I полугодия 2024 г.**Performance indicators of the forest complex industries by the end of the first half of 2024**

Показатель	2022	2023	2024	Изменение относительно I полугодия 2024 г., %	
				по 2022 году	по 2023 году
Количество рабочих мест, тыс. ед.					
Лесозаготовительная промышленность	116,0	112,4	108,9	93,9	96,9
Деревообрабатывающая промышленность	126,6	111,8	109,5	86,5	97,4
Мебельное производство	57,7	58,1	60,4	104,7	104,0
Целлюлозно-бумажная промышленность	97,2	97,4	99,7	102,6	102,4
Всего:	397,5	379,7	378,5	95,2	99,7
Среднемесячная заработная плата, руб.					
Лесоводство и лесозаготовки	47 147	50 774	61 142	129,7	120,4
Деревообрабатывающая промышленность	40 197	44 593	57 049	141,9	127,9
Мебельное производство	36 413	42 777	50 753	139,4	118,6
Целлюлозно-бумажная промышленность	64 712	73 301	86 133	133,1	117,5

Сравнительный анализ социально-экономических результатов деятельности предприятий лесного комплекса за I полугодие 2022, 2023, 2024 гг. по отраслям. Этот анализ предполагает исследование изменений количества рабочих мест и среднемесячной заработной платы. Общее количество рабочих мест на предприятиях ЛПК (кроме малых предприятий) в целом к концу I полугодия 2024 г. по отношению к аналогичному периоду 2022 г. уменьшилось на 4,8 %, к концу I полугодия 2023 г. этот показатель снизился еще на 0,3 % (табл. 5).

В ЦБП более позитивная тенденция наметилась в I полугодии 2023 г. — показатель увеличился на 102,4 %, однако в лесозаготовительной и деревообрабатывающей промышленности количество рабочих мест снизилось на 3,1 и на 2,6 % соответственно. Снижение количества рабочих мест в этих отраслях к концу I полугодия 2022 г. оказалось более существенным, на лесозаготовках — на 6,1 %, в деревообработке — на 14,5 %.

Отток трудовых ресурсов с предприятий лесозаготовительной и деревообрабатывающей промышленности при дефиците квалифицированных кадров стал результатом кризисных явлений в лесной отрасли, ухудшения их финансовой деятельности, сравнительно невысоких зарплат, снижения социальных выплат и по причине сложных природно-климатических условий работы на лесозаготовках. Все эти факторы сделали предприятия всех отраслей лесного комплекса неконкурентоспособными на российском рынке труда, а профессии — малопопулярными. Необходимо разработать

с участием государства действенные меры по повышению привлекательности труда в этой сфере, улучшению благосостояния работников предприятий лесного комплекса (рис. 6) [5–27].

Среднемесячная заработная плата работников лесного комплекса к концу I полугодия 2024 г. по отношению к такому же периоду 2022 и 2023 гг. во всех отраслях существенно увеличилась. Наиболее заметный рост оплаты труда наблюдался на предприятиях деревообрабатывающей промышленности — 141,9 %, и мебельном производстве — на 139,4 % по отношению к I кварталу 2022 г. В ЦБП оплата труда росла высокими темпами, в I полугодии 2024 г. по сравнению с I полугодием 2022 г. она увеличилась на 33,1 %, а по сравнению с I полугодием 2023 г. — на 17,5 %. Резкий рост средних заработных плат, особенно в лесозаготовительной и деревообрабатывающих отраслях, объясняется попыткой привлечения на лесопромышленные предприятия дополнительных работников вследствие нарастающего дефицита профессиональных кадров (рис. 7).

Сравнительный анализ экономических показателей за январь — июнь 2024 г. и данных I полугодия 2022 и 2023 гг. свидетельствует о значительном снижении финансовых результатов компаний лесной отрасли к отчетному периоду 2022 г. — на 36,8 % и последовавшем росте показателя в I полугодии 2024 г. по сравнению с соответствующим показателем 2023 г. — почти на 107 % (табл. 6). Резкие колебания в показателях сальдо прибылей и убытков за I полугодие 2023 и 2024 гг. возникли по причине существенного снижения общей прибыли и убыточной де-

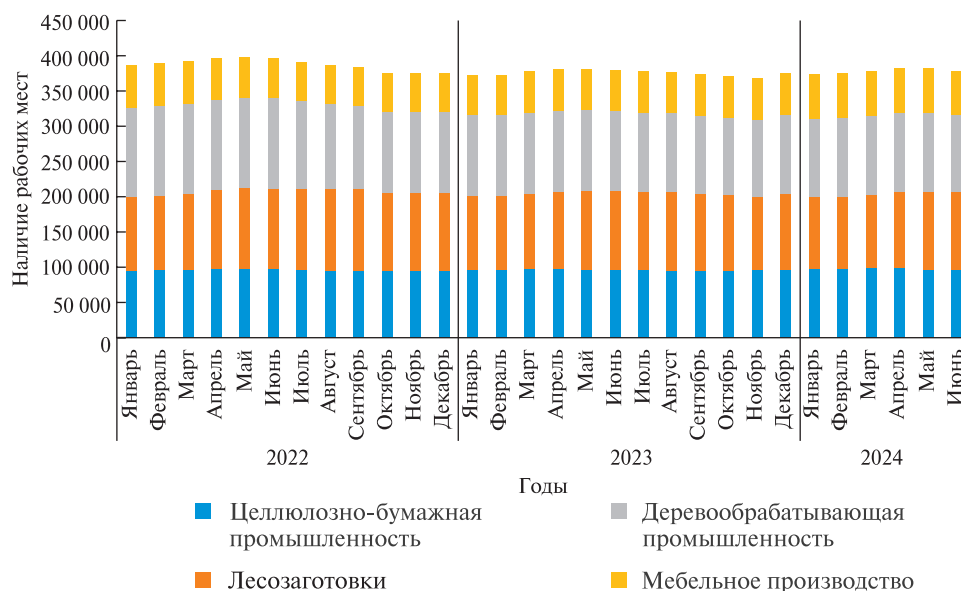


Рис. 6. Изменение количества рабочих мест по отраслям лесного комплекса за 2022, 2023 гг. и I полугодие 2024 г. в динамике, ед.

Fig. 6. Change in the number of jobs in the forestry industry in 2022, 2023 and I half of 2024 in dynamics units

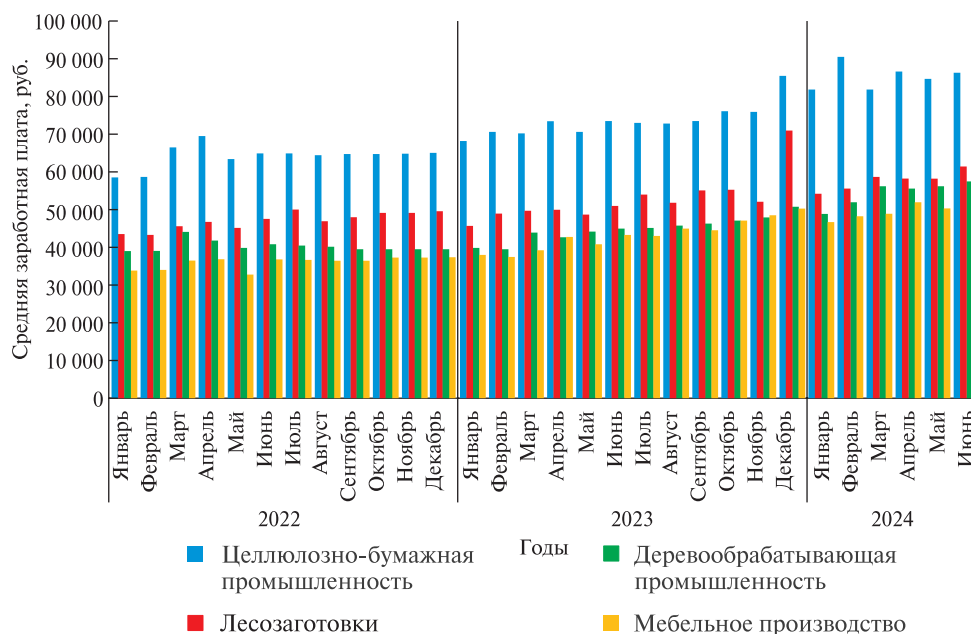


Рис. 7. Изменение средней заработной платы по отраслям лесного комплекса за 2022, 2023 гг. и I полугодие 2024 г. в динамике, руб.

Fig. 7. Change in the average salary by forestry sector in 2022, 2023 and I half of 2024, in dynamics, rubles

тельности предприятий лесозаготовительной и деревообрабатывающей промышленности, ухудшения показателя в ЦБП в 2023 г., и постепенного улучшения ситуации в 2024 г. Однако к концу I полугодия 2024 г. отрасли лесного комплекса так и не смогли достичь результатов I полугодия 2022 г.

Такая ситуация может свидетельствовать о том, что финансово-экономическое состояние лесопромышленных и предприятий ЦБП не достигло уровня I полугодия 2022 г., поэтому государству и предприятиям ЛПК предстоит сделать еще много усилий для ее улучшения [28–32].

Т а б л и ц а 6

**Сравнительные показатели финансово-экономической деятельности предприятий
лесного комплекса за I полугодие 2022, 2023 и 2024 гг.**

**Comparative indicators of financial and economic activity of forest enterprises
for the first half of 2022, 2023 and 2024**

Показатель	2022	2023	2024	Изменение относительно I полугодия 2024 г., %	
				по 2022 году	по 2023 году
Сальдо прибылей и убытков, млрд руб.					
Лесоводство и лесозаготовки	13,8	–2,7	6,1	44,2	–
Деревообрабатывающая промышленность	77,0	–10,6	15,9	20,6	–
Мебельное производство	7,1	7,3	6,1	85,9	75,3
Целлюлозно-бумажная промышленность	124,0	74,1	112,2	90,5	152,3
Всего:	221,9	67,8	140,3	63,2	206,9
Прибыль предприятий лесного комплекса, млрд руб.					
Лесоводство и лесозаготовки	16,1	2,3	8,4	52,2	365,2
Деревообрабатывающая промышленность	78,0	34,5	40,0	51,3	115,9
Мебельное производство	9,3	9,5	7,3	78,5	76,8
Целлюлозно-бумажная промышленность	122,6	86,7	116,9	95,3	134,8
Всего:	226,0	133,0	172,6	76,4	129,8
Рентабельность проданной продукции и услуг на предприятиях лесного комплекса к концу полугодия, %					
Лесоводство и лесозаготовки	18,7	10,0	7,0	–11,7 п.п.	–3,0 п.п
Деревообрабатывающая промышленность	22,1	–0,6	5,0	–17,1 п.п	5,6 п.п
Мебельное производство	9,8	2,1	7,9	–1,9 п.п	5,8 п.п
Целлюлозно-бумажная промышленность	28,9	20,2	23,1	–5,8 п.п	2,9 п.п

Вместе с тем сальдо прибылей и убытков в лесозаготовительной отрасли снизилось на 55,8 %, в деревообрабатывающей, соответственно, на 79,5 %, в целлюлозно-бумажной — на 9,5 % относительно I полугодия 2022 г. Предприятия ЦБП оказались более устойчивыми к кризисным явлениям 2022 и 2023 гг., их сальдо прибылей и убытков увеличилось в I полугодии 2024 г. на 52,5 % относительно I полугодия 2023 г.

Суммарная прибыль предприятий по лесному комплексу в целом за I полугодие 2024 г. по сравнению с I полугодием 2022 г. уменьшилась на 23,6 %, однако к I полугодию 2023 г. увеличилась уже на 29,8 %. Однако к показателям прибыли I полугодия 2022 г. суммарная прибыль во всех отраслях лесного комплекса заметно снизилась. Даже в наиболее благополучной ЦБП показатель к I полугодию 2022 г. снизился на 4,7 %, и, несмотря на рост за I полугодие 2024 г. на 34,8 % к полугодию 2023 г., отрасль еще не достигла финансового результата 2022 г. (рис. 8).

Указанные тенденции помесечного изменения прибыли характеризуют устойчивое состояние российской ЦБП, ее более крепкое положение в экономике [34–40].

Финансовую деятельность лесопромышленных предприятий характеризует и такой показатель, как рентабельность продаж продукции. Сравнительный анализ изменения рентабельности лесопромышленных предприятий за I полугодие 2022, 2023 и 2024 гг. также свидетельствует о сложном экономическом положении предприятий всех отраслей лесного комплекса (рис. 9).

Тенденции изменения рентабельности продаж продукции в лесозаготовительной, деревообрабатывающей и целлюлозно-бумажной отраслях с I квартала 2022 г. по II квартал 2024 г. в условиях ухудшения экономической ситуации в лесном комплексе показали устойчивое снижение. Самое сильное падение рентабельности в I полугодии 2024 г. произошло в деревообрабатывающей промышленности — на 17,1 процентных пункта к такому же периоду 2022 г., правда, к I полугодию 2023 г. этот показатель возрос на 5,6 процентных пункта, преодолев тенденцию дальнейшего снижения.

Вместе с тем рентабельность продаж в лесозаготовительной промышленности снижалась как к I полугодию 2022 г. — на 11,7 процентных пункта, так и к I полугодию 2023 г. — на

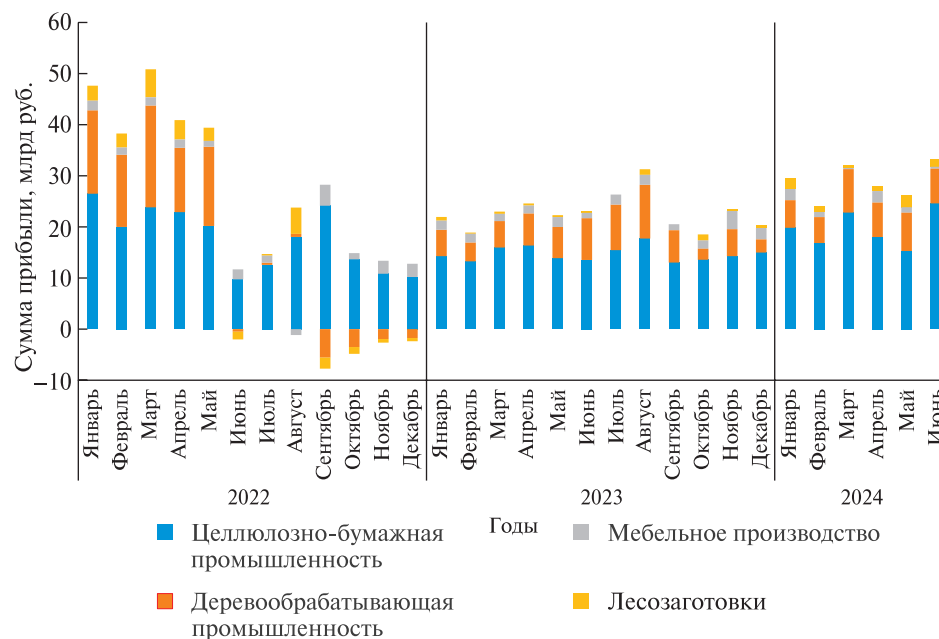


Рис. 8. Изменение суммы прибыли по отраслям лесного комплекса за 2022, 2023 гг. и I полугодие 2024 г. в динамике, млрд руб.

Fig. 8. Change in the amount of profit by forestry sector for 2022, 2023 and the first half of 2024 in dynamics, billion rubles

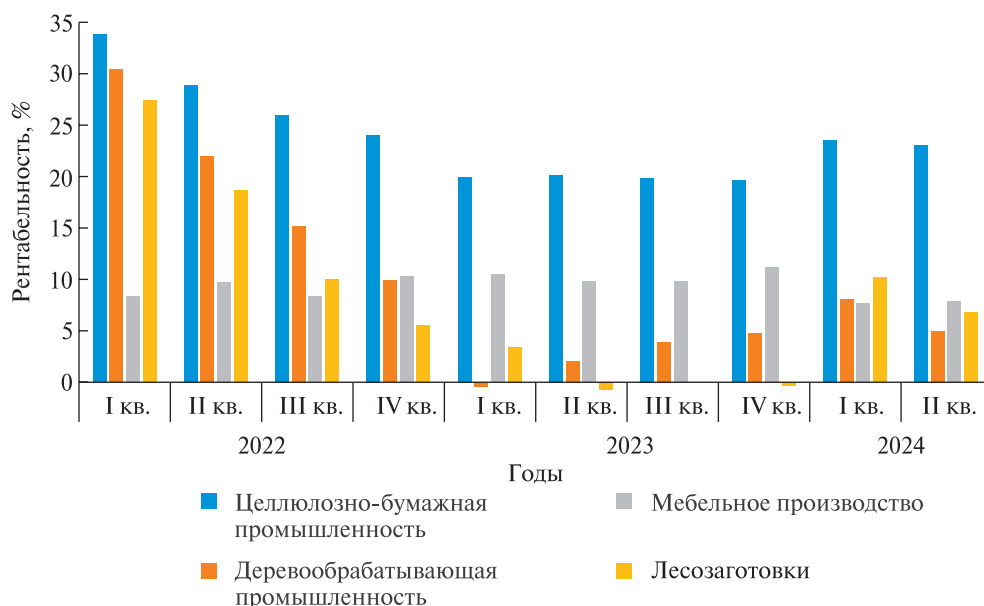


Рис. 9. Изменение рентабельности продаж на предприятиях лесного комплекса по отраслям за 2022, 2023 гг. и I полугодие 2024 г. в динамике, %

Fig. 9. Change in the profitability of sales at the enterprises of the forestry complex by industry in 2022, 2023 and I half of 2024 in dynamics, %

3 процентных пункта. В ЦБП показатель рентабельности продаж также свидетельствует о слабом восстановлении экономики предприятий отрасли, поскольку к I полугодию 2022 г. он снизился на 5,8 % и незначительно вырос к I полугодию 2023 г. — на 2,9 %.

Исследования финансовых результатов предприятий лесного комплекса за январь — июнь 2024 г. по сравнению с предшествующим периодом характеризуют в целом не совсем удовлетворительное состояние экономики во всех его отраслях. Это во многом объясняется

Т а б л и ц а 7

**Сравнительные показатели финансовых и инвестиционных вложений предприятий
лесного комплекса по отраслям за I полугодие 2022, 2023 и 2024 гг.**

**Comparative indicators of financial and investment investments of forestry enterprises by sector
for the first half of 2022, 2023 and 2024**

Показатель	2022	2023	2024	Изменение относительно I полугодия 2024 г., %	
				по 2022 году	по 2023 году
Общий объем поступивших финансовых вложений на предприятия лесного комплекса, млрд руб.					
Лесоводство и лесозаготовки	45,9	27,7	20,4	44,4	73,6
Деревообрабатывающая промышленность	366,5	361,3	565,6	154,3	156,5
Мебельное производство	77,0	83,6	64,0	83,1	76,5
Целлюлозно-бумажная промышленность	503,5	670,4	660,2	131,1	98,4
Всего:	992,9	1143,0	1310,2	132,0	114,6
Общий объем накопленных финансовых вложений на предприятия лесного комплекса, млрд руб.					
Лесоводство и лесозаготовки	30,0	41,5	35,0	116,7	84,3
Деревообрабатывающая промышленность	82,3	104,0	123,0	149,5	118,3
Мебельное производство	10,8	18,3	23,9	221,3	132,8
Целлюлозно-бумажная промышленность	120,7	154,3	269,8	223,5	174,8
Всего:	243,8	318,1	441,7	181,2	138,9
Объем прямых инвестиций в основной капитал предприятий лесного комплекса, млрд руб.					
Лесоводство и лесозаготовки	15,2	10,1	9,3	61,2	92,1
Деревообрабатывающая промышленность	33,4	14,1	17,1	51,2	121,3
Мебельное производство	3,7	3,5	4,3	116,2	122,9
Целлюлозно-бумажная промышленность	43,4	46,7	36,1	83,2	77,3
Всего:	95,7	74,4	66,8	69,8	89,8

опережающим ростом издержек целлюлозно-бумажного производства и тенденцией динамики выручки, наличия факторов, сдерживающих повышение его эффективности.

Исследование структуры себестоимости предприятий отрасли свидетельствует о том, что на ее увеличение в 2023 г. существенно повлияли: рост ставок арендной платы, иногда (в случае новых договоров аренды) в 2,5–3 раза; увеличение тарифов на перевозки железнодорожным транспортом — на 22 %, автомобильным транспортом — на 33,3 %, повышение одноставочного тарифа на услугу по передаче электроэнергии в среднем на 9 % во всех регионах страны.

Цена хвойного баланса увеличилась на 6,4 %, а лиственного баланса — на 1,2 %, это обусловлено различными доступностью и спросом на эти виды древесины. Причинами увеличения цен на балансовую древесину стало повышение себестоимости заготовки и рост спроса на нее у целлюлозно-бумажных компаний.

Помимо роста стоимости сырья, материалов, транспорта, энергоресурсов, технических

средств продолжает увеличиваться и фискальная нагрузка на экономику предприятий в виде не всегда обоснованных сборов, штрафов и вычетов в экологической, таможенно-тарифной сферах, в области антимонопольного регулирования. Так, введенные Правительством Российской Федерации в сентябре 2023 г. экспортные пошлины с привязкой к курсу рубля привели к снижению прибыльности многих производителей картона, ориентированных на экспорт. Возникла необходимость компенсировать потери, в том числе за счет повышения цен на картон при поставках на внутренний рынок.

Сравнительный анализ показателей финансовых и инвестиционных вложений предприятий лесного комплекса за I полугодие 2022, 2023 и 2024 гг. по отраслям. Общий объем поступления долгосрочных и краткосрочных финансовых вложений (инвестиции в ценные бумаги, депозитные вклады в кредитных организациях, дебиторская задолженность) на лесопромышленные предприятия различных отраслей в I полугодии 2024 г. по сравнению с I полугодием 2022 г. вырос на 32 %, а с I полугодием 2023 г. — на 14,6 %.

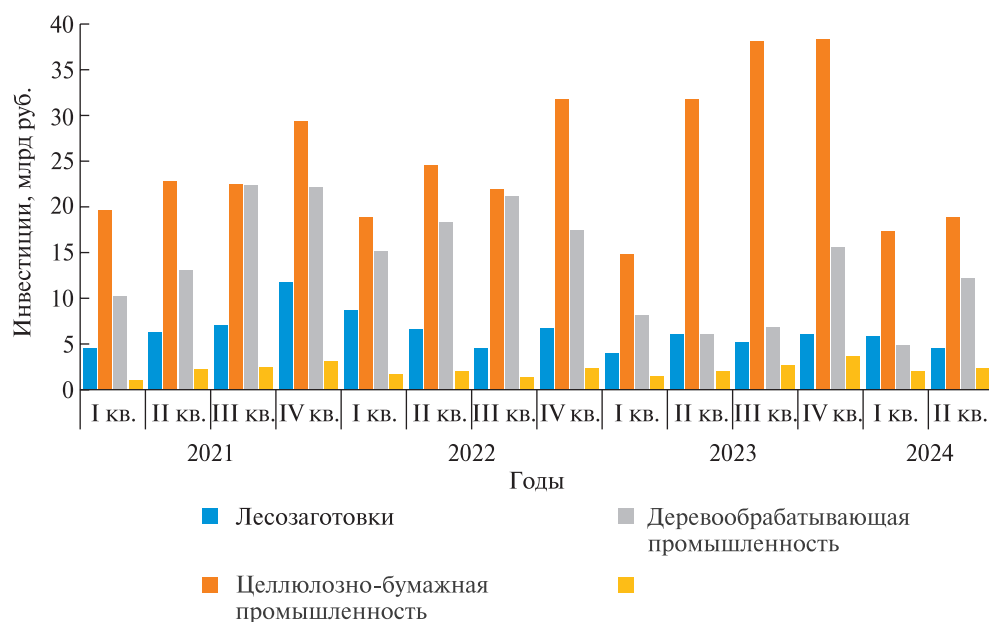


Рис. 10. Изменение объемов инвестиций в основной капитал предприятий за 2021–2023 гг. и I полугодие 2024 г. в динамике, млрд руб.

Fig. 10. Changes in the volume of investments in fixed assets of enterprises in 2021–2023 and I half of 2024 in dynamics, billion rubles

Этот суммарный рост был обеспечен в основном ростом в деревообрабатывающей промышленности — на 56,5 % относительно первого полугодия предшествующего года (табл. 7) [33].

Вместе с тем увеличение общего объема накопленных финансовых вложений на предприятиях ЛПК с учетом погашения, переоценки и прочих изменений активов к концу I квартала 2024 г. составило 138,9 % по отношению к такому же периоду 2023 г. Лидером по росту объемов накопленных финансовых вложений в I квартале текущего года опять оказалась ЦБП — они выросли за отчетный период к 2023 г. на 74,8 %, соответственно, к 2022 г. — на 123,5 %.

Общий объем инвестиций в основной капитал предприятий ЛПК, т. е. затрат на строительство, реконструкцию и модернизацию производства, приобретение машин, оборудования и транспортных средств в I полугодии 2024 г. уменьшился на 30,2 % относительно I полугодия 2022 г. и на 10,2 % относительно I полугодия 2023 г.

Наилучший результат роста прямых инвестиций за рассматриваемый период показала деревообрабатывающая промышленность — их объем возрос к I полугодию 2023 г. на 21,3 % после резкого падения в I полугодии 2022 г. на 48,8 %. В ЦБП объем инвестиций в основной капитал предприятий в I полугодии снизился к аналогичному периоду 2023 г. на 22,7 %. Однако во II полугодии 2023 г. произошел ощутимый

всплеск роста этого показателя относительно I первого полугодия 2023 г., объем инвестиций увеличился почти на 64 %. Вместе с тем в I полугодии 2024 г. объем инвестиций в основной капитал вновь стал снижаться, а к I первому полугодию 2023 г. составил 16,8 %, что все же свидетельствует о замедлении инвестиционной активности в отрасли (рис. 10) [1].

К причинам этого замедления можно отнести ограниченный доступ к техническим средствам и технологиям зарубежных производителей — традиционных поставщиков оборудования на российские целлюлозно-бумажные предприятия, отсутствие или недостаток комплектующих и запасных частей, медленное импортозамещение, высокая стоимость заемного кредитования, необходимого для реализации инвестиционных проектов [1–4, 33, 34].

Выводы

В современном состоянии кадровой политики в сфере лесной промышленности выявлены проблемы и недостатки, в частности:

- усиление несоответствия теоретической подготовки специалистов и уровня их знаний, необходимого для работы на современных наукоемких производствах;
- отсутствие мотивации школьников, поступающих на направления подготовки лесной направленности, вследствие низкого уровня оплаты труда и социальных гарантий;

– недостаточное обеспечение некоторых отраслей лесного комплекса профессиональными стандартами;

– несоответствие технической базы учебных заведений темпам модернизации предприятий;

– низкая активность использования целевого приема вследствие отсутствия нормативно-правовой базы для его организации с участием коммерческих организаций;

– несоответствие уровня знаний абитуриентов, поступающих на лесные специальности требованиям отрасли, что приводит к их значительному отчислению в ходе обучения;

– отсутствие эффективной системы независимой оценки профессиональных квалификаций кадров.

Лесопромышленные компании крайне обеспокоены сложившейся ситуацией. В связи с этим важно проводить мониторинг и анализ уровня обеспеченности лесного комплекса кадрами и вырабатывать предложения по его качественному улучшению.

Необходимо создать условия, обеспечивающие приток и закрепление молодых специалистов во всех отраслях лесного комплекса, прежде всего на базе их материального обеспечения и создания развитой социальной инфраструктуры с учетом отраслевой специфики и удаленности отдельных регионов от крупных мегаполисов. Такой подход направлен на повышение статуса специалистов лесной отрасли и уровня их жизни.

Существенное значение в формировании эффективной кадровой политики имеет развитие системы оценки профессиональных квалификаций в лесном комплексе.

Конструктивное взаимодействие работодателей и образовательных организаций может служить базой для создания новых систем профессиональной ориентации абитуриентов и выпускников, направленных на востребованность и повышение престижа лесных профессий.

Список литературы

- [1] Богатырев С.Ю. Корпоративные финансы: стоимостная оценка. М.: ИНФРА-М, 2024. 163 с.
- [2] Шибанова А.С., Меньшикова М.А. Проблемы оценки эффективности инновационных проектов // Вопросы региональной экономики, 2022. № 3 (52). С. 162–172.
- [3] Ларионов И.К., Герасина Ю.А., Ларионова И.И. Россия в многополярном мире: корпоративный механизм хозяйствования. М.: Дашков и К, 2024. 355 с.
- [4] Воронцовский А.В. Управление инвестициями: инвестиции и инвестиционные риски в реальном секторе экономики. М.: Юрайт, 2023. 391 с.
- [5] Berglof E., Foray D., Landesmann M., Lin J. Y., Campos M. N., Sanfey P., Radosevic S., Volchkova N. Transition economics meets new structural economics // J. of Economic Policy Reform, 2015, v. 18, no. 3, pp. 191–220.
- [6] Cimoli M., Porcile G. Technology, structural change and BOP-constrained growth: A structuralist toolbox // Cambridge J. of Economics, 2014, v. 38, no. 1, pp. 215–237.
- [7] De Vries G., Timmer M., De Vries K. Structural transformation in Africa: Static gains, dynamic losses // The J. of Development Studies, 2015, v. 51, no. 6, pp. 674–688.
- [8] Di Meglio G., Gallego J., Maroto A., Savona M. Services in developing economies: A new chance for catching-up? // SPRU Working Paper Series, 2015, no. 2015–32, pp. 1–33.
- [9] Felipe J., Mehta A. Deindustrialization? A global perspective // Economics Letters, 2016, v. 149, pp. 148–151.
- [10] Gouvea R., Lima G. Balance of payments constrained growth in a multisectoral framework: A panel data investigation // J. of Economic Studies, 2013, v. 40, no. 2, pp. 240–254.
- [11] Haraguchi N., Cheng C.F.C., Smeets E. The importance of manufacturing in economic development: Has this changed? // World Development, 2017, v. 93, pp. 293–315.
- [12] Herrendorf B., Rogerson R., Valentinyi A. Growth and structural transformation. Handbook of economic growth, vol. 2 / Eds. P. Aghion, S. Durlauf Amsterdam and New York: North Holland, 2014, pp. 855–941.
- [13] Marconi N., De Borja Reis C.F., de Araújo E.C. Manufacturing and economic development: The actuality of Kaldor's first and second laws // Structural Change and Economic Dynamics, 2016, v. 37, pp. 75–89.
- [14] McMillan M., Rodrik D., Sepulveda C. Structural change, fundamentals and growth: A framework and case studies // NBER Working Paper, 2017, no. 23378. URL: <http://www.nber.org/papers/w23378> (дата обращения 18.09.2024).
- [15] Oreiro J. Inconsistency and over determination in balance of payments constrained growth models: A note // Review of Keynesian Economics, 2016, v. 4, no. 2, pp. 193–200.
- [16] Romano L., Trau F. The nature of industrial development and the speed of structural change // Structural Change and Economic Dynamics, 2017, v. 42, pp. 26–37.
- [17] Romero J., McCombie J. The multi-sectoral Thirlwall's law: Evidence from 14 developed European countries using product level data // International Review of Applied Economics, 2016, v. 30, no. 3, pp. 301–332.
- [18] Timmer M.P., de Vries G.J., de Vries K. Patterns of structural change in developing countries. Routledge handbook of industry and development / Eds. J. Weiss, M. Tribe. UK and New York: Routledge, 2015, pp. 65–83.
- [19] Vorona A.A., Panishko E.P., Osipova A.I. Trends and prospects of forestry and timber export in the Russian Federation: regional aspect // The Eurasian Scientific Journal, 2021, no. 2(13). URL: <https://esj.today/PDF/45ECVN221.pdf> (дата обращения 18.09.2024).
- [20] Голованова Е.Н., Лочан С.А., Хавин Д.В. Инвестиции в человеческий капитал предприятия / под ред. А.М. Асалиева. М.: ИНФРА-М, 2024. 88 с.
- [21] Тютюкина Е.Б., Седаш Т.Н., Егорова Т.А. Развитие финансово-экономических механизмов привлечения инвестиций в природоохранные объекты. М.: Дашков и К, 2024. 161 с.

- [22] Ларионов И.К., Герасина Ю.А., Ларионова И.И., Брагин Н.И., Герасин А.Н., Герасина О.Н., Гришина Т.В., Дашков Л.П., Новичков А.В., Овчинников В.В., Вернимонт Д.Л., Волкова Н.М., Гуреева М.А., Иванов В.Т., Кулешов С.М., Свистун С.П., Симонин П.В., Фурсова С.Д., Хончев М.А., Шкляр В.В., Байков А.И., Генералов Д.А., Ехлакова А.С., Новичкова М.А., Терещенко А.В., Трихина И.А., Шелкова Н.В. Россия в многополярном мире: корпоративный механизм хозяйствования / под ред. И.К. Ларионова, Ю.А. Герасиной, И.И. Ларионовой. М.: Дашков и К, 2024. 355 с.
- [23] Казакова Н.А., Иванова А.Н. Бизнес-анализ и управление рисками. М.: ИНФРА-М, 2024. 335 с.
- [24] Буров М.П. Государственное регулирование национальной экономики: современные парадигмы и механизмы развития российских регионов. М.: Дашков и К, 2024. 481 с.
- [25] Мураев И.Г., Сметанин А.В., Сушко О.П. Компаративный анализ деятельности лесного комплекса лесобеспеченных стран // Креативная экономика, 2023. Т. 17. № 9. С. 3357–3378.
- [26] Lin Ying-Ching, Chang Chiu-chi A. Double Standart: The Role of environmental consciousness in green product usage // J. of Marketing, 2012, no. 76(5), pp. 125–134. DOI: 10.2307/41714513
- [27] Hopkins M., Roche C. What the «Green» consumer wants // MIT Sloan management review, 2009, no. 4, pp. 87–89.
- [28] Bloom Paul N., Gundlach Gregory T. Handbook of marketing and society. Thousand Oaks: Sage, 2001, 543 p.
- [29] Bhattacharya C.B. Sen S., Korschun D. Using corporate social responsibility to win the war for talent // MIT Sloan management review, 2008, no. 49(2), pp. 37–44.
- [30] Grier S., Forehand M.R. When is honesty the best policy? The effect of stated company intent on consumer skepticism // J. of Consumer Psychology, 2002, no. 13(3), pp. 338–345. DOI:10.1207/S15327663JCP1303_15
- [31] Robinson S.R. Irmak C., Jayachandran S. Choice of cause in cause-related marketing // J. of Marketing, 2012, no. 76(4), pp. 126–139. DOI:10.2307/41714503
- [32] Котлер Ф., Келлер К. Маркетинг менеджмент. Экспресс-курс. СПб.: Питер, 2019. 448 с.
- [33] Пинягина Н.Б., Горшенина Н.С. Современное состояние, тенденции и перспективы развития целлюлозно-бумажной промышленности Российской Федерации // Лесной вестник / Forestry Bulletin, 2022. Т. 26. № 6. С. 148–160.
- [34] Горшенина Н.С., Пинягина Н.Б., Назаренко Е.Б. Исследование влияния новых экономических условий на социально-экономические результаты деятельности предприятий лесного комплекса за 2022 год и пути преодоления кризиса // Экономика и предпринимательство, 2023. № 1. С. 660–666.
- [35] Adamson B., Dixon M., Toman N. Dismantling the sales machine // J. Harvard Business Review, 2013, v. 91, no. 11, p. 102.
- [36] Adamson B., Dixon M., Toman N. The end of solution sales // J. Harvard Business Review, 2012, v. 90, no. 7–8, pp. 60–68.
- [37] Sabnis G., Chatterjee S.C., Grewal R., Lilien G.L. The sales lead black hole: on sales rep's follow-up of marketing leads // Journal of Marketing, 2013, v. 77, no. 1, pp. 52–67. DOI:10.1509/jm.10.0047
- [38] Homburg C., Jensen O., Hahn A. How to organize pricing? Vertical delegation and horizontal dispersion of pricing authority // J. of Marketing, 2012, v. 76, no. 9, pp. 49–69. doi:10.1509/jm.11.0251
- [39] Lambrecht A., Tucker C. Paying with money or effort: pricing when customers anticipate hassle // J. of Marketing Research, 2012, v. 49, no. 2, pp. 66–82.
- [40] Saini R., Singh Rao R., Monga A. Is That Deal Worth My Time? The Interactive Effect of Relative and Referent Thinking on Willingness to Seek a Bargain // J. of Marketing, 2010, v. 74, no. 1, pp. 34–48. DOI:10.1509/jmkg.74.1.34

Сведения об авторах

Пинягина Наталья Борисовна — д-р экон. наук, профессор, МГТУ им. Н.Э. Баумана (Мытищинский филиал), nbp50@yandex.ru

Горшенина Наталья Станиславовна — канд. экон. наук, доцент, МГТУ им. Н.Э. Баумана (Мытищинский филиал), gorshenina2303@icloud.com

Поступила в редакцию 17.10.2024.

Одобрено после рецензирования 27.02.2025.

Принята к публикации 25.03.2025.

CHANGES IN PRODUCTION AND ECONOMIC INDICATORS OF FORESTRY SECTOR AS RUSSIA'S ECONOMY ADAPTS TO CURRENT SITUATION

N.B. Pinyagina, N.S. Gorshenina✉

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

gorshenina2303@icloud.com

The results of comparative analysis of the state of production of the main areas of the forestry sector of the economy are presented and their assessment is given. The substantiation of trends in financial performance is given. The reasons for the decrease in investment attractiveness and competitiveness of certain types of products manufactured by forestry enterprises are revealed. Proposals for the formation of personnel policy and training of professional specialists in accordance with industry specifics are developed.

Keywords: timber companies, analytical review, comparative analysis, financial and economic activities, direct investments, personnel policy

Suggested citation: Pinyagina N.B., Gorshenina N.S. *Izmeneniye proizvodstvenno-ekonomicheskikh pokazateley otrasley lesnogo kompleksa v usloviyakh adaptatsii ekonomiki Rossii k sovremennoy situatsii* [Changes in production and economic indicators of forestry sector as Russia's economy adapts to current situation]. *Lesnoy vestnik / Forestry Bulletin*, 2025, vol. 29, no. 3, pp. 111–126.

DOI: 10.18698/2542-1468-2025-3-111-126

References

- [1] Bogatyrev S.Yu. *Korporativnye finansy: stoimostnaya otsenka* [Corporate finance: cost estimation]. Moscow: INFRA-M, 2024, 163 p.
- [2] Shibanova A.S., Menshikova M.A. *Problemy otsenki effektivnosti innovatsionnykh projektov* [Problems of evaluating the effectiveness of innovative projects]. *Voprosy regional'noy ekonomiki* [Regional economic issues], 2022, no. 3(52), pp. 162–172.
- [3] Larionov I.K., Gerasina Yu.A., Larionova I.I. *Rossiya v mnogopolyarnom mire: korporativnyy mekhanizm khozyaystvovaniya* [Russia in a multipolar world: a corporate management mechanism]. Moscow: Dashkov and Co., 2024, 355 p.
- [4] Vorontsovskiy A.V. *Upravlenie investitsiyami: investitsii i investitsionnye riski v real'nom sektore ekonomiki* [Investment management: investments and investment risks in the real economy]. Moscow: Yurayt, 2023, 391 p.
- [5] Berglof E., Foray D., Landesmann M., Lin J.Y., Campos M.N., Sanfey P., Radošević S., Volchkova N. Transition economics meets new structural economics. *J. of Economic Policy Reform*, 2015, v. 18, no. 3, pp. 191–220.
- [6] Cimoli M., Porcile G. Technology, structural change and BOP-constrained growth: A structuralist toolbox. *Cambridge J. of Economics*, 2014, v. 38, no. 1, pp. 215–237.
- [7] De Vries G., Timmer M., De Vries K. Structural transformation in Africa: Static gains, dynamic losses. *The J. of Development Studies*, 2015, v. 51, no. 6, pp. 674–688.
- [8] Di Meglio G., Gallego J., Maroto A., Savona M. Services in developing economies: A new chance for catching-up?. *SPRU Working Paper Series*, 2015, no. 2015–32, pp. 1–33.
- [9] Felipe J., Mehta A. Deindustrialization? A global perspective. *Economics Letters*, 2016, v. 149, pp. 148–151.
- [10] Gouvea R., Lima G. Balance of payments constrained growth in a multisectoral framework: A panel data investigation. *J. of Economic Studies*, 2013, v. 40, no. 2, pp. 240–254.
- [11] Haraguchi N., Cheng C.F.C., Smeets E. The importance of manufacturing in economic development: Has this changed? *World Development*, 2017, v. 93, pp. 293–315.
- [12] Herrendorf B., Rogerson R., Valentinyi A. Growth and structural transformation. *Handbook of economic growth*, v. 2 / Eds. P. Aghion, S. Durlauf. Amsterdam and New York: North Holland, 2014, pp. 855–941.
- [13] Marconi N., de Borja Reis C.F., de Araújo E.C. Manufacturing and economic development: The actuality of Kaldor's first and second laws. *Structural Change and Economic Dynamics*, 2016, v. 37, pp. 75–89.
- [14] McMillan M., Rodrik D., Sepulveda C. Structural change, fundamentals and growth: A framework and case studies. *NBER Working Paper*, 2017, no. 23378. Available at: <http://www.nber.org/papers/w23378> (accessed 18.09.2024).
- [15] Oreiro J. Inconsistency and over determination in balance of payments constrained growth models: A note. *Review of Keynesian Economics*, 2016, v. 4, no. 2, pp. 193–200.
- [16] Romano L., Trau F. The nature of industrial development and the speed of structural change. *Structural Change and Economic Dynamics*, 2017, v. 42, pp. 26–37.
- [17] Romero J., McCombie J. The multi-sectoral Thirlwall's law: Evidence from 14 developed European countries using product level data. *International Review of Applied Economics*, 2016, v. 30, no. 3, pp. 301–332.
- [18] Timmer M.P., de Vries G.J., de Vries K. Patterns of structural change in developing countries. *Routledge handbook of industry and development* / Eds. J. Weiss, M. Tribe. UK and New York: Routledge, 2015, pp. 65–83.
- [19] Vorona A.A., Panishko E.P., Osipova A.I. Trends and prospects of forestry and timber export in the Russian Federation: regional aspect. *The Eurasian Scientific Journal*, 2021, no. 2(13). Available at: <https://esj.today/PDF/45ECVN221.pdf> (accessed 18.09.2024).

- [20] Golovanova E.N., Lochan S.A., Khavin D.V. *Investitsii v chelovecheskiy kapital predpriyatiya* [Investments in human capital of the company]. Ed. A.M. Asaliev. Moscow: INFRA-M, 2024, 88 p.
- [21] Tyutyukina E.B., Sedash T.N., Egorova T.A. *Razvitie finansovo-ekonomicheskikh mekhanizmov privilecheniya investitsiy v prirodookhrannyye obekty* [Development of financial and economic mechanisms for attracting investments in environmental objects]. Moscow: Dashkov and Co., 2024, 161 p.
- [22] Larionov I.K., Gerasina Yu.A., Larionova I.I., Bragin N.I., Gerasin A.N., Gerasina O.N., Grishina T.V., Dashkov L.P., Novichkov A.V., Ovchinnikov V.V., Vernimont D.L., Volkova N.M., Gureeva M.A., Ivanov V.T., Kuleshov S.M., Svis-tun S.P., Simonin P.V., Fursova S.D., Khonchev M.A., Shklyar V.V., Baykov A.I., Generalov D.A., Ekhlakova A.S., Novichkova M.A., Tereshchenko A.V., Trikhina I.A., Shelkova N.V. *Rossiia v mnogopolyarnom mire: korporativnyy mekhanizm khozyaystvovaniya* [Russia in a multipolar world: a corporate management mechanism]. Ed. I.K. Larionova, Yu.A. Gerasinoy, I.I. Larionovoy. Moscow: Dashkov and Co., 2024, 355 p.
- [23] Kazakova N.A., Ivanova A.N. *Biznes-analiz i upravlenie riskami* [Business analysis and risk management]. Moscow: INFRA-M, 2024, 335 p.
- [24] Burov M.P. *Gosudarstvennoe regulirovanie natsional'noy ekonomiki: sovremennyye paradigmy i mekhanizmy razvitiya rossiyskikh regionov* [State regulation of the national economy: modern paradigms and mechanisms of development of Russian regions]. Moscow: Dashkov and Co., 2024, 481 p.
- [25] Muraev I.G., Smetanin A.V., Sushko O.P. *Komparativnyy analiz deyatel'nosti lesnogo kompleksa lesobespechennykh stran* [Comparative analysis of forest complex activities in forest-rich countries]. *Kreativnaya ekonomika* [Creative Economy], 2023, v. 17, no. 9, pp. 3357–3378.
- [26] Lin Ying-Ching, Chang Chiu-chi A. Double Standart: The Role of environmental consciousness in green product usage. *J. of Marketing*, 2012, no. 76(5), pp. 125–134. DOI: 10.2307/41714513
- [27] Hopkins M. What the «Green» consumer wants. *MIT Sloan management review*, 2009, no. 4, pp. 87–89.
- [28] Bloom Paul N., Gundlach Gregory T. *Handbook of marketing and society*. Thousand Oaks: Sage, 2001, 543 p.
- [29] Bhattacharya C.B., Sen S., Korschun D. Using corporate social responsibility to win the war for talent. *MIT Sloan management review*, 2008, no. 49(2), pp. 37–44.
- [30] Forehand Mark R., Grier S. When is honesty the best policy? The effect of stated company intent on consumer skepticism. *J. of Consumer Psychology*, 2002, no. 13(3), pp. 338–345. DOI:10.1207/S15327663JCP1303_15
- [31] Robinson S.R., Irmak C., Jayachandran S. Choice of cause in cause-related marketing. *J. of Marketing*, 2012, no. 76(4), pp. 126–139. DOI:10.2307/41714503
- [32] Kotler F., Keller K. *Marketing menedzhment. Ekspress-kurs* [Marketing management. Express course]. St. Petersburg: Piter, 2019, 448 p.
- [33] Pinyagina N.B., Gorshenina N.S. *Sovremennoe sostoyanie, tendentsii i perspektivy razvitiya tsellyulozno-bumazhnoy promyshlennosti Rossiyskoy Federatsii* [Current state, trends and prospects for pulp and paper industry development in Russian Federation]. *Lesnoy vestnik / Forestry Bulletin*, 2022, vol. 26, no. 6, pp. 148–160
- [34] Gorshenina N.S., Pinyagina N.B., Nazarenko E.B. *Issledovanie vliyaniya novykh ekonomicheskikh usloviy na sotsial'no-ekonomicheskie rezul'taty deyatel'nosti predpriyatiy lesnogo kompleksa za 2022 god i puti preodoleniya krizisa* [Studying the impact of the new economic environment on the socio-economic results of the forest complex enterprises activities in 2022 and ways to overcome the crisis]. *Ekonomika i predprinimatel'stvo* [Economics and entrepreneurship], 2023, no. 1, pp. 660–666.
- [35] Adamson B., Dixon M., Toman N. Dismantling the sales machine. *J. Harvard Business Review*, 2013, v. 91, no. 11, p. 102.
- [36] Adamson B., Dixon M., Toman N. The end of solution sales. *J. Harvard Business Review*, 2012, no. 7–8, pp. 60–68.
- [37] Sabnis G., Chatterjee C. S., Grewal R., Lilien L. G. The sales lead black hole: on sales rep's follow-up of marketing leads. *Journal of Marketing*, 2013, v. 77, no. 1, pp. 52–67. <http://dx.doi.org/10.2307/41714529>
- [38] Homburg C., Jensen O., Hahn A. How to organize pricing? Vertical delegation and horizontal dispersion of pricing authority. *Journal of Marketing*, 2012, v. 76, no. 9, pp. 49–69. DOI:10.1509/jm.11.0251
- [39] Lambrecht A., Tucker C. Paying with money or effort: pricing when customers anticipate hassle. *Journal of Marketing Research*, 2012, v. 49, no. 2, pp. 66–82.
- [40] Saini R., Singh Rao R., Monga A. Is the deal worth my time? The interactive effect of relative and referent thinking on willingness to seek a bargain. *J. of Marketing*, 2010, v. 74, no. 1, pp. 34–48. DOI:10.1509/jmkg.74.1.34

Authors' information

Pinyagina Natal'ya Borisovna — Dr. Sci. (Economy), Professor of the BMSTU (Mytishchi branch), nbp50@yandex.ru

Gorshenina Natal'ya Stanislavovna — Cand. Sci. (Economy), Associate Professor of the BMSTU (Mytishchi branch), gorshenina2303@icloud.com

Received 17.10.2024.

Approved after review 27.02.2025.

Accepted for publication 25.03.2025.

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

ГРУППЫ ДЕКОРАТИВНЫХ ТРАВЯНИСТЫХ РАСТЕНИЙ МНОГОЛЕТНЕЙ КУЛЬТУРЫ ПО ДИНАМИКЕ ГАБИТУСА

О.П. Лаврова

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

olg.lavrv2010@yandex.ru

Предложено деление декоративных травянистых растений многолетней культуры на следующие группы по динамике габитуса с учетом их феноритмотипов: структурные; нестабильно-декоративные (весеннего, весенне-осеннего, летнего, летне-осеннего, осеннего типа роста); стабильно-декоративные. Представлен обзор коллекции многолетних декоративных травянистых растений с распределением их по группам динамики габитуса. Приведены примеры растений для каждой группы с распределением по феноритмотипам. Рассмотрены рекомендации по содержанию растений разных групп в цветочных композициях. Предложены подходы к подбору ассортимента растений при разработке проектов цветочного оформления с учетом динамики их габитуса.

Ключевые слова: фенология, феноритмотипы, габитус, сезонная динамика габитуса, группы декоративных травянистых растений по типу динамики габитуса

Ссылка для цитирования: Лаврова О.П. Группы декоративных травянистых растений многолетней культуры по динамике габитуса // Лесной вестник / Forestry Bulletin, 2025. Т. 29. № 3. С. 127–138. DOI: 10.18698/2542-1468-2025-3-127-138

При разработке проектов цветочного оформления отмечается недостаток данных о сезонных особенностях развития декоративных травянистых растений многолетней культуры и динамике их габитуса в течение периода вегетации. В то же время от этих качеств во многом зависит сохранение декоративности как отдельных многолетних растений, так и всей композиции в целом.

Габитус — это внешний облик растения, определяемый совокупностью морфологических признаков. Его рассматривают как синоним понятия жизненной формы, под которой понимают «своеобразный общий облик» определенной группы растений (включая их надземные и подземные органы), возникающий в результате роста и развития в определенных условиях среды [1]. В основе понятия габитуса лежат признаки вегетативных органов растения, такие как высота, диаметр надземной части, морфология побегов, распределение листьев, цветков или соцветий в пространстве. Габитус у разных видов может сохраняться стабильным в течение всего периода вегетации или заметно изменяться по мере прохождения растением различных фенологических фаз.

С динамикой габитуса можно связать понятие «феноритмотип», под которым понимают

группу растений со сходными длительностью и сроками начала и конца вегетации, а также с одинаковым направлением смен основных фенологических состояний — вегетации и покоя. Феноритмотип определяется сроками жизни надземной части растений [2–4]. Различные феноритмотипы выявлялись при изучении особенностей фенологического развития травянистых растений растительных сообществ различных географических районов [3, 5–12].

В настоящее время выделяют несколько феноритмотипов:

А. Виды, вегетирующие неполный вегетационный период.

А-1. Ранневесенние эфемероиды. Характеризуются самым ранним и очень коротким периодом вегетации, которая начинается с момента освобождения из-под снега и длится 1,5...2 мес. После отмирания надземных частей они впадают в состояние длительного летне-осенне-зимнего покоя (9...10 мес.) Это виды родов *Scilla*, *Corydalis*, *Anemone* [9].

А-2. Весенне-раннелетнезеленые гемизфемероиды. Вегетацию начинают несколько позже, чем эфемероиды (начало — середина апреля). Общая ее продолжительность 3...3,5 мес., до июля — августа. Интенсивный рост ранней весной продолжается 20...30 сут. Цветение — в конце весны. В июле отмечается пожелтение листьев. Вегетацию заканчивают до середины

августа. Имеют фазу летнего и раннеосеннего покоя. К этой группе относят виды родов *Adoxa*, *Allium*, *Arum*, *Hylomecon* и т. д. [9].

А-3. Зимне-зеленые виды с летним покоем. Ритм развития соответствует эфемероидам, но листья новой генерации отрастают с конца августа-сентября и функционируют до весны — начала лета следующего года (виды рода *Muscari*).

Б. Виды, вегетирующие полный вегетационный период.

Б-3. Весенне-летнезеленые виды. Вегетируют с весны до начала осени, 5...6 мес. Период покоя составляет 5...6 мес. (ноябрь — март). Отрастают в разные сроки (начало апреля — май), но заканчивают вегетацию обычно с наступлением первых заморозков, в сентябре — октябре. Это виды с естественно ограниченным сроком вегетации. Почти все цветут весной или в начале лета, период цветения непродолжительный. Примеры: виды рода *Paeonia*, *Polygonatum*, *Actaea* [9]. У некоторых видов весенние генеративные побеги к началу лета отмирают и сменяются на летние и осенние. Пример: вид *Pulmonaria obscura*.

Б-4. Весенне-летне-осеннезеленые виды. Вегетируют с весны до установления снежного покрова, осенью уходят под снег зелеными, листья отмирают в течение зимы. Весеннее отрастание позднее, развитие в начале вегетации медленное, до цветения в среднем проходит 56 сут. Цветение — с конца июня до середины июля. У некоторых видов в течение вегетации также сменяется несколько генераций листьев и видов побегов. После плодоношения генеративные побеги отмирают, а розеточные побеги позднелетней генерации продолжают вегетацию. У безрозеточных видов генеративные побеги длительно вегетируют [3, 9]. Пример: виды *Achillea millefolium*, *Erigeron speciosus*.

Б-5. Летне-зимне-зеленые виды, сохраняющие способность к вегетации в течение всего года. Это биологически вечнозеленые растения. Новые листья и побеги образуются весной, вегетируют летом, зимуют и доживают до середины следующего вегетационного периода. Общая продолжительность их жизни составляет до 14 мес. Вегетация продолжается от снега до снега. Пример: вид *Asarum europaeum* [9].

В разных растительных сообществах в различных природно-климатических зонах могут преобладать различные феноритмотипы [3, 6, 7, 9, 10].

Для многолетних травянистых растений внутри каждого феноритмотипа выделяются различные ритмологические группы (ритмотипы).

По срокам весеннего отрастания выделяют следующие ритмотипы:

— *ранние* — сроки весеннего отрастания совпадают со сроками схода снежного покрова и соответственно им изменяются по годам, например, виды родов *Corydalis*, *Galanthus*, *Anemone* [3, 9];

— *средние* — отрастают несколько позднее, сумма положительных температур к началу роста составляет от 60 до 100°, например, виды родов *Actaea*, *Epimedium*, *Campanula* [9];

— *поздние* — отрастание начинается в конце первой декады мая, сумма положительных температур для отрастания составляет 120...240°, например, лесные папоротники [9].

По срокам начала цветения среди дикорастущих многолетних травянистых растений выделяют следующие ритмотипы [3, 9, 13]:

— *ранневесенние* — зацветают почти сразу после схода снега, разница в сроках зацветания по годам достигает 30 сут.;

— *поздневесенние* — зацветают во второй декаде мая;

— *раннелетние* — зацветают в июне, разница в сроках зацветания этих двух групп достигает также почти 30 сут., продолжительность цветения 11...17 сут.);

— *позднелетние* — зацветают в июле — августе, цветение приходится на период с повышенными значениями температуры воздуха и часто при недостатке влаги, сроки зацветания по годам варьируют незначительно.

Для культивируемых травянистых многолетних можно выделить дополнительную группу:

— *осенние* — зацветают в сентябре — начале октября при пониженных положительных значениях температуры, цветут до установления снежного покрова, сроки зацветания зависят от температуры в период заложения генеративных органов, т. к. при высокой температуре у холодостойких растений формирование генеративных органов затормаживается.

Важным показателем является период от весеннего отрастания до цветения [14]. Эфемероиды переходят к цветению через 2...5 сут. после отрастания. Некоторые виды с длительной вегетацией имеют очень короткий префлоральный период — до 10 сут. Максимальная его продолжительность может достигать 100 сут. [3].

Определить феноритмотип растения можно, построив феноспектр его развития на основе изучения сезонных изменений [15]. Фенология вегетативных надземных побегов включает в себя следующие фазы: начало весеннего отрастания, развертывание листьев, окончание роста побегов, начало отмирания листьев, полное отмирание листьев. Фенология генера-

тивных побегов включает в себя такие фазы, как появление бутонов, начало цветения, конец цветения, завязывание плодов, созревание (и осыпание) плодов [2].

Большое значение для определения типа динамики габитуса имеет выявление типов побегов травянистых растений по направлению роста и модели побегообразования. Г.И. Тавлинова [16] среди декоративных травянистых растений по габитусу и характеру роста выделяет следующие растения: с прямостоячими побегами; образующие сначала розетку листьев, из которой впоследствии развивается голый или слабо облиственный цветонос; подушковидные; плетистые с вьющимися стеблями.

По направлению роста побегов выделяют побеги ортотропные, плагиотропные, приподнимающиеся (в процессе роста изменяют направление с плагиотропного на ортотропное). В зависимости от длины междоузлий у травянистых растений выделяют побеги: розеточные — междоузлия укороченные, листья сближены и формируют розетку; полурозеточные — в основании междоузлия укороченные, листья сближены и образуют розетку, а выше формируется побег с удлиненными междоузлиями; удлиненные — вегетативно-генеративные безрозеточные побеги с удлиненными междоузлиями [3, 17].

У травянистых многолетних растений выделяют следующие модели побегообразования: 1) полурозеточная симподиальная; 2) — длиннопобеговая симподиальная; 3) розеточная моноподиальная; 4) длиннопобеговая моноподиальная плагиотропная [18–20].

Выделение групп по динамике габитуса среди декоративных травянистых многолетних растений не проводилось. На популярных сайтах по садоводству предлагается подразделять растения по продолжительности периода декоративности таким образом: декоративно стабильные; декоративно ограниченно стабильные; декоративно нестабильные. По другой классификации предлагается различать стабильно-декоративные и лабильно-декоративные многолетние растения. К первым относят декоративнолиственные, ко вторым — красивоцветущие растения. Высота вегетативных и генеративных побегов растений в этих классификациях не учитывается.

Цель работы

Цель работы — классифицировать декоративные травянистые растения многолетней культуры на группы по динамике габитуса и сохранению декоративности в ландшафтных композициях в течение периода вегетации.

Объекты и методы исследования

Объект исследования — собственная коллекция многолетних декоративных травянистых растений и растения, произрастающие в цветниках на объектах ландшафтной архитектуры в условиях Нижегородской области.

На протяжении 5 лет за растениями велись фенологические наблюдения; фиксировались даты начала отрастания и отмирания вегетативных и генеративных побегов, сохранение вегетирующих органов в период после первых осенних заморозков до установления устойчивого снежного покрова. Также измерялась высота вегетативных и генеративных органов на каждом этапе вегетации, отмечалось изменение габитуса при прохождении фенологических фаз развития, а также определена принадлежность декоративных травянистых растений к тому или иному феноритмотипу.

Результаты и обсуждение

На основе наблюдений за развитием многолетних декоративных травянистых растений (включая полукустарники) и анализа литературных источников [3, 9, 13, 15, 21–31] предлагается их подразделение на группы по типу динамики габитуса с вариантами феноритмотипов для растений разных групп (таблица).

В соответствии с предложенной классификацией проведен обзор коллекции декоративных травянистых растений многолетней культуры с распределением их по выделенным группам. Названия растений даны по следующим работам [32–35].

1. Структурные (или архитектурные) растения. Достаточно быстро отрастают и достигают конечной высоты, которая не изменяется до конца периода вегетации. Большинство растений имеют полурозеточный побег. В основании побега междоузлия укороченные. Прикорневые листья на длинных черешках образуют розетку или «куст» высотой от 50 см и более. Высота удлиненного генеративного побега незначительно превышает высоту прикорневых листьев, что практически не влияет на динамику габитуса. В цветочных композициях эти растения выполняют роль постоянного акцента, сохраняя структуру композиции в течение всего периода вегетации.

Группа включает в себя виды растений, относящиеся к феноритмотипам Б-3, Б-4, В-5.

Б-3. Весенне-летнезеленые или летневегетирующие: виды рода Астильба *Astilbe*, бузульник зубчатый *Ligularia dentata* (A. Gray) Нага; б. гибридный *L. hybride*: волжанка

Группы декоративных травянистых растений многолетней культуры по динамике габитуса с примерами феноритмотипов

Groups of perennial ornamental herbaceous plants on habitus dynamics with examples of phenorhythmotypes

Группа по динамике габитуса	Феноритмотипы					
	A-1	A-2	A-3	Б-3	Б-4	В-5
Структурные (архитектурные)	—	—	—	+	+	+
Структурные с высокими генеративными побегами	—	—	—	+	+	—
Нестабильно-декоративные весеннего типа роста	+	+	—	+	—	—
Нестабильно-декоративные весенне-осеннего типа роста	—	—	+	—	—	—
Нестабильно-декоративные летнего типа роста	—	—	—	+	+	—
Нестабильно декоративные летне-осеннего типа роста	—	—	—	+	—	—
Нестабильно-декоративные осеннего типа роста	—	—	—	—	+	—
Стабильно-декоративные	—	—	—	+	+	+

Примечание. А-1 — ранневесенние (весенне-зеленые) эфемероиды; А-2 — весенне-раннелетнезеленые гемизфемероиды; А-3 — зимне-зеленые с летним покоем; Б-3 — весенне-летнезеленые; Б-4 — весенне-летне-осеннезеленые; В-5 — летне-зимне-зеленые.

двудомная *Aruncus dioicus* Fem.; дармера щитовидная *Darmera peltata*; ирис айровидный *Iris pseudocorus*; и. бородатый *I. barbata* Hort (высокорослый и среднерослый); и. злаковидный *Iris graminea* L.; и. сибирский *I. sibirica*; клематис цельнолистный *Clematis integrifolia* L.; виды рода Лилейник *Heemerocallis*, сорта средне- и высокорослые; виды рода Пион *Paeonia*, подofil *Podophyllum*, роджерсия *Rodgersia*; спаржа аптечная *Asparagus officinalis* L., виды и сорта рода Хоста *Hosta* высотой более 40 см; страусник обыкновенный *Matteuccia struthiopteris* (L.) Tod.

Б-4. Весенне-летне-осеннезеленые, вегетирующие с весны до установления снежного покрова: овсец вечнозеленый *Helictotrichon sempervirens* (Vill.) Pilg; элимус песчаный *Elymus arenarius* L.; очиток видный *Sedum spectabile* Boreau.

В-5. Летне-зимне-зеленые: виды и сорта рода бадан *Bergenia* высотой более 40 см.

2. Структурные растения с высокими генеративными побегами. Имеют полурозеточные побеги, у которых листья образуют стабильно-декоративный куст высотой более 50 см. Генеративные побеги достигают высоты более 100 см, что вносит динамику в габитус растения в период цветения. В группу включены бузульник узкоголовчатый *Ligularia stenosephala* (Maxim.) Matsum. & Koidz.; б. Пржевальского *L. Przewalskii* (Maxim.), б. тангутский *L. tangutica*, ветреница японская *Anemona hybrida*, виды рода Клопогон *Cimicifuga*.

3. Нестабильно-декоративные растения весеннего типа роста. В течение периода вегетации отмечается значительное изменение

габитуса. Характеризуются ранним и быстрым отрастанием и набором высоты, выступая весенними акцентами в цветочной композиции. Цветение приходится на конец апреля — начало июня, вегетация длится от 4 до 10 недель, после чего растения чаще всего отмирают или резко теряют декоративность. Группа включает в себя виды растений, относящиеся к феноритмотипам А-1, А-2, Б-3.

А-1. Ранневесенние эфемероиды, в том числе луковичные и клубнелуковичные растения: родов белоцветник *Leucojum*, гиацинт *Hyacinthus*, иридодиктиум *Iridodictyum*, кандык *Erythronium*, крокус *Crocus*, нарцисс *Narcissus*, подснежник *Galanthus*, пушкиния *Puschkinia*, рябчик *Fritillaria*, сцилла *Scilla*, тюльпан *Tulipa*, хионодокса *Chionodoxa*, а также корневищные и клубневые многолетники: ветреница дубравная *Anemone nemorosa* L., в. лютичная *A. ranunculoides* L., додекатеон *Dodecatheon*, хохлатка плотная *Corydalis solida* (L.) Clairv.; чистяк весенний *Ficaria verna* Huds.

А-2. Весенне-раннелетнезеленые гемизфемероиды: камассия Лейхтлина *Camassia leichtlinii* (Baker) S. Watson; виды рода лук *Allium*; птицемлечник *Ornithogalum*, корневищные многолетники: ирис карликовый *Iris pumila* L., примула скальная *Primula saxatilis* Kom., виды рода эремурус *Eremurus*. Цветут в конце мая — начале июня. Надземная часть отмирает в конце июля.

Б-3. Весенне-летнезеленые с ранним началом вегетации. Цветут в конце мая — начале июня и вегетируют до осени. Их декоративные качества резко снижаются после цветения. У растений с полурозеточными побегами при-

корневые листья и генеративные побеги после цветения полегают или частично отмирают. К группе можно отнести виды: фиалка душистая *Viola odorata* L.; флокс растопыренный *Phlox divaricata* L.; ф. столононосный *Ph. Stolonifera* Sims; примула мелкозубчатая *Primula denticulate* Sm.; василек горный *Centaurea montana* L.; ветреница лесная *Anemona sylvestris* L.; ландыш майский *Convallaria maialis*. В период жары и засухи прикорневые листья могут отмирать полностью, а осенью возможно отрастание новой розетки прикорневых листьев у видов: брунера крупнолистная *Brunnera macrophylla* (Adam) Johnston; дороникум подорожниковый *Doronicum plantagineum* L.; купальница европейская *Trollius europaeus* L.

4. Нестабильно-декоративные растения весенне-осеннего типа роста. Имеют «двухтактный» тип развития. Начинают вегетацию рано весной как ранневесенние эфемероиды или весенне-раннелетнезеленые гемиефемероиды. Первый этап вегетации заканчивают в конце июня — июле и впадают в состояние покоя, при этом все наземные побеги отмирают. С конца августа — в начале сентября развитие наземных побегов возобновляется, и формируется либо новое поколение листьев (мак восточный *Papaver orientale* L., мускари армянский *Muscari armeniacum* Leichtlin ex Baker, лук голубой *Allium caeruleum* Pall.) либо безхлорофильные генеративные побеги, отмирающие после цветения (безвременник осенний *Colchicum autumnale* L.).

5. Нестабильно-декоративные растения летнего типа роста. Имеют преимущественно полурозеточные, реже ортотропные побеги. Весной формируется розетка прикорневых листьев или укороченных вегетативных побегов, обычно небольшой высоты — до 20...30 см. В июне — начале августа формируются генеративные побеги, которые по высоте значительно превышают розетку листьев. После цветения они отмирают, что приводит к резкому снижению декоративности растений. Отцветшие генеративные побеги рекомендуется удалять для сохранения декоративности цветника. В конце лета начинается отрастание новой розетки прикорневых листьев или укороченных вегетативных побегов. В результате растения имеют очень динамичный габитус, резко изменяющийся в течение периода вегетации. В цветнике они выступают сезонными летними акцентами. Группа включает в себя растения, относящиеся к феноритмотипам Б-3а, Б-3б, Б-4.

Б-3а. Весенне-летнезеленые виды с ранним началом вегетации, зацветающие в июне, июле.

Зацветающие в июне: виды рода Аквилегия *Aquilegia*; астра алпийская *Aster alpinus* L.; буквица лекарственная *Betonica officinalis* L.; василистник водосборолистный *Thalictrum aquilegiifolium* L.; ветреница канадская *Anemone canadensis* (L.) A. Löve & D. Löve; гелениум Хупа *Helenium hoopesii* A. Gray; герань великолепная *Geranium x magnificum* Hylander; г. лесная *G. Sylvaticum* L.; горец змеинный *Polygonum bistorta* Delarbre; дельфиниум гибридный *Delphinium x hybridum*; зверобой продырявленный *Hypericum perforatum* L.; колокольчик льнолистный *Campanula linifolia* Scop., к. скученный *C. Glomerata* L., к. широколистный *C. Latifolia* L.; кольник Шейхцера *Phyteuma scheuchzeri* All.; котовник кошачий *Nepeta cataria* L., к. сибирский *N. Sibirica* L.; к. Фассена *N. x faassenii* Bergmans ex Stearn; купальница китайская *Trollius chinensis* Bunge; люпин многолистный *Lupinus polyphyllus* Lindl.; мелколепестник красивый *Erygeron speciosus* DC.; наперстянка крупноцветковая *Digitalis grandiflora* Mill.; синюха голубая *Poleoniu caeruleum* L.; шалфей дубравный *Salvia nemorosa* L.

Зацветающие в июле: душица обыкновенная *Origanum vulgare* L.; колокольчик доломитовый *Campanula dolomitica* E. Busch.; кровохлебка канадская *Sanguisorba canadensis* L., к. лекарственная *S. officinalis* L.; к. Мензиса *S. Menziesii* Rydb.; к. тонколистная *S. tenuifolia* Fisch. ex Link; к. тупая *S. obtuse* Maxim., пырейник канадский *Elymus canadensis* L.; тысячелистник обыкновенный *Achillea millefolium* L.; шалфей клейкий *Salvia glutinosa* L.; энотера четырехугольная *Oenothera tetragona* Roth.

Б-3б. Весенне-летнезеленые виды с поздним началом вегетации. Луковичные: виды рода Лилия *Lilium*; лук каратавский *Allium karataviense* Regel, л. круглоголовый *A. sphaerocephalum* L.

Зацветающие в июне: астранция крупная *Astrantia major* L.; вербейник точечный *Lysimachia punctata* L., вероника длиннолистная *Veronica longifolia* L., в. колосистая *V. Spicata* L.; котовник жилковатый *Nepeta nervosa* Royle ex Benth.; лабазник вязолистный *Filipendula ulmaria* (L.) Maxim.; л. обыкновенный *F. vulgaris* Moench; лен жестковолосистый *Linum hirsutum* L.; монарда двойчатая *Monarda didyma* L.; пиретрум розовый *Pyrethrum coccineum* (Willd.) Worosch.; пупавка красильная *Anthemis tinctoria* L.; рута душистая *Ruta graveolens* L.; тысячелистник Птармика *Achillea ptarmica* L., т. таволговый *A. Filipendulina* Lam.; фюопсис длинностолбиковый *Phuopsis stylosa* (Trin.) Hook. f.

Зацветающие в июле: астра льновидная *Crinitaria linosyris* (L.) Less.; иссоп лекарственный *Hyssopus officinalis* L.; колокольчик

точечный *Campanula punctate* Lam; кореопсис мутовчатый *Coreopsis verticillata*; лабазник красный *Filipendula rubra* (Hill) B.L. Rob; лиатрис колосистая *Liatris spicata* Willd; флокс метельчатый *Phlox paniculata* L., ф. пятнистый *Ph. maculata*; эхинацея пурпурная *Echinacea purpurea* (L.) Moench.

Б-4. Весенне-летне-осеннезеленые виды, у которых при благоприятных условиях часть розеточных листьев перезимовывает: вероника горечавковая *Veronica gentianoides* Vahl; гайлардия остистая *Gaillardia aristata* Pursh.; гвоздика сосноволлистая *Dianthus pinifolius* Sm.; гвоздика-травянка *Dianthus deltoids* L.; гравилат чилийский *Geum chilense* Sweet; колокольчик персиколистный *Campanula persicifolia* L.; кореопсис крупноцветковый *Coreopsis grandiflora* Hoog ex Sweet; нивяник наибольший *Leucanthemum maximum* (Ramond) DC., н. обыкновенный *L. Vulgare* Lam.

6. Нестабильно декоративные растения летне-осеннего типа роста. Имеют преимущественно ортотропные генеративные побеги, не образующие розетки прикорневых листьев. Характеризуются поздним отрастанием весной. Цветение начинается в середине — конце июля. Основной период декоративности приходится на август. После цветения генеративные побеги частично отмирают, для поддержания декоративности их необходимо удалять. В цветнике такие растения являются сезонным акцентом на вторую половину лета — начало осени. Группа включает в себя растения, относящиеся к феноритмотипу Б-3б.

Б-3б. Весенне-летнезеленые виды с поздним началом вегетации.

Зацветающие в июле: аконит клобучковый *Aconitum napellus* L.; вербейник клетровидный *Lysimachia clethroides* Duby, вероникаструм виргинский *Veronicastrum virginicum* (L.) Farw.; гелениум осенний *Helenium autumnale* L.; дербенник иволистный *Lythrum salicaria* L.; золотарник канадский *Solidago polychrome* L.; лафант анисовый *Lophanthus anisatus* Benth.; лилия группы Восточные гибриды *Lilium* x L.; лавatera тюрингенская *Lavatera thuringiaca* L.; рудбекия блестящая *Rudbeckia fulgida* Ait.

Зацветающие в начале августа: мята колосистая *Mentha spicata* L., м. круглолистная *M. Rotundifolia* (L.) Huds., м. перечная *M. x piperita* L.; солидастер желтый *Solidaster luteus* x *lutea* (M.L. Green ex Dress); физостегия виргинская *Physostegia virginiana* (L.) Benth.

Декоративные злаки: вейник остроцветковый *Calamagrostis* x *acutiflora* (Schrab.) Rchb.; луговик дернистый *Deschampsia cespitosa* (L.) P. Beauv.

7. Нестабильно-декоративные растения осеннего типа роста. Имеют преимущественно ортотропные побеги. Характеризуются медленным отрастанием в начале вегетации. Набирают полную высоту только к концу лета. Сроки цветения приходятся на период с сентября по ноябрь. Холодо- и заморозостойкие, после осенних заморозков или временного установления снежного покрова продолжают вегетацию и цветение. В цветниках являются акцентами на осенний период. Стебли в нижней части осенью частично одревесневают и полностью отмирают к концу периода вегетации. Группа включает в себя растения, относящиеся к феноритмотипу Б-4.

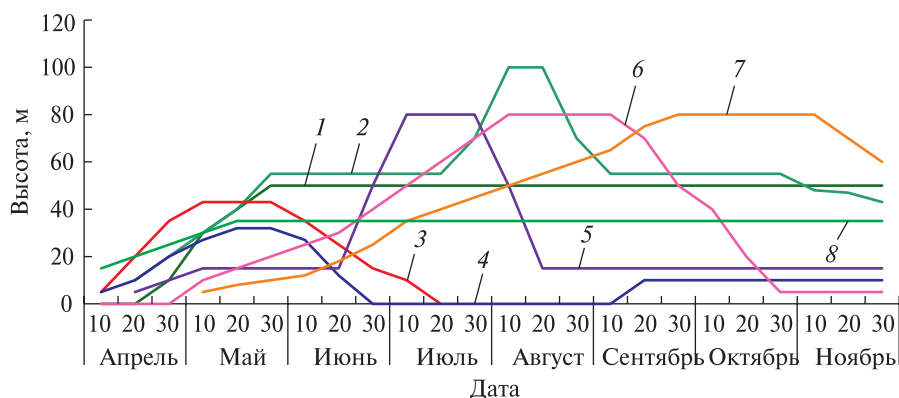
Б-4. Весенне-летне-осеннезеленые с поздним началом вегетации, вегетируют с весны до установления снежного покрова: астра ново-английская *Aster novae-angliae* L., а. новобельгийская *A. novi-belgii* L.; гелиопсис подсолнечниковый *Heliopsis helianthoides* (L.) Sweet; очиток белорозовый *Sedum alboroseum* (Miq.) H. Ohba; посконник пурпурный *Eupatorium purpureum* L.; тростник обыкновенный *Phragmites australis* (Cav.) Trin. ex Steud. «*Variegatus*»; физалис Франше *Physalis francetii* Mast.; хризантема корейская *Chrysanthemum coreanum* Nakai.

8. Стабильно-декоративные растения. Имеют статичный габитус, не изменяющийся в течение периода вегетации. Общая высота растений этой группы не превышает 30...40 (50) см. Виды наиболее подходят для создания переднего плана цветника. Декоративность определяют длительно-декоративные листья. Группа объединяет виды растений, относящиеся к феноритмотипам Б-3, Б-4, Б-5 с ортотропными, плагиотропно-ортотропными, розеточными и полурозеточными побегами.

Виды с ортотропными побегами

Б-3. Весенне-летнезеленые: адонис весенний *Adonis vernalis* L.; молочай многоцветный *Euphorbia polychrome* Kerner; пион тонколистный *Paeonia tenuifolia* L.; горянка красная *Epimedium rubrum* E. Morren; душица обыкновенная *Origanum vulgare* «*Aureum*», «*Compactum*»; купена серповидная *Polygonatum falcatum* A. Gray; монарда двойчатая *Monarda didyma* L. «*Nana*»; сныть обыкновенная *Aegopodium podagraria* L. «*Variegata*»;

Б-4. Весенне-летне-осеннезеленые: анафалис жемчужный *Anaphalis margaritacea* (L.) Benth. & Hook. f.; астра кустарниковая *Aster dumosus* L.; вербейник реснитчатый *Lysimachia ciliate* L. «*Fire Cracker*»; в. точечный *L. Punctate* L. «*Alexander*»; золотарник гибридный *Solidago* x *hybrida* «*Nana noweth*»; очиток гибридный *Sedum hybridum* L.; полынь Людовика *Artemisia*



Изменение высоты вегетативных и генеративных побегов в течение периода вегетации у многолетних декоративных травянистых растений из разных групп по динамике габитуса: 1 — структурные (или архитектурные) растения; 2 — структурные с высокими генеративными побегами; 3 — нестабильно-декоративные весеннего типа роста; 4 — нестабильно-декоративные весенне-осеннего типа роста; 5 — нестабильно-декоративные летнего типа роста; 6 — нестабильно декоративные летне-осеннего типа роста; 7 — нестабильно-декоративные осеннего типа роста; 8 — стабильно-декоративные

Change in the height of vegetative and generative shoots during the growing season in perennial ornamental herbaceous plants from different habitus dynamics groups: 1 — structural (or architectural) plants; 2 — structural with high generative shoots; 3 — unstable-decorative of spring growth type; 4 — unstable-decorative of spring-autumn growth type; 5 — unstable-decorative of summer growth type; 6 — unstable-decorative of summer-autumn growth type; 7 — unstable-decorative of autumn growth type; 8 — stable-decorative

ludeviciana Nutt.; п. Пурша *A. Perschiana* Boss.; п. Шмидта *A. schmidta* и ее форма «Nana»;

В-5. Летне-зимне-зеленые: зеленчук желтый *Galeobdolon luteum* Huds. «Herman's Pride»; лаванда узколистная *Lavandula angustifolia* Mill.; пахисандра верхушечная *Pachysandra terminalis* Siebold & Zucc.

Виды с плагиотропно-ортотропными побегами

В-5. Летне-зимнезеленые: арабис альпийский *Arabis alpine* L.; флокс прелестный *Phlox amoena* Sims; яснотка пятнистая *Lamium maculatum* (L.) L.

Б-4. Весенне-летне-осеннезеленые (факкультативно-зимнезеленые): шлемник альпийский *Scutellaria alpine* L.; горец родственный *Polygonum affine* G. Don.

Виды с розеточными побегами

В-5. Летне-зимнезеленые: арабис Фердинанда Кобургского *Arabis ferdinanda coburgi* Kellerer & Sünd.; армерия приморская *Armeria maritima* (Mill.) Willd., копытень блестящий *Asarum splendens* (F. Maek.) C.Y. Cheng & C.S. Yang.; печеночница трансильванская *Hepatica transilvanica* Eisvogel., п. благородная *H. Nobilis* Schreb., примула бесстебельная *Primula acaulis* Huds., п. весенняя *P. veris* L., п. высокая *P. elatior* (L.) Hill, п. ушковая *P. auricular* L.

Виды с полурозеточными побегами

Б-3. Весенне-летнезеленые: брунера крупнолистная *Brunnera macrophylla* (Adam) Johnst «Jack Frost»; дицентра исключительная *Dicentra eximia* (Ker-Gawl.) Torr.; астильба китайская *Astilbe chinensis* «Pumila»; а. простолостная *Astilbe simplicifolia* Makino, ирис бородатый бордюрный *Iris × hybrid hort.*; лабазник гибридный *Filipendula hybrida* «Red Umbrellas»; низкие виды хосты (х. волнистая *Hosta undulata* (Otto & A. Dietr.) L.H. Bailey х. ланцетовидная *H. Lancifolia* Engl.; х. малая *Hosta minor*).

Б-4. Весенне-летне-осеннезеленые: волжанка кокорышелистная *Aruncus aethusifolius* (H. Lév.) Nakai «Nobil Spirits»; герань пепельная *Geranium cinereum* Cav., г. кроваво-красная *G. Sanguineum* L., г. темная *G. Phaeum* L.; калужница болотная *Caltha palustris* L.; колокольчик карпатский *Campanula carpatica* Jacq; короставник македонский *Knautia macedonica* Griseb.; манжетка альпийская *Alchemilla alpine* L., м. мягкая *A. Mollis* (Buser) Rothm.; медуница красная *Pulmonaria rubra* Schott, м. сахарная *P. saccharata* Mill.; мукденция Росса *Mukdenia rossii* (Oliv.) Koidz.; прострел обыкновенный *Pulsatilla vulgaris* Mill.; синюха ползучая *Polemonium reptans* L. «Touch of Class»;

сисиринхиум узколистный *Sysirinchium angustifolium*; черноголовка крупноцветковая *Prunella grandiflora* (L.) Jacq.; чистец шерстистый *Stachys lanata* Jasq.; шалфей дубравный *Salvia nemorosa*, низкие сорта; ясколка Биберштейна *Cerastium biebersteinii* DC.

В-5. Летне-зимнезеленые: низкие виды и сорта бадана *Bergenia*; гвоздика перистая *Dianthus plumaris* L.; виды родов Гейхера *Heuchera* и гейхерелла *Heucherella*; герань кембриджская *Geranium x cantabrigiense* Yeo, г. крупнокорневищная *G. Macrorrhizum* L.; морозник черный *Helleborus niger* L.; теллима крупноцветковая *Tellima grandiflora* Rubra; тиарелла сердцелистная *Tiarella cordifolia* L.; тысячелистник серебристый *Achillea argentea*.

Декоративные папоротники: кочедыжник японский *Athyrium niponicum* (Mett.) Hance; виды рода Адiantум *Adiantum*; Вудсия *Woodsia*; голокучник Роберта *Gymnocarpium robertianum* (Hoffm.) Newm.; оноклея чувствительная *Onoclea sensibilis* L. и др.

Декоративные злаки (бухарник мягкий *Holcus mollis* L. «*Albovariegata*»; двукисточник тростниковый *Phalaris arundinacea* (L.) Rauschert «*Snow Pink*»; лисохвост луговой *Alopecurus pratensis* L. «*Aureovariegatus*»; манник большой *Glyceria maxima* (Hartm.) Holmb. «*Variegata*»; молиния голубая *Molinia caerulea* (L.) Moench «*Variegata*»; овсяница сизая *Festuca glauca* Lam.; райграс высокий ф. луковичный *Arrhenatherum elatius* var. *bulbosum* «*Variegatum*»; сеслерия белая *Sesleria alba* Sm.; с. голубая *S. glauca* (L.) Ard.

Осоки: осока птиценожковая *Carex ornithopoda* Willd., о. ржавопятнистая *C. Siderosticta* Hance; о. пальмолистная *C. muskingumensis* «*Little Midge*», «*Silber Streib*».

Ожики: ожика волосистая *Luzula pilosa* (L.) Willd., о. лесная *L. Sylvatica* (Huds); ситник развесистый *Juncus effusus* L. «*Spiralis*».

На рисунке представлено изменение усредненной высоты растений, относящихся к разным группам, в течение периода вегетации.

Выявленные особенности динамики высоты и габитуса декоративных травянистых растений позволят создавать ландшафтные композиции, сохраняющие декоративность в течение всего периода вегетации. Растения с разным типом динамики габитуса необходимо совмещать и равномерно распределять в цветнике, что позволит создавать сезонные акценты и одновременно поддерживать постоянную высоту композиции за счет размещения видов из структурных и стабильно-декоративных групп.

Растения из групп 2–7 (нестабильно-декоративные) требуют периодического проведения

агротехнических мероприятий по удалению отцветших генеративных побегов и отмирающих вегетативных органов, что увеличивает затраты по их содержанию в цветниках. Для растений из групп 1 (структурные) и 8 (стабильно-декоративные) требуется меньше затрат на проведение уходовых мероприятий, что делает цветники с их включением более экономичными.

Выводы

На основе проведенных исследований разработана классификация декоративных травянистых растений многолетней культуры по типу динамики габитуса. Проведен обзор коллекции травянистых многолетников с распределением видов по предложенным группам. Полученные данные рекомендуется использовать при разработке проектов цветочного оформления для создания ландшафтных композиций, стабильно-декоративных в течение всего периода вегетации, а также требующих меньших затрат на содержание.

Список литературы

- [1] Курченко Е.И. О габитусе растений для систематики от Линнея до наших дней: на примере рода *Agrostis* // Проблемы ботаники Южной Сибири и Монголии: VI Междунар. науч.-практ. конф., Барнаул, 25–28 октября 2007 года. Барнаул: Азбука (Санкт-Петербург), 2007. С. 340–345.
- [2] Митина М.Б. Методика фенологических наблюдений в ботанических садах СССР. М.: Академия наук СССР, 1975. 27 с.
- [3] Фомина Т.И. Ритмологические особенности видов весенне-летне-осеннезеленого феноритмотипа // Вестник Алтайского государственного аграрного университета, 2011. № 11 (85). С. 64–67.
- [4] Борисова И.В. Сезонная динамика растительных сообществ // Полевая геоботаника. Л.: Наука, 1972. Т. IV. С. 5–89.
- [5] Митина М.Б., Антонова Л.Л. Сезонное развитие растений лесостепной дубравы // Ученые записки Ленинградского государственного университета имени А. А. Жданова. Серия биологическая, 1972. Вып. 3, № 367. С. 74–118.
- [6] Малышева Г.С. Феноритмотипы растений горных лесов южного склона Северо-Западного Кавказа // Ботанический журнал, 1978. № 10. Т. 63. С. 1403–1413.
- [7] Андреева И.И. Ритм сезонного развития растений букво-каштановых лесов Батумского побережья Кавказа: 03.00.05: автореф. дис. ... канд. биол. наук. Московская сельско-хозяйственная академия имени К.А. Тимирязева. Москва: [б. и.], 1966. 17 с.
- [8] Спасовский Ю.Н. Фенологические исследования в Кавказском заповеднике // Современное состояние и перспективы сохранения биоресурсов: глобальные и региональные процессы. Материалы Всерос. науч.-практ. конф. с междунар. участием, Майкоп, 15 декабря 2021 г. Майкоп: ИП Магарин Олег Григорьевич, 2021. С. 136–142.

- [9] Карпионов Р.А. Травянистые растения широколиственных лесов СССР: эколого-флористическая и интродукционная характеристика. М.: Наука, 1985. 205 с.
- [10] Луконина А.В. Растительный покров Волгоградской области как источник растений для интродукции: 03.00.05: автореф. дис. ... канд. биол. наук. М., 2005. 28 с.
- [11] Фомина Т.И. Биологические особенности декоративных растений природной флоры в Западной Сибири. Новосибирск: ГЕО, 2012. 179 с.
- [12] Гладышева О.В., Олейникова Е.М. Онтогенез и феноритмотипы пряноароматических интродуцентов в ЦЧР. Воронеж: Воронежский ГАУ, 2016. 198 с.
- [13] Фомина Т.И. Основные закономерности интродукции декоративных видов природной флоры в лесостепи Западной Сибири // Интродукция нетрадиционных и редких растений. Матер. VIII Междунар. науч.-метод. конф., Мичуринск 8–12 июня 2008 г. В 3 т. Воронеж: Кварта, 2008. Т. 2. С. 151–153.
- [14] Филиппова Л.Н. Введение в культуру местных видов из семейства розоцветных // Ботанические исследования в Субарктике. Апатиты: Кольский филиал АН СССР, 1974. С. 51–60.
- [15] Васильева О.Ю., Вышегуров С.Х. Использование цифровой фенотеки травянистых растений в декоративном растениеводстве // Аграрный вестник Урала, 2022. № 04 (219). С. 37–47. DOI 10.32417/1997-4868-2022-219-04-37-47
- [16] Тавлинова Г.К. Цветы в открытом грунте. Морфолого-биологические и декоративные качества травянистых красивоцветущих растений // Цветоводство. Л.: Лениздат, 1970. 576 с.
- [17] Безделева Т.А. Структурное разнообразие травянистых растений флоры Дальнего Востока России // Бюллетень ботанического сада-института ДВО РАН, 2010. № 5. С. 4–20.
- [18] Савиных Н.П. Модели побегообразования: место и роль в структуре и формировании габитуса растения // Биоморфология растений: традиции и современность. Материалы Междунар. науч. конф., Киров, 19–21 октября 2022 г. Вятский государственный университет. Киров: Изд-во Вятского государственного университета, 2022. С. 63–72.
- [19] Серебрякова Т.И. Об основных «архитектурных моделях» травянистых растений и модусах преобразования // Бюллетень Московского общества испытателей природы. Отдел биологический, 1977. Т. 82. № 5. С. 112–125.
- [20] Зайченко С.Г., Зернов А.С. Биоморфология в таксономии растений на примере кавказских *Minuartia* s.l. (Caryophyllaceae) // Журнал общей биологии, 2021. Т. 85. № 5. С. 368–381.
- [21] Кабанов А.В., Мамаева Н.А., Хохлачева Ю.А. Изучение фенотипических характеристик ретросортов *Hemerocallis x hybrida* hort. для их использования в образовательных и просветительских целях // Лесной вестник / Forestry Bulletin, 2023. Т. 27. № 4. С. 91–103. DOI: 10.18698/2542-1468-2023-4-91-103
- [22] Бондорина И.А., Кабанов А.В., Мамаева Н.А., Хохлачева Ю.А. Использование коллекционного фонда лаборатории декоративных растений Главного ботанического сада РАН для расширения ассортимента многолетних растений, перспективных для введения в массовое городское озеленение // Естественные и технические науки, 2022. № 9 (172). С. 18–21.
- [23] Лаврова О.П., Шмелева В.М., Мининзон И.Л. Приемы создания ландшафтных композиций на основе изучения луговых растительных сообществ // Ландшафтная архитектура и формирование комфортной городской среды. Матер. XVI регион. науч.-практ. конф., Нижний Новгород, 18 марта 2020 года / под ред. О.П. Лавровой. Нижний Новгород: Изд-во Нижегородского государственного архитектурно-строительного университета, 2020. С. 48–54.
- [24] Лаврова О.П., Мининзон И.Л. Виды растений болотных экосистем Нижнего Новгорода, перспективные для создания ландшафтных композиций в городской среде // Современные проблемы интродукции и сохранения биоразнообразия растений. Материалы Всерос. науч. конф. с междунар. участием, посвященной 85-летию Ботанического сада имени профессора Б.М. Козо-Полянского и 80-летию Е.А. Николаева, Воронеж, 20 июля 2022 года. Воронеж: Цифровая полиграфия, 2022. С. 242–246.
- [25] Фомина Т.И. Перспективы декоративных видов флоры Алтая в условиях Новосибирска // Известия ТСХА, 2022. № 4. С. 48–60.
- [26] Соколова Т.А., Бочкова И.Ю. Декоративное растениеводство: Цветоводство. М.: Академия, 2017. 432 с.
- [27] Бочкова И.Ю., Хохлачева Ю.А. Исследование почвопокровных растений в целях их использования на объектах ландшафтной архитектуры // Лесной вестник / Forestry Bulletin, 2021. Т. 25. № 1. С. 53–63. DOI: 10.18698/2542-1468-2021-1-53-63.
- [28] Зубик И.Н., Симахин М.В., Хайдуков А.С. Особенности морфологических признаков пионов, используемых в декоративном садоводстве // Наследие академика Н.В. Цицина. Современное состояние и перспективы развития: сб. статей Всероссийской научной конференции с международным участием, посвященной 120-летию Н.В. Цицина, Москва, 08–11 июля 2019 г. М.: РПЦ Офорт, 2019. С. 177–179.
- [29] Воронина О.Е., Кабанов А.В., Мамаева Н.А., Хохлачева Ю.А. Рост и развитие некоторых представителей рода *Host* // Трансформация экосистем, 2024. Т. 7. № 1 (24). С. 42–51.
- [30] Васильева О.Ю. Формирование коллекции *Astilbe-UCH-NAM* в условиях континентального климата // Самарский научный вестник, 2021. Т. 10. № 3. С. 34–40. DOI 10.17816/snv2021103104.
- [31] Калинович С.Е., Сизых С.В. Эколого-биологический анализ многолетних травянистых растений, используемых в озеленении г. Иркутска // Проблемы озеленения городов Сибири и рационального природопользования: матер. II научно-практической конференции с международным участием, Иркутск 6–7 октября 2022 г. Иркутск: Иркутский государственный университет, 2022. С. 43–50.
- [32] Черепанов С.К. Сосудистые растения России и сопредельных государств (в пределах бывшего СССР). СПб.: Мир и семья–95, 1995. 990 с.
- [33] Травянистые декоративные многолетники Главного ботанического сада им. Н.В. Цицина Российской академии наук: 60 лет интродукции / под ред. А.С. Демидова. М.: Наука, 2009. 395 с.
- [34] Плантариум. Растения и лишайники России и сопредельных стран: открытый онлайн атлас и определитель растений. URL: <https://www.plantarium.ru/page/view/item/4464.html> (дата обращения 01.09.2024).
- [35] Аверкиев Д.С., Аверкиев В.Д. Определитель растений Горьковской области. Горький: Волго-Вятское книжное изд-во, 1984. 320 с.

Сведения об авторе

Лаврова Ольга Петровна — канд. биол. наук, доцент, зав. кафедрой ландшафтной архитектуры и садово-паркового строительства, ФГБОУ ВО «Нижегородский государственный архитектурно-строительный университет» (ННГАСУ), olg.lavrv2010@yandex.ru

Поступила в редакцию 27.09.2024.

Одобрено после рецензирования 11.03.2025.

Принята к публикации 10.04.2025.

GROUPS OF ORNAMENTAL PERENNIAL HERBACEOUS PLANTS BY HABITUS DYNAMICS

O.P. Lavrova

Nizhny Novgorod State University of Architecture and Civil Engineering (NNGASU), 65, Il'inskaya st., 603109, Nizhny Novgorod, Russia

olg.lavrv2010@yandex.ru

The article proposes to divide decorative perennial herbaceous plants into the following groups according to the habitus dynamics, considering their pheno-rhythmotypes: structural; unstable-decorative (spring, spring-autumn, summer, summer-autumn, autumn growth type) and stable-decorative. A review of the collection of perennial ornamental herbaceous plants with their distribution into groups of habitus dynamics is made, examples of plants for each group are given. Recommendations on the maintenance of plants of different groups in floral compositions are considered. Approaches to the selection of plant assortment in the development of floral design projects considering the dynamics of their habitus are proposed.

Keywords: phenology, pheno-rhythmotypes; habitus, seasonal dynamics of habitus, groups of ornamental herbaceous plants by type of habitus dynamics

Suggested citation: Lavrova O.P. *Gruppy dekorativnykh travyanistykh rasteniy mnogoletney kul'tury po dinamike gabitusa* [Groups of ornamental perennial herbaceous plants by habitus dynamics]. *Lesnoy vestnik / Forestry Bulletin*, 2025, vol. 29, no. 3, pp. 127–138. DOI: 10.18698/2542-1468-2025-3-127-138

References

- [1] Kurchenko E.I. *O gabituse rasteniy dlya sistematiki ot Linneya do nashikh dnei: na primere roda Agrostisl* [On the habitus of plants for taxonomy from Linnaeus to the present day: on the example of the genus *Agrostis*]. *Problemy botaniki Yuzhnoy Sibiri i Mongolii: VI Mezhdunarodnaya nauchno-prakticheskaya konferentsiya* [Problems of botany in Southern Siberia and Mongolia: VI International Scientific and Practical Conference], 2007, no. 6, pp. 340–345.
- [2] Mitina M.B. *Metodika fenologicheskikh nablyudeniy v botanicheskikh sadakh SSSR* [Methodology of phenological observations in the botanical gardens of the USSR]. Moscow: Academy of Sciences of the USSR, 1975, 27 p.
- [3] Fomina T.I. *Ritmologicheskie osobennosti vidov vesenne-letne-osennezelenogo fenoritmotipa* [Rhythmological features of the species of spring-summer-autumn green phenorhythmotype]. *Vestnik Altayskogo gosudarstvennogo agrarnogo universiteta* [Bulletin of the Altai State Agrarian University], 2011, no. 11 (85), pp. 64–67.
- [4] Borisova I.V. *Sezonnaya dinamika rastitel'nykh soobshchestv* [Seasonal dynamics of plant communities]. *Polevaya geobotanika* [Field geobotany]. Leningrad : Nauka, 1972, v. IV, pp. 5–89.
- [5] Mitina M.B., Antonova L.L. *Sezonnoe razvitiye rasteniy lesostepnoy dubravy* [Seasonal development of forest-steppe oak grove plants]. *Uchenye zapiski Leningradskogo gosudarstvennogo universiteta imeni A.A. Zhdanova* [Scientific notes of the Leningrad State University named after A.A. Zhdanov], Biological series, 1972, v. 3, no. 367, pp. 74–118.
- [6] Malysheva G.S. *Fenoritmotipy rasteniy gornyykh lesov yuzhnogo sklona Severo-Zapadnogo Kavkaza* [Phenorhythmotypes of plants of mountain forests of the southern slope of the Northwestern Caucasus]. *Botanicheskiy zhurnal* [Botanical J.], 1978, no. 10, v. 63, pp. 1403–1413.
- [7] Andreeva I.I. *Ritm sezonnogo razvitiya rasteniy bukovo-kashtanovykh lesov Batumskogo poberezh'ya Kavkaza* [The rhythm of seasonal plant development of beech-chestnut forests of the Batumi coast of the Caucasus]. *Dis. Cand. Sci.* [Biol.], 03.00.05. Moscow, 1966, 17 p.
- [8] Spasovskiy Yu.N. *Fenologicheskie issledovaniya v Kavkazskom zapovednike* [Phenological studies in the Caucasian Nature Reserve]. *Sovremennoe sostoyaniye i perspektivy sokhraneniya bioreсурсов: global'nye i regional'nye protsessy: materialy Vserossiyskoy nauchno-prakticheskoy konferentsii s mezhdunarodnym uchastiem* [The current state and prospects of conservation of bioresources: global and regional processes : materials of the All-Russian scientific and practical conference with international participation]. Maykop: Magarin O.G., 2021, pp. 136–142.

- [9] Karpisonova R.A. *Travyanistyie rasteniya shirokolistvennykh lesov SSSR: ekologo-floristicheskaya i introduktsionnaya kharakteristika* [Herbaceous plants of broad-leaved forests of the USSR: ecological, floristic and introduction characteristics]. Moscow: Nauka, 1985, 205 p.
- [10] Lukonina A.V. *Rastitel'nyy pokrov Volgogradskoy oblasti kak istochnik rasteniy dlya introduktsii* [Rastitel'nyy pokrov Volgogradskoy oblasti kak istochnik rasteniy dlya introduktsii]. Dis. Cand. Sci. (Biol.), 03.00.05. Moscow, 2005, 28 p.
- [11] Fomina T.I. *Biologicheskie osobennosti dekorativnykh rasteniy prirodnoy flory v Zapadnoy Sibiri* [Biological features of ornamental plants of natural flora in Western Siberia]. Novosibirsk: GEO, 2012, 179 p.
- [12] Gladysheva O.V., Oleynikova E.M. *Ontogenez i fenoritmotiny pryanoaromatichekikh ingrodutsentov v TsChR* [Ontogenesis and phenorhythmics of spicy-aromatic ingredients in the Central Asian Republic]. Voronezh: Voronezh State Pedagogical University, 2016, 198 p. DOI 10.17238/978-5-7267-0880-5.
- [13] Fomina T.I. *Osnovnye zakonomernosti introduktsii dekorativnykh vidov prirodnoy flory v lesostepi Zapadnoy Sibiri* [The main patterns of introduction of decorative species of natural flora in the forest-steppe of Western Siberia]. *Introduktsiya netraditsionnykh i redkikh rasteniy: materialy VIII mezhdunarodnoy nauchno-metodicheskoy konferentsii* [Introduction of non-traditional and rare plants: proceedings of the VIII International Scientific and Methodological Conference]. Michurinsk, 2008. Voronezh: Kvarta, 2008, v. 2, pp. 151–153.
- [14] Filippova L.N. *Vvedenie v kul'turu mestnykh vidov iz semeystva rozovsnykh* [Introduction to the culture of local species from the Rosaceae family]. *Botanicheskie issledovaniya v Subarktike* [Botanical research in the Subarctic]. Apatity: Kola Branch of the USSR Academy of Sciences, 1974, pp. 51–60.
- [15] Vasil'eva O.Yu., Vyshegurov S.Kh. *Ispol'zovanie tsifrovoy fenoteki travyanistykh rasteniy v dekorativnom rastenievodstve* [The use of a digital phenotheca of herbaceous plants in decorative plant growing]. *Agrarnyy vestnik Urals* [Agrarian Bulletin of the Urals], 2022, no. 04 (219), pp. 37–47. DOI 10.32417/1997-4868-2022-219-04-37-47
- [16] Tavlinova G.K. *Tsvety v otkrytom grunte. Morfologo-biologicheskie i dekorativnye kachestva travyanistykh krasivotsvetushchikh rasteniy* [Flowers in the open ground. Morphological, biological and decorative qualities of herbaceous beautifully flowering plants]. *Tsvetovodstvo* [Floriculture]. Leningrad, 1970, 576 p.
- [17] Bezdeleva T.A. *Strukturnoe raznoobrazie travyanistykh rasteniy flory Dal'nego Vostoka Rossii* [Structural diversity of herbaceous plants of the flora of the Russian Far East]. *Byulleten' botanicheskogo sada-instituta DVO RAN* [Bulletin of the Botanical Garden-Institute of the Far Eastern Branch of the Russian Academy of Sciences]. Vladivostok, 2010, no. 5, pp. 4–20.
- [18] Savinykh N.P. *Modeli pobegoobrazovaniya: mesto i rol' v strukture i formirovaniy gabbitusa rasteniya* [Models of shoot formation: place and role in the structure and formation of plant habit]. *Biomorfologiya rasteniy: traditsii i sovremennost'*: materialy Mezhdunarodnoy nauchnoy konferentsii [Biomorphology of plants: traditions and modernity: proceedings of the International Scientific Conference]. Kirov: Vyatka State University, 2022, pp. 63–72.
- [19] Serebryakova T.I. *Ob osnovnykh «arkhitekturnykh modelyakh» travyanistykh rasteniy i modusakh preobrazovaniya* [On the main «architectural models» of herbaceous plants and conversion modes]. *Byulleten' Moskovskogo obshchestva ispytateley prirody. Otdel biologicheskoy* [Bulletin of the Moscow Society of Nature Testers. The department is biological], 1977, v. 82, no. 5, pp. 112–125.
- [20] Zaichenko S.G., Zernov A.S. *Biomorfologiya v taksonomii rasteniy na primere kavkazskikh Minuartia s.l. (Saryophyllaceae)* [Biomorphology in plant taxonomy, on the example of Caucasian Minuartia S.L. (Saryophyllaceae)] *Zhurnal obshchey biologii* [J. of General Biology], 2021, v. 85, no. 5, pp. 368–381. DOI: 10.31857/s0044459621040060
- [21] Kabanov A.V., Mamaeva N.A., Khokhlacheva Yu.A. *Iuchenie fenotipicheskikh harakteristik retrosortov Hemerocallis x hybrida hort. dlya ih ispol'zovaniya v obrazovatel'nykh i prosvetitel'skikh tselyakh* [Phenotypic characteristics of retro cultivars of *Hemerocallis x hybrida* hort. study for their use in educational and educational purposes]. *Lesnoy vestnik / Forestry Bulletin*, 2023, vol. 27, no. 4, pp. 91–103. DOI: 10.18698/2542-1468-2023-4-91-103
- [22] Bondorina I.A., Kabanov A.V., Mamaeva N.A., Khokhlacheva Yu.A. *Ispol'zovanie kollektsionnogo fonda laboratorii dekorativnykh rasteniy glavnogo botanicheskogo sada RAN dlya rasshireniya assortimenta mnogoletnikh rasteniy, perspektivnykh dlya vvedeniya v massovoe gorodskoe ozelenenie* [Using the collection fund of the laboratory of ornamental plants of the main botanical garden of the Russian Academy of Sciences to expand the range of perennial plants promising for introduction into mass urban landscaping]. *Estestvennye i tekhnicheskie nauki* [Natural and technical sciences], 2022, no. 9 (172), pp. 18–21.
- [23] Lavrova O.P., Shmeleva V.M., Mininon I.L. *Priemy sozdaniya landshaftnykh kompozitsiy na osnove izucheniya lugovykh rastitel'nykh soobshchestv* [Techniques for creating landscape compositions based on the study of meadow plant communities]. *Landschaftnaya arkhitektura i formirovanie komfortnoy gorodskoy sredy: materialy XVI regional'noy nauchno-prakticheskoy konferentsii* [Landscape architecture and the formation of a comfortable urban environment: materials of the XVI regional scientific and practical conference]. Nizhny Novgorod, 2020, pp. 48–54.
- [24] Lavrova O.P., Mininon I.L. *Vidy rasteniy bolotnykh ekosistem Nizhnego Novgoroda, perspektivnye dlya sozdaniya landshaftnykh kompozitsiy v gorodskoy srede* [Plant species of marsh ecosystems of Nizhny Novgorod, promising for creating landscape compositions in the urban environment]. *Sovremennyye problemy introduktsii i sokhraneniya bioraznoobraziya rasteniy: mater. Vserossiyskoy nauchnoy konferentsii s mezhdunarodnym uchastiem, posvyashchennoy 85-letiyu Botanicheskogo sada imeni professora B.M. Kozo-Polyanskogo i 80-letiyu E.A. Nikolaeva* [Modern problems of introduction and conservation of plant biodiversity: Proc. of the All-Russian scientific conference with international participation dedicated to the 85th anniversary of the Botanical Garden named after Professor B.M. Kozo-Polyansky and the 80th anniversary of E.A. Nikolaev], Voronezh, July 20, 2022, Voronezh: Tsifrovaya poligrafiya [Digital printing], 2022, pp. 242–246.
- [25] Fomina T.I. *Perspektivy dekorativnykh vidov flory Altaya v usloviyakh Novosibirska* [Prospects of ornamental species of Altai flora in the conditions of Novosibirsk]. *Izvestiya TSHA* [Proceedings of the TLC], 2022, iss. 4, pp. 48–60.

- [26] Sokolova T.A. *Dekorativnoe rastenievodstvo: Cvetovodstvo* [Decorative plant growing: Floriculture]. Moscow: Academy, 2017, 432 p.
- [27] Bochkova I.Yu., Khokhlacheva Yu.A. *Issledovanie pochvopokrovnykh rasteniy s tsel'yu ikh ispol'zovaniya na obek-takh landshaftnoy arkhitektury* [Ground cover plants research for objects of landscape architecture]. *Lesnoy vestnik / Forestry Bulletin*, 2021, vol. 25, no. 1, pp. 53–63. DOI: 10.18698/2542-1468-2021-1-53-63
- [28] Zubik I.N., Simakhin M.V., Khaydukov A.S. *Osobennosti morfologicheskikh priznakov pionov, ispol'zuemykh v deko-rativnom sadovodstve* [Features of morphological signs of peonies used in decorative gardening]. *Nasledie akademika N.V. Tsitsina. Sovremennoe sostoyanie i perspektivy razvitiya: sb. statey Vserossiyskoy nauchnoy konferentsii s mezh-dunarodnym uchastiem, posvyashchennoy 120-letiyu N.V. Tsitsina* [The legacy of Academician N.V. Tsitsin. Current state and prospects of development. Collection of articles of the All-Russian scientific Conference with international participation dedicated to the 120th anniversary of N.V. Tsitsin]. Moscow: ROC Etching, 2019, pp. 177–179.
- [29] Voronina O.E., Kabanov A.V., Mamaeva N.A., Khokhlacheva Yu.A. *Rost i razvitie nekotorykh predstaviteley roda Host* [Growth and development of some representatives of the genus Host]. *Transformatsiya ekosistem* [Transformation of ecosystems], 2024, v. 7, no. 1 (24), pp. 42–51.
- [30] Vasil'eva O.Yu. *Formirovanie kollektsii AstilbeBUCH.-HAM v usloviyakh kontinental'nogo klimata* [Formation of the Astilbe collection Buch.-Ham. in the conditions continental climate]. *Samarskiy nauchnyy vestnik* [Samara Scientific Bulletin], 2021, t. 10, no. 3, pp. 34–40. DOI: 10.17816/snv2021103104.
- [31] Kalinovich S.E., Sizykh S.V. *Ekologo-biologicheskii analiz mnogoletnikh travyanistykh rasteniy, ispol'zuemykh v oze-lenenii g. Irkutsk* [Ecological and biological analysis of perennial herbaceous plants used in landscaping of Irkutsk]. *Problemy ozeleneniya gorodov Sibiri i ratsional'nogo prirodopol'zovaniya: mater. II nauchno-prakticheskoy konferentsii s mezh-dunarodnym uchastiem* [Problems of greening Siberian cities and rational nature management. Materials of the II scientific and practical conference with international participation], Irkutsk 6–7 oktyabrya 2022 g. Irkutsk: Irkutsk State University, 2022, pp. 43–50.
- [32] Cherepanov S.K. *Sosudistye rasteniya Rossii i sopredel'nykh gosudarstv (v predelakh byvshego SSSR)* [Vascular plants of Russia and neighboring states (within the former USSR)]. S.Petersburg: Mir i sem'ya-95 [World and Family-95], 1995, 990 p.
- [33] *Travyanistye dekorativnye mnogoletniki Glavnogo botanicheskogo sada im. N.V. Tsitsina Rossiyskoy akademii nauk: 60 let introduktsii* [Herbaceous decorative perennials of the N.V. Tsitsin Main Botanical Garden of the Russian Academy of Sciences: 60 years of introduction]. *Rossiyskaya akademiya nauk, Glavnyy botanicheskii sad im. N.V. Tsitsina* [Russian Academy of Sciences, N.V. Tsitsin Main Botanical Garden]. Moscow: Nauka, 2009, 395 p.
- [34] *Plantarium. Rasteniya i lichayniki Rossii i sopredel'nykh stran: otkrytyy onlayn atlas i opredelitel' rasteniy* [Plantarium. Plants and lichens of Russia and neighboring countries: an open online atlas and plant determinant]. Available at: <https://www.plantarium.ru/page/view/item/4464.html> (accessed 01.09.2024).
- [35] Averkiev D.S., Averkiev V.D. *Opredelitel' rasteniy Gor'kovskoy oblasti* [Determinant of plants of the Gorky region]. Gor'kiy: Volgo-Vyatskoe knizhnoe izd-vo [Volga-Vyatka Publishing House], 1984, 320 p.

Author's information

Lavrova Ol'ga Petrovna — Cand. Sci. (Biology), Associate Professor, Head of the Department of Landscape Architecture and Landscape Construction, Nizhny Novgorod State University of Architecture and Civil Engineering (NNGASU), olg.lavrv2010@yandex.ru

Received 27.09.2024.

Approved after review 11.03.2025.

Accepted for publication 10.04.2025.

ПРИНЦИПЫ ФОРМИРОВАНИЯ ПРИРОДОПОДОБНЫХ РАСТИТЕЛЬНЫХ СООБЩЕСТВ В ЗОНЕ ЛЕЧЕБНО-ОЗДОРОВИТЕЛЬНЫХ УЧРЕЖДЕНИЙ ГОРОДА ВОРОНЕЖА

В.В. Кругляк^{1✉}, Е.И. Гурьева², А.А. Дьяконова²

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

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

kruglyak_vl@mail.ru

Рассмотрены предпосылки территориального развития образовательно-оздоровительной платформы в зоне лечебно-оздоровительных учреждений города Воронежа. Приведены теоретические и практические особенности формирования территориального развития образовательно-оздоровительной платформы на базе детских лагерей отдыха. Указаны основные типы и объемно-планировочные структуры формирования загородных детских рекреационных комплексов. Проанализированы современное состояние и перспективы развития детских лагерей отдыха в Воронежской области. Выявлены градостроительные и функциональные требования к объектам рекреации, предназначенным для детей. Разработана концептуальная модель образовательно-оздоровительной платформы на базе детских лагерей отдыха.

Ключевые слова: озеленение населенных пунктов, градостроительство, зона лечебно-оздоровительных учреждений, насаждения, природоподобные растительные сообщества

Ссылка для цитирования: Кругляк В.В., Гурьева Е.И., Дьяконова А.А. Принципы формирования природоподобных растительных сообществ в зоне лечебно-оздоровительных учреждений города Воронежа // Лесной вестник / Forestry Bulletin, 2025. Т. 29. № 3. С. 139–155.
DOI: 10.18698/2542-1468-2025-3-139-155

Стратегическими национальными приоритетами, определенными п. 26 Указа Президента Российской Федерации от 02.07.2021 г. № 400 «Стратегия национальной безопасности», являются сбережение народа России и развитие человеческого потенциала, экологическая безопасность, рациональное природопользование и др. В этой связи в качестве национального проекта рассмотрим концепцию детского оздоровительного лагеря. Понятие «детский оздоровительный лагерь» предполагает использование следующих терминов:

- рекреационное пространство — как вид каникулярного отдыха с предоставлением условий для комплексного восстановления физического и психологического здоровья детей [1];
- институциональность — как способ обеспечения социализации подрастающего поколения, включая аспекты реновации социальных практик и поведенческих установок [2];
- социально-педагогическая функциональность — как направление формирования и разви-

тия навыков коллективного взаимодействия и самореализации в различных видах деятельности [3];

- воспитательно-оздоровительная инфраструктура — как средство достижения целей оздоровления и активного отдыха для удовлетворения разнообразных интересов и потребностей детей;

- мультифункциональное пространство — как способ оздоровления и стимулирования развития различных форм творчества и социальной активности [4].

Значение природоподобных растительных сообществ в урбанизированной среде заключается в улучшении ее качества [5], сохранении здоровья населяющие ее граждан, их благополучии [6], а также в обеспечении устойчивости насаждений в ее пределах [7].

Цель работы

Цель работы — разработка концепции территориального развития образовательно-оздоровительной платформы на базе детских лагерей на территории Воронежской области.

Для достижения поставленной цели были определены задачи (рис. 1).



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

Материалы и методы

Методическую основу для проведения исследования составили современные отечественные и зарубежные теоретические и концептуальные методы проектирования объектов в зонах лечебно-оздоровительного назначения [8]. Качественным и многофакторным примером формирования природоподобных растительных сообществ в зоне лечебно-оздоровительных учреждений может служить Международный детский центр «Артек» (МДЦ «Артек») [9]. В ходе исследования были использованы методы, применяемые в лесоводстве [10], а также инновационные материалы для дизайна парковой среды [11], методы визуально-ландшафтной оценки территорий [12], методические руководства по реконструкции зеленых насаждений [13], рациональному природоиспользованию [14], архитектурно-строительному проектированию [15], организации ландшафтов [16]. Кроме того, использовались ГИС-технологии [17], учитывались формирование социальных пространств [18], комфортность ландшафтно-рекреационных технологий [19], экологическое планирование земель [20], были изучены принципы формирования архитектурной среды школьных зданий [21], рационального проектирования [22] и функционального зонирования детских оз-

доровительных лагерей [23]. Основные принципы формирования территорий лечебно-оздоровительных учреждений заключаются в применении методов, распространенных в ландшафтной архитектуре [24, 25], ландшафтном дизайне [26], транспортном обеспечении территорий [27], урбанистике [28] и архитектурном образовании [29]. При проектировании учитывалась биоиндикационная особенность территории [30], ее неаллергенное озеленение [31], зимостойкость древесных растений [32], таксационная структура насаждений [33], биометрические способы вычислений [34] и химический состав почв [35]. Дендрологические исследования были проведены по методике Шиманюка [36], экологическая структура насаждений — по методике Горышиной [37]. Сделан вывод о том, что для выращивания декоративных культур возможно применение технологий Ульянова [38].

Результаты и обсуждение

Рассмотрены теоретические и практические аспекты формирования территориального развития образовательно-оздоровительной платформы на базе детских лагерей отдыха.

В проектировании архитектурного пространства, предназначенного для детского образовательно-оздоровительного лагеря, ключевым



а



б



в

Рис. 2. Проект образовательного комплекса «Точка будущего» в г. Иркутске: а — панорама комплекса; б — основной корпус комплекса; в — внутреннее пространство комплекса

Fig. 2. Project of the educational complex «Point of the Future» in Irkutsk: а —panorama of the complex; б — main building of the complex; в — interior of the complex

является создание гармоничной и функциональной среды, которая будет взаимодействовать с окружающей градостроительной ситуацией [39]. Это требует узнаваемости архитектуры и ее стилиевой целостности, для того чтобы все здания и сооружения формировали единое пространство, интересное и удобное для использования [40]. Рассмотрим примеры отечественного и зарубежного опыта проектирования подобных объектов.

Качественным и многофункциональным примером формирования природоподобных растительных сообществ на территории объекта может служить ФГБОУ МДЦ «Артек» [41]. По его подобию может быть создан детский оздоровительный комплекс в г. Иркутске на

берегу р. Ангары как инновационное учебное заведение для современного и качественного образования [42]. При планировании такого комплекса рекомендуется придерживаться следующих принципов:

- интеграция с окружающей средой;
- функциональность и гибкость;
- технологическое оснащение;
- социальная интеграция;
- безопасность и доступность (рис. 2).

Детские центры подобного рода созданы и активно функционируют не только в России, но и за ее пределами.

Широко известен ныне действующий образовательный центр «Сириус», открытый для одаренных детей и подростков в возрасте от 10



а



б



в

Рис. 3. Образовательный центр для одаренных детей «Сириус» в г. Сочи: *а* — панорама образовательного центра; *б* — водоем образовательного центра; *в* — спортивный кластер

Fig. 3. Sirius Educational Centre for Gifted Children in Sochi: *a* — panorama of the educational centre; *б* — water body of the educational centre; *в* — sports cluster

до 17 лет со всей страны, которые пребывают в нем в целях обогащения знаниями и отдыха [43]. Основная задача образовательного центра «Сириус» — создание условий для полноценного раскрытия потенциала каждого ребенка в области искусства, спорта, науки и технологий (рис. 3).

Кроме того, санаторно-оздоровительный болгарский комплекс «Камчия» является одним из крупнейших и наиболее известных детских лагерей в Восточной Европе. Комплекс «Камчия» также расположен на берегу Черного моря. Он сочетает в себе передовые образовательные методики и технологии (рис. 4).

Предпосылки территориального развития образовательно-оздоровительной платформы в зоне лечебно-оздоровительных учреждений города

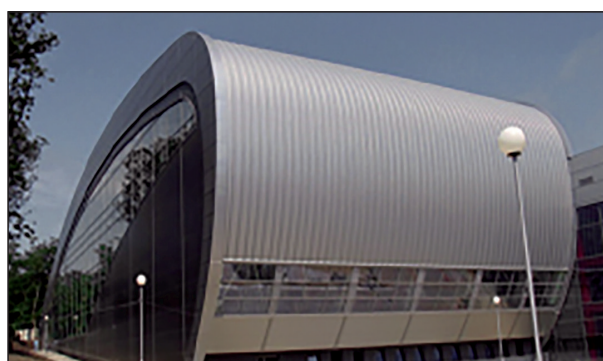
Основными предпосылками территориального развития образовательно-оздоровительной платформы в зоне лечебно-оздоровительных учреждений региона являются: социально-экономические, демографические, инфраструктурные, правовые, экологические:



а



б



в

Рис. 4. Международный детский санаторно-оздоровительный комплекс «Камчия», Болгария: а — панорама санаторно-оздоровительного комплекса; б — выставочный центр санаторно-оздоровительного комплекса; в — спортивный центр санаторно-оздоровительного комплекса

Fig. 4. International children's health resort Kamchiya, Bulgaria: а — panorama of the health resort complex; б — exhibition centre of the health resort complex; в — sports centre of the health resort complex

1. Социально-экономические предпосылки.

Растущий спрос на качественное образование и оздоровление детей. Родители все больше осознают важность всестороннего развития своих детей, включая получение знаний, развитие практических навыков и укрепление здоровья.

Недостаток доступных и современных образовательно-оздоровительных учреждений. Большинство детских лагерей устарели и находятся в плохом состоянии, не соответствуют современным нормам и требованиям.

Неравномерное распределение образовательно-оздоровительных ресурсов. Наблюдается оче-

видный дефицит образовательно-оздоровительных учреждений, что ограничивает возможность детей получать полноценное развитие [44].

2. Демографические предпосылки.

Увеличение рождаемости. В России наблюдается рост рождаемости, что приводит к увеличению потребности в образовательно-оздоровительных услугах для детей.

Изменение возрастной структуры населения. Увеличивается доля детей и подростков в общей численности населения, что также повышает спрос на образовательно-оздоровительные учреждения.



Рис. 5. Схема расположения детских оздоровительных лагерей в Воронежской области
Fig. 5. Location scheme of children's health camps in the Voronezh region

3. Инфраструктурные предпосылки.

Наличие развитой инфраструктуры детских лагерей. Большинство детских лагерей расположены в живописных местах с благоприятным климатом и имеют собственную инфраструктуру, включая жилые и учебные корпуса, столовые, спортивные площадки и медицинские пункты.

Возможность использования существующей инфраструктуры. Детские лагеря можно реорганизовать и перепрофилировать для создания образовательно-оздоровительной платформы.

Транспортная доступность. Многие детские лагеря находятся вблизи крупных городов, что обеспечивает транспортную доступность к ним для детей и персонала.

4. Правовые предпосылки.

Поддержка государственных органов. Правительство России заинтересованно в развитии образовательно-оздоровительных платформ на базе детских лагерей и принимает меры по их поддержке.

Наличие нормативно-правовой базы. Существуют нормативные акты, регулирующие деятельность детских лагерей и образовательных учреждений, что создает правовую основу для создания образовательно-оздоровительных платформ.

5. Экологические предпосылки.

Благоприятная экологическая обстановка. Детские лагеря часто расположены в пределах экологически чистых территорий, что способствует реальному оздоровлению детей.

Возможность организации экологического образования. Образовательно-оздоровительные платформы на базе детских лагерей могут использовать программы по экологическому образованию в целях привития детям любви к природе и бережного отношения к окружающей среде [45]. Учитывая эти объективные предпосылки, территориальное развитие образовательно-оздоровительной платформы на базе детских лагерей является перспективным направлением, которое позволит удовлетворить растущий спрос на качественные образовательно-оздоровительные услуги для детей и подростков.

Состояние и перспективы развития детских лагерей в Воронежской области

Воронежская область расположена в лесостепной и степной природных зонах в центре европейской части России по обеим сторонам р. Дон. Планирование детских оздоровитель-

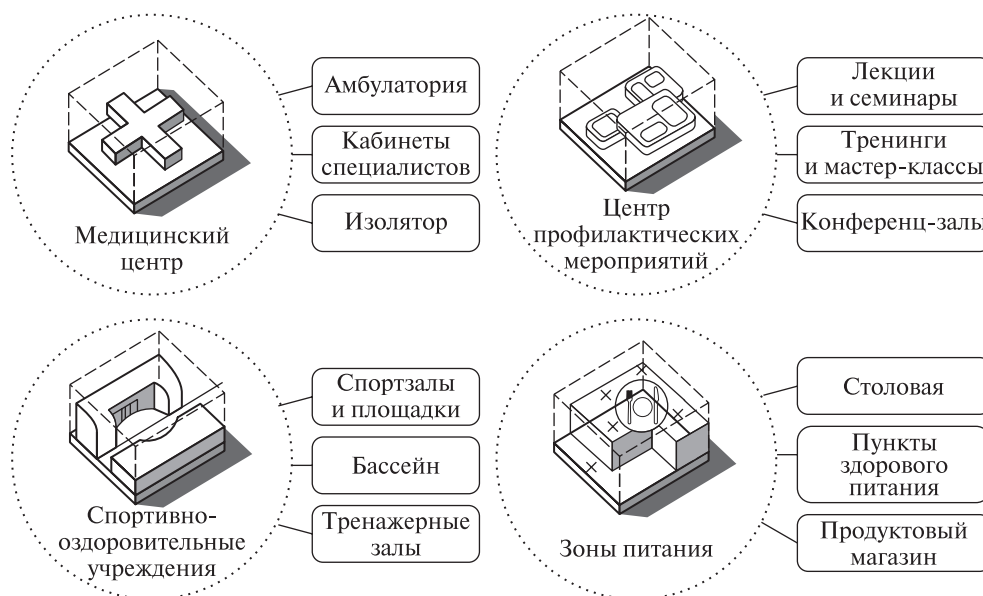


Рис. 6. Схема развития образовательно-оздоровительной платформы в аспекте здоровья
Fig. 6. Development scheme of the educational and recreational platform in the aspect of health

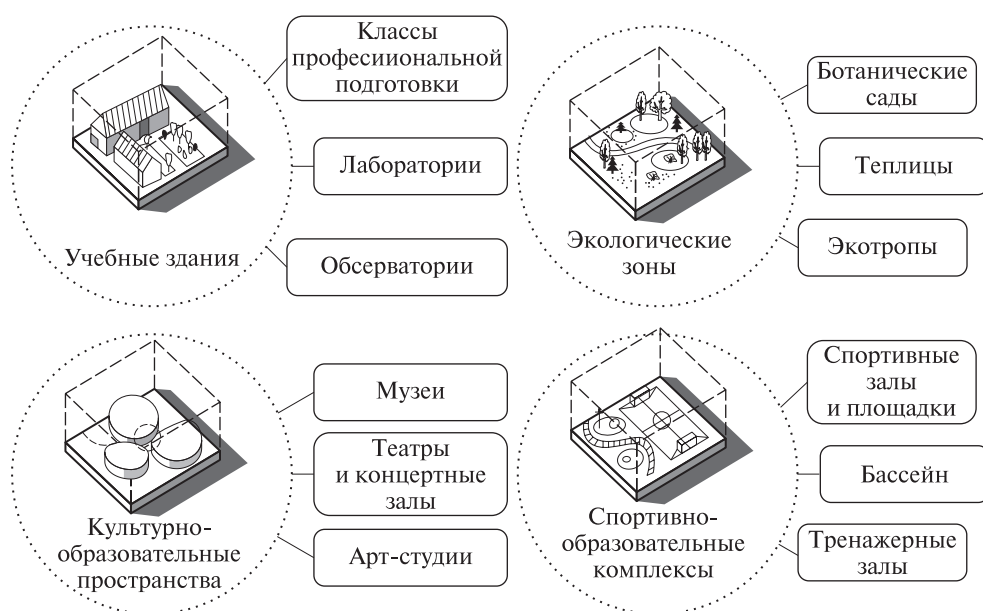


Рис. 7. Схема развития образовательно-оздоровительной платформы в аспекте образования
Fig. 7. Development scheme of the educational and recreational platform in the aspect of education

ных лагерей предусматривает учет местных климатических особенностей для обеспечения безопасности и комфорта детей, а также для разнообразия предлагаемых активностей.

Город Воронеж является административным центром Воронежской области, которая согласно Закону «Об административно-территориальном устройстве Воронежской области» включает в себя 416 сельских поселений, 28 городских поселений, 31 муниципальный район и

3 городских округа: Борисоглебский, Воронеж и Нововоронеж.

Очевидный дефицит мест для детского отдыха в Воронежской области связан с тем, что ныне существующие комплексы были построены еще в период с 1960 по 1980 гг. В то время такие лагеря не были изначально предназначены для размещения текущего числа желающих посетить лагерь. В итоге, в регионе наблюдается нехватка мест для отдыха детей (рис. 5).

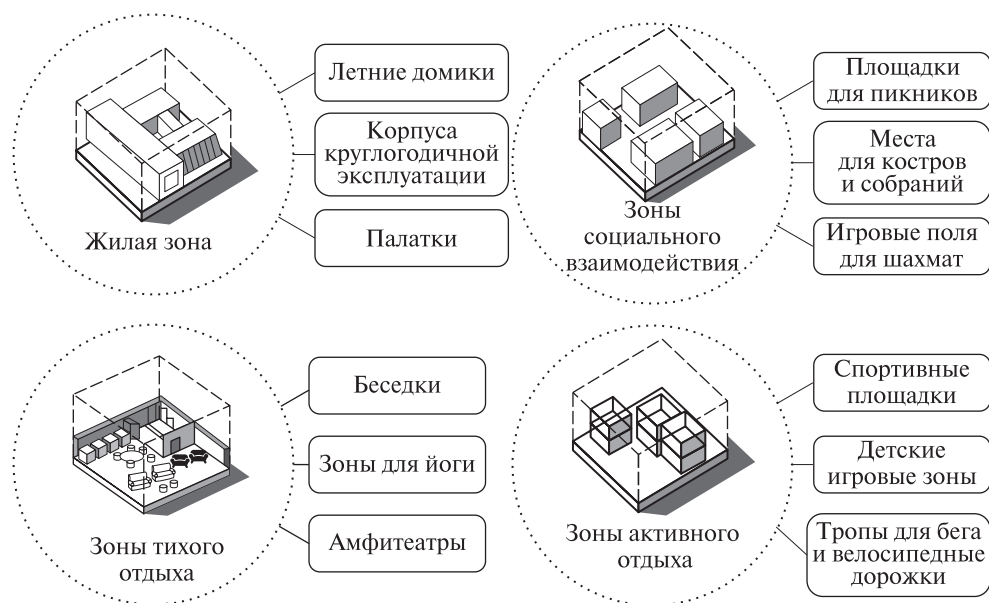


Рис. 8. Схема развития образовательно-оздоровительной платформы в аспекте отдыха
Fig. 8. Development scheme of the educational and recreational platform in the aspect of recreation

Учитывая потребности ребенка, в формировании образовательно-оздоровительной платформы, нами выделены три важных направления: здоровье, образование и отдых. Каждый из них рассматривается в качестве основного аспекта в развитии территории (рис. 6–8).

Для создания комфортной среды в детском образовательно-оздоровительном лагере при планировании пешеходных и велосипедных дорожек следует учитывать рельеф местности, сохранять природную растительность и оптимизировать поток движения. Необходимо использовать материалы, которые не только соответствуют назначению в покрытиях и облицовке, но и способствует эстетике малых архитектурных форм.

Природоподобные растительные сообщества имеют ключевое значение в улучшении качества среды и способствуют сохранению здоровья и благополучию рекреантов. Они способны смягчать климатические условия в городах, снижать уровень загрязнения воздуха, а также создавать привлекательные зеленые зоны для отдыха и релаксации.

Природоподобные растительные сообщества увеличивают биоразнообразие в городе, что положительно сказывается на психическом и физическом здоровье человека. Зеленые насаждения снижают стрессы, улучшают настроение, а также обеспечивают увеличение физической активности жителей [46].

Использование экологически чистых материалов в строительстве и интеграции дренажных систем для сточных вод помогает снизить

негативное воздействие на почву. Кроме того, важно применять такие конструкции, как деревянные террасы, которые минимизируют антропогенное влияние, обеспечивая сохранение естественной экосистемы.

Градостроительные и функциональные требования к объектам рекреации для детей

Важнейшими градостроительными и функциональными требованиями к объектам рекреации для детей являются: функциональное зонирование, планировочные ограничения, рекреационное зонирование, административно-хозяйственное зонирование и экологическое зонирование территории.

Большая часть существующих детских лагерей располагается в пределах лесного фонда, хотя некоторые из лагерей в настоящее время не функционируют. Функциональное зонирование населенной территории отображает общую структуру производства и расселения, учитывает природно-экологический каркас населенного пункта, микрорайона Сомово (рис. 9).

Функциональное зонирование территории детского образовательно-оздоровительного кластера — это процесс выделения на территории специализированных зон для оптимизации его образовательной и оздоровительной функций. План функционального зонирования должен включать в себя следующие зоны:

— образовательную — учебные корпуса с аудиториями и лабораториями, библиотека с досту-

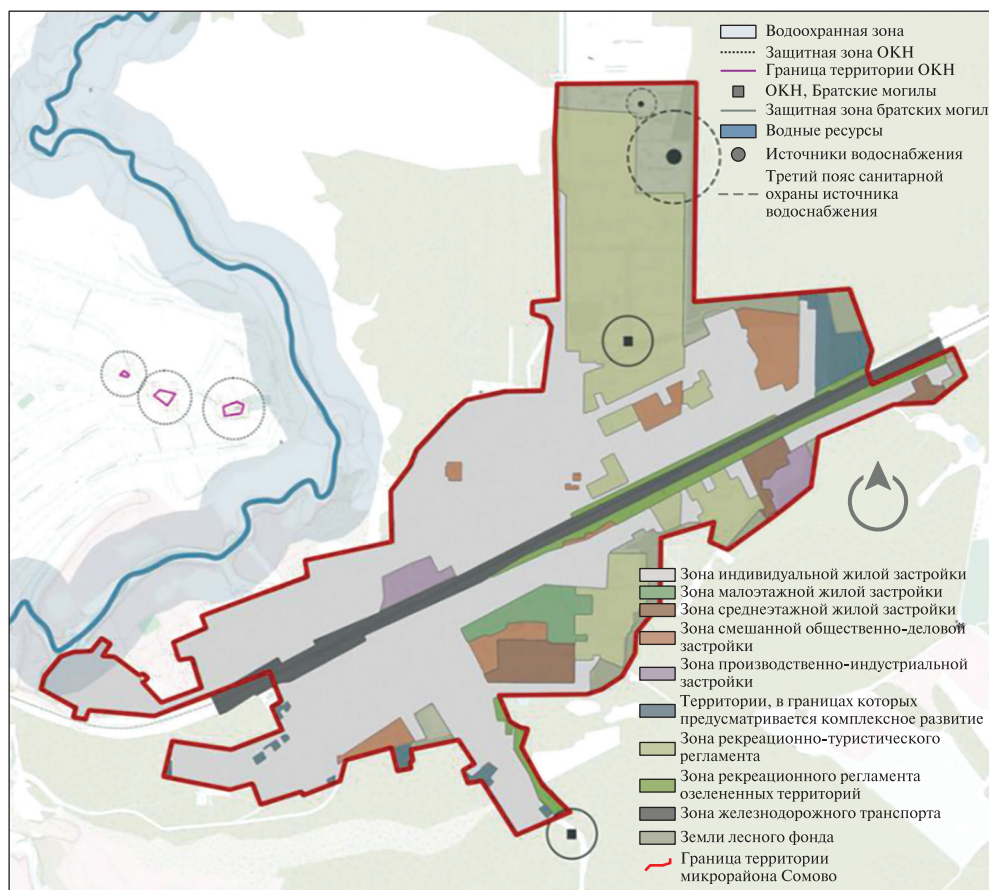


Рис. 9. Карта-схема функционального зонирования и планировочных ограничений микро-района Сомово

Fig. 9. Outline map of functional zoning and planning restrictions of the Somovo microdistrict

пом к электронным ресурсам, интерактивные площадки для практических занятий;

- спортивно-оздоровительную — спортивные площадки и стадионы, бассейн и тренажерные залы, участки для йоги и медитации;

- рекреационную — парки и скверы для отдыха и прогулок, игровые и развлекательные комплексы, места для пикников и кемпинга;

- сервисно-бытовую — общежития и гостевые дома, столовые и кафетерии, медицинский пункт и аптека;

- административно-хозяйственную — офисы управления, служба безопасности и охрана, технические и хозяйственные службы;

- экологическую — заповедные участки для изучения природы.

Исследование ландшафтно-природного комплекса выявило следующие недостатки:

- 1) не сформирован единый зеленый каркас;
- 2) отсутствует набережная.

Единая система зеленых насаждений и парковых зон улучшает экологическую ситуацию и повышает качество проживания. Зеленый

каркас очищает воздух, создает комфортные условия для отдыха и имеет важное значение в городской инфраструктуре.

Набережная может служить местом для прогулок, отдыха и проведения культурных мероприятий. Ее отсутствие или неблагоустройство лишает город важного общественного пространства и может снижать интерес к водным видам спорта и различным активностям (рис. 10).

Принципы формирования природоподобных растительных сообществ в зонах лечебно-оздоровительного назначения

В Воронежской области расположены 263 памятника природы общей площадью 6 629 га, которые неравномерно распределены по ее территории, что, безусловно, влияет на выбор мест для размещения детских лагерей. Лагеря желательно размещать в районах с большим количеством природных памятников или

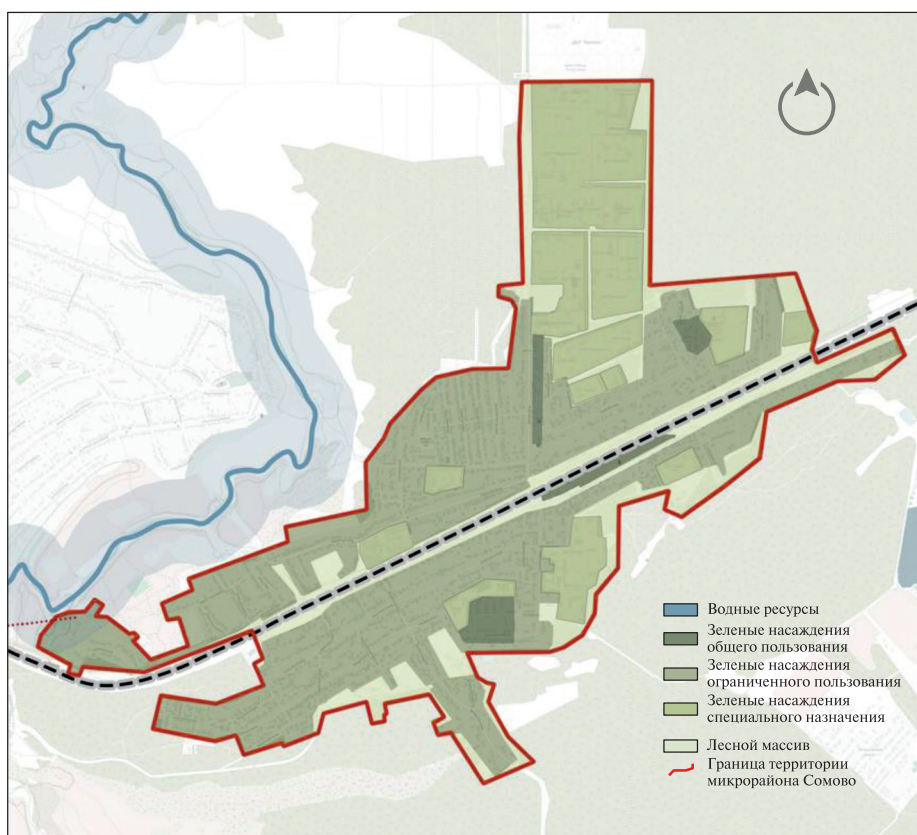


Рис. 10. Карта-схема ландшафтно-природного комплекса микрорайона Сомово

Fig. 10. Outline map of the landscape-natural complex of the Somovo microdistrict

особо охраняемых территорий, в частности в Бобровском и Павловском, поскольку эти объекты могут предоставить детям уникальные возможности для обучения и взаимодействия с природой для экологического образования и освоения природоведческих программ. Кроме того, следует подчеркнуть, что природоподобные растительные сообщества в зонах лечебно-оздоровительного назначения имеют важное значение для оздоровления.

Формирование природоподобных растительных сообществ в зонах лечебно-оздоровительного назначения должно основываться на принципах устойчивого развития, бережного отношения к природным ресурсам и сохранения биоразнообразия. Следует учитывать характерные особенности каждого участка, потребности и интересы людей, для того, чтобы обеспечить максимальный эффект от использования природных растительных сообществ для здоровья и благополучия. Озеленение и формирование зон отдыха с природными растительными сообществами улучшает качество жизни граждан, способствует сохранению здоровья и благополучия общества в целом.

В деле обустройства образовательно-оздоровительных территорий особое внимание необходимо уделять элементам инфраструктуры. Прежде всего рекомендуется совершенствовать организацию транспортных путей и пешеходных дорожек, т. е. улично-дорожную сеть: повысить связность, функционально разграничить ее различные категории, обновить оборудование, модернизировать средства организации дорожного движения — светофоры, дорожные знаки, дорожную разметку, а также повысить безопасность уличных пешеходных переходов (рис. 11).

Разработка концептуальной модели образовательно-оздоровительной платформы на базе детских лагерей

При проектировании большое значение имеет учет двух основных принципов создания комфортной среды обитания — универсальный дизайн и разумная адаптация. С помощью универсального дизайна создаются объекты, среды, программы и сервисы, наиболее подходящие для использования каждым участником.

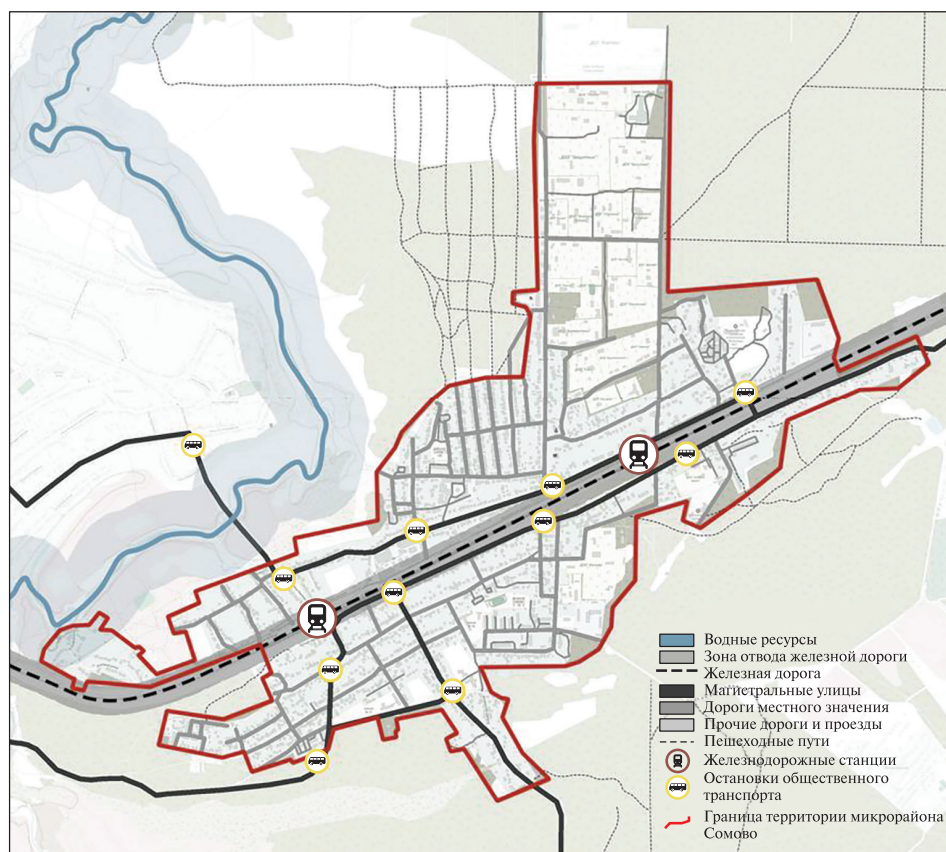


Рис. 11. Карта-схема дорожно-уличной сети микрорайона Сомово

Fig. 11. Outline map of the road and street network of the Somovo neighbourhood

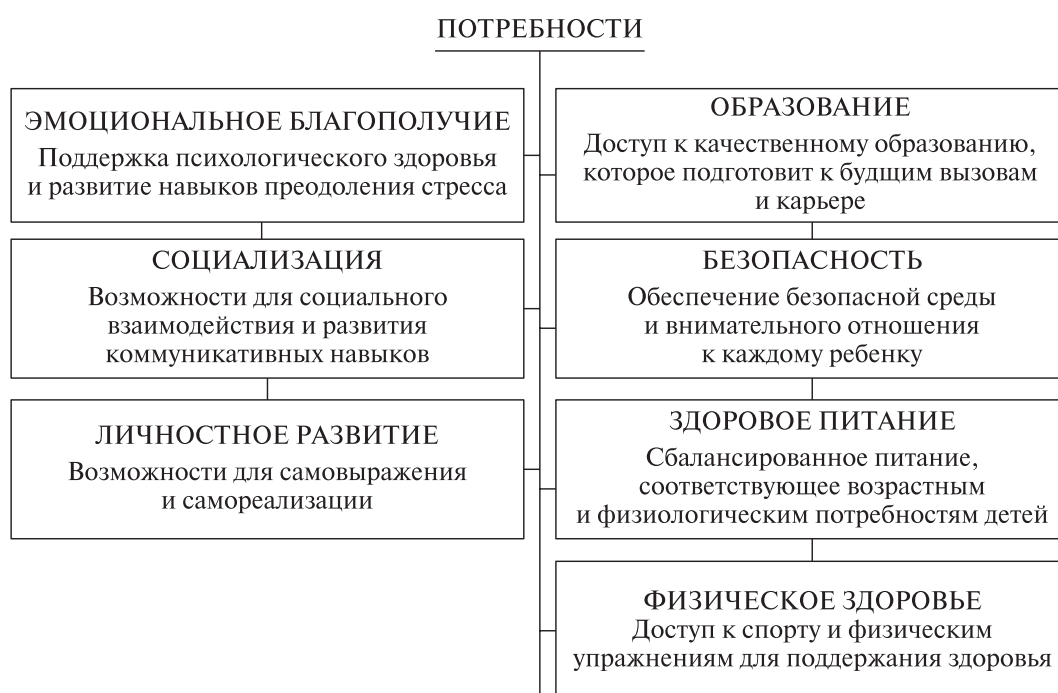


Рис. 12. Основные потребности ребенка

Fig. 12. Basic needs of a child

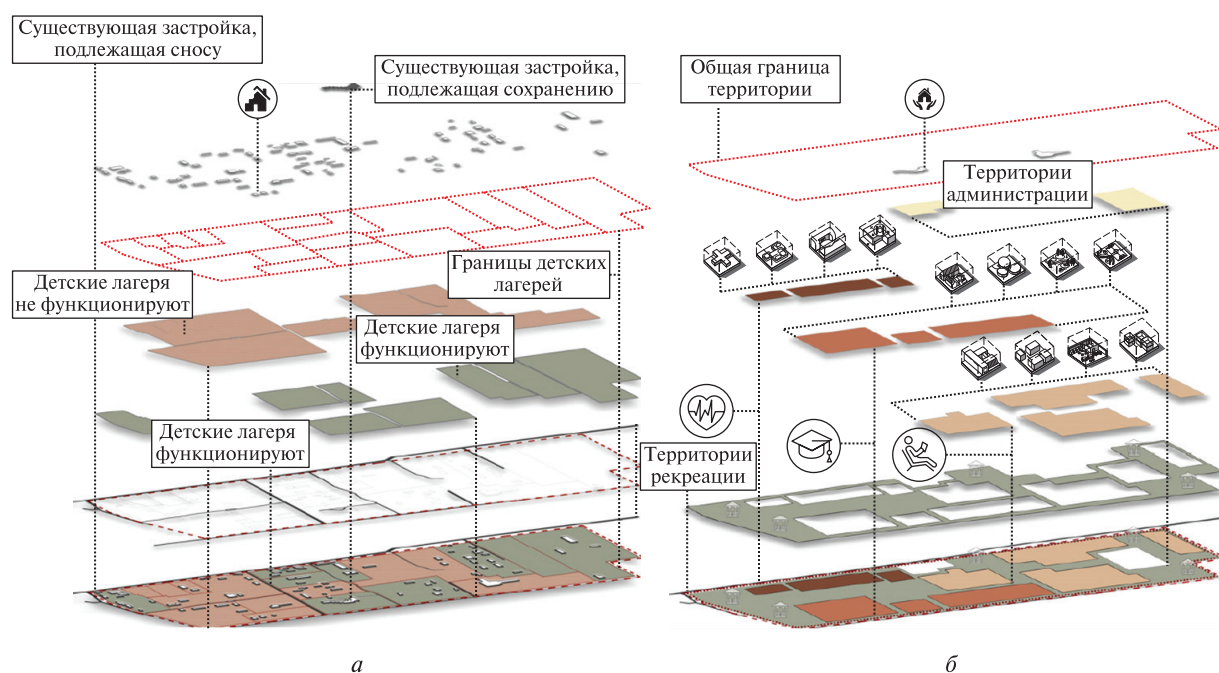


Рис. 13. Концептуальная модель образовательно-оздоровительной платформы: *a* — модель реальной ситуации; *б* — концептуальное предложение

Fig. 13. Conceptual model of the educational and recreational platform: *a* — model of the real situation; *б* — conceptual proposal

Принцип универсального дизайна подразумевает создание продуктов и элементов окружающей среды, доступных и удобных для всех людей, независимо от их возраста, физического состояния или способностей.

Принцип разумной адаптации позволяет приспособить среду к потребностям человека, причем с ограниченными возможностями, в том числе с точки зрения соотношения потребностей и возможностей, т. е. учитывая эти потребности, а также имеющиеся в предполагаемом лагере организационные, технические и финансовые возможности для их удовлетворения.

При проектировании указанных объектов исходят из такой концепции, как интеграция с природой. Она дает возможность предусматривать естественные освещение и вентиляцию, организацию видовых площадок, что благоприятно влияет на психологическое и физическое состояние детей (рис. 12). Включение в территорию зеленых зон и водных объектов, способствует развитию оздоровительных функций в пределах создаваемых детских лагерей.

Кроме того, важное значение имеет концепция территориального развития образовательно-оздоровительной платформы, основанная на кластеризации детских лагерей. Она заключается в разработке сети взаимосвязанных учреждений, предоставляющих комплексные услуги для развития и оздоровления детей.

Здесь подразумевается интеграция образовательных программ, спортивных и творческих мероприятий, медицинского обслуживания в едином пространстве для всестороннего развития личности ребенка и укрепления его здоровья (рис. 13).

В рамках разработки особый акцент следует сделать на образовательной функции и гарантиях безопасности. Неотъемлемыми составляющими при этом должны стать здоровое питание и физическое здоровье.

Проектирование современного архитектурного пространства для детского образовательно-оздоровительного лагеря рекомендуется осуществлять на примере уникальных образцов таких широко известных лечебно-оздоровительных учреждений, как «Артек» (Крым), «Точка будущего» (Иркутск), «Сириус» (Сочи), «Камчия» (Черноморское побережье Болгарии), рассмотренных выше. Разработка данной концептуальной модели на базе лечебно-оздоровительных учреждений города Воронежа должна включать и универсальный дизайн и разумную организацию с учетом обеспечения эмоционального благополучия, социализации, личностного развития.

Предложенная концепция территориального развития образовательно-оздоровительной платформы, основанной на кластеризации, является стратегически важным шагом на пути

к созданию эффективной и устойчивой системы детского отдыха и оздоровления, которая будет развивать рекреационную составляющую в экономике Воронежской области, обеспечивая ее привлекательность и благоустройство.

Список литературы

- [1] Шарафиева Л.Р. Апробация методики исследования взаимодействия человека с архитектурно-ландшафтной средой образовательных общественных пространств (на примере НОЦ Ботанический сад ТВГУ) // Зеленый журнал — Бюллетень ботанического сада Тверского государственного университета, 2019. № 6. С. 38–71.
- [2] Денисенко А.А., Марченко М.Н. Взаимосвязь дизайна и нравственного воспитания школьников // Дизайн и архитектура: синтез теории и практики: сб. науч. тр., Краснодар, 24–27 апреля 2017 г. Краснодар: Изд-во Кубанского государственного университета, 2017. С. 177–181.
- [3] Долженкова М.И., Апажихова Н.В. Опыт организации летнего оздоровительного отдыха подростков в европейских и североамериканских лагерях // Вестник Тамбовского ун-та. Сер.: Гуманитарные науки, 2017. № 5 (169). С. 68–75.
- [4] СанПиН 1.2.3685–21 «Гигиенические нормативы и требования к обеспечению безопасности и (или) безвредности для человека факторов среды обитания», 2021. 998 с.
- [5] Биоразнообразие города Воронежа / под ред. О.П. Негрובה. Воронеж: Изд-во Воронежского государственного университета, 2004. 98 с.
- [6] Гурьева Е.И., Прокофьева Н.В., Коростелев А.Г. Учение о природных ландшафтах // Архитектура и архитектурная среда: вопросы исторического и современного развития: Материалы Междунар. науч.-практ. конф. В 2 т. Тюмень, 22–23 апреля 2022 г. / под ред. А.Б. Храмова. Тюмень: Изд-во Тюменского индустриального университета, 2022. С. 200–203.
- [7] Карташова Н.П., Гурьева Е.И. Состояние и устойчивость насаждений г. Воронежа (на примере бульвара Кольцовский) // Известия высших учебных заведений. Северо-Кавказский регион. Технические науки, 2008. № 3 (145). С. 124–126.
- [8] Методика системных исследований лесоаграрных ландшафтов. М.: Изд-во ВАСХНИЛ, 1985. 112 с.
- [9] Каспаржак А., Ерохин С., Эльмаа Ю., Колесников И. Артек 2.0. Перегрузка. Концепция развития международного детского центра «Артек» // Библиотечка для учреждений дополнительного образования детей, 2015. № 3. С. 67–97.
- [10] Кругляк В.В., Гурьева Е.И. Древоводство. Воронеж: Изд-во ВГЛТА, 2011. 144 с.
- [11] Земскова О.В., Семенов В.С. Инновационный материал для дизайна парковой зоны города // Перспективы науки, 2020. № 2 (125). С. 42–46.
- [12] Теодоронский В.С. О методах визуально-ландшафтной оценки территорий при создании объектов ландшафтной архитектуры // Лесной вестник / Forestry Bulletin, 2021. Т. 25. № 2. С. 57–63.
- [13] Методическое руководство и технические условия по реконструкции городских зеленых насаждений. М.: МГУЛ, 2001. 58 с.
- [14] Баженов А.В. Планировочные предпосылки рационального природопользования города (на примере средних городов ЦЧР): дис. ... канд. архитектуры: 18.00.04. Москва, 1984. 170 с.
- [15] Бенуж А.А. Этапы развития экологического архитектурно-строительного проектирования в России // Development stages of ecological architectural and construction design in Russia. Недвижимость: экономика, управление, 2021. № 1. С. 49–52.
- [16] Большаков А.Г. Градостроительная организация ландшафта как фактор устойчивого развития территории: дис. ... д-ра архитектуры: 18.00.01. Иркутск, 2003. 424 с.
- [17] Макаров В.З. Теория и практика ландшафтно-экологических исследований крупных городов с применением ГИС-технологий: автореф. дис. ... д-ра геогр. наук: 25.00.23. Санкт-Петербург, 2001. 44 с.
- [18] Чурсина Л.В. Формирование городских социальных пространств с использованием информационных технологий // Architecture and Modern Information Technologies, 2021. № 1 (54). С. 236–247.
- [19] Прокопенко В.В., Ганжа О.А. К вопросу о методах оценки показателя комфортности ландшафтно-рекреационных территорий крупнейших городов (на примере города Волгограда) // Вестник Волгоградского государственного архитектурно-строительного университета. Серия: Строительство и архитектура, 2015. Вып. 40 (59). С. 73–88.
- [20] Кравченко Э.В., Будагов И.В., Кравченко Е.С. Об учете экологических факторов при планировании использования городских земель // Наука. Техника. Технологии (политехнический вестник), 2013. № 3. С. 116–117.
- [21] Консулова Н.А. Принципы формирования архитектурной среды школьных зданий с учетом ее воспитательного воздействия: дис. ... канд. архитектуры. Киев, 1989. 188 с.
- [22] Лебедев В.В. Комплекс пионерских лагерей санаторного типа на 1920 мест в Анапе. «Общественные здания» (ЦНТИ по гражданскому строительству и архитектуре). Реф. сборник, 1977. С. 15–18.
- [23] Пожарская К.Н., Жданова Е.И., Лысакова Д.Д. Функциональное зонирование территории детских оздоровительных лагерей как элемент благоустройства // XII Международный молодежный форум «Образование. Наука. Производство»: Материалы форума, Белгород, 01–20 октября 2020 года. Белгород: Изд-во Белгородского государственного технологического университета им. В.Г. Шухова, 2020. С. 590–593.
- [24] Саймондс Дж. Ландшафт и архитектура. М.: Стройиздат, 1965. 193 с.
- [25] Залесская Л.С. Ландшафтная архитектура. М.: Стройиздат, 1979. 237 с.
- [26] Нефедов В.А. Ландшафтный дизайн и устойчивость среды. СПб.: Полиграфист, 2002. 295 с.
- [27] Бураков Р.А., Овчинников И.Г. Разработка и анализ вариантов проекта транспортно-пешеходного пересечения городских улиц в крупном городе // Вестник евразийской науки, 2021. Т. 13. № 2. С. 5.
- [28] Крашенинников А.В. Когнитивная урбанистика: архетипы и прототипы городской среды. М.: Курс, 2020. 209 с.
- [29] Федоров В.В., Ханыгин Д.А., Овчарова А.Ж., Коротаева З.В. Традиции и инновации в архитектурном

- образовании: среда как механизм культурной памяти // Роль инновационной деятельности в обеспечении качества образования / под ред. В.Б. Петропавловской, 2015. С. 86–93.
- [30] Шунелько Е.В. Многокомпонентная биоиндикация городских транспортно-селитебных ландшафтов: автореф. дис. ... канд. биол. наук: 03.00.16. Воронеж, 2000. 22 с.
- [31] Иванова Н.В., Дубов И.А., Назаров К.Р., Мурадов И.С. Проектирование неаллергенного озеленения урбанизированных территорий // Вестник Волгоградского государственного архитектурно-строительного университета. Серия: Строительство и архитектура, 2021. № 4 (85). С. 230–242.
- [32] Сергеева К.А. Физиологические и биохимические основы зимостойкости древесных растений. М.: Наука, 1971. 174 с.
- [33] Анучин Н.П. Лесная таксация. М.: Лесн. пром-сть, 1982. 512 с.
- [34] Лакин Г.Ф. Биометрия. М.: Высш. школа, 1990. 350 с.
- [35] Воробьева Л.А., Лопухина О.В., Салпагарова И.А. Теория и практика химического анализа почв. М.: Геос, 2006. 400 с.
- [36] Шиманюк А.П. Дендрология. М.: Лесная пром-сть, 1967. 334 с.
- [37] Горышина Т.К. Экология растений. М.: Высшая школа, 1979. 368 с.
- [38] Ульянова О.А. Использование древесной коры и целлюлозы при выращивании декоративных культур // Агрохимия, 2002. № 7. С. 47–55.
- [39] Ажгихин С.Г., Денисенко А.А., Трубова В.В. Особенности функционального зонирования при проектировании детских лагерей // Синергия наук, 2017. № 18. С. 1294–1298.
- [40] Гальперин Л.Ю. Солнечный пионерский городок // Научные и проектные работы (ЛенЗНИИЭП), сборник III, Л., 1966. С. 173–179.
- [41] МДЦ «Артек». URL: <https://artek.org/> (дата обращения 22.06.2024).
- [42] Образовательный комплекс «Точка будущего» в Иркутске. URL: <https://archi.ru/projects/world/15318/obrazovatelnyy-kompleks-tochkabuduschegov-irkutske> (дата обращения 22.06.2024).
- [43] Образовательный центр для одаренных детей «Сириус». URL: <https://archi.ru/projects/russia/14368/obrazovatelnyicentr-dlya-odarenykh-deteisirius> (дата обращения: 22.06.2023).
- [44] Иванова Г.И. Принципы формирования архитектурно-пространственной среды с учетом особенностей возрастного восприятия. Дис. ... канд. архитектуры. М., 1979. 165 с.
- [45] Гейл Я. Города для людей. М.: Альпина Паблишер, 2012. 276 с.
- [46] Фролов А.К. Окружающая среда крупного города и жизнь растений в нем. СПб.: Наука, 1996. 328 с.

Сведения об авторах

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

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

Дьяконова Анастасия Андреевна — магистр, ФГБОУ ВО «Воронежский государственный технический университет», nastya.dyakonova.2000@gmail.com

Поступила в редакцию 05.02.2025.

Одобрено после рецензирования 25.03.2025.

Принята к публикации 03.04.2025.

NATURE-LIKE PLANT COMMUNITIES FORMATION PRINCIPLES IN VORONEZH HEALTH AND LEASURE INSTITUTIONS

V.V. Kruglyak¹✉, E.I. Gur'eva², A.A. Diakonova²

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

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

kruglyak_vl@mail.ru

The article considers the prerequisites for the territorial development of educational and health-improving facilities in the zone of medical and health-improving institutions in Voronezh city. The theoretical and practical features of the territorial development of educational and health-improving platforms based on children's holiday camps are given. The basic types and volume-planning structures of suburban children's recreational complexes are specified. The current state and prospects of development of children's recreation camps in the Voronezh region are analyzed. The urban planning and functional requirements to recreation facilities designed for children are revealed. The conceptual model of the educational and recreational platform based on children's recreation camps is developed.

Keywords: greening of settlements, urban development, zone of medical and recreational institutions, plantations, nature-like plant communities

Suggested citation: Kruglyak V.V., Gur'eva E.I., D'yakonova A.A. *Printsipy formirovaniya prirodopodobnykh soobshchestv v zone lechebno-ozdorovitel'nykh uchrezhdeniy goroda Voronezha* [Nature-like plant communities formation principles in Voronezh health and leisure institutions]. *Lesnoy vestnik / Forestry Bulletin*, 2025, vol. 29, no. 3, pp. 139–155. DOI: 10.18698/2542-1468-2025-3-139-155

References

- [1] Sharafieva L.R. *Aprobatsiya metodiki issledovaniya vzaimodeystviya cheloveka s arkhitekturno-landshaftnoy sredoy obrazovatel'nykh obshchestvennykh prostranstv (na primere NOTs Botanicheskoy sad TVGU)* [Approbation of a methodology for studying human interaction with the architectural landscape environment of educational public spaces (on the example of the REC Botanical Garden of TVSU)]. *Zelenyy zhurnal – Byulleten' botanicheskogo sada Tverskogo gosudarstvennogo universiteta* [Green J. Bulletin of the Botanical Garden of Tver State University], 2019, no. 6, pp. 38–71.
- [2] Denisenko A.A., Marchenko M.N. *Vzaimosvyaz' dizayna i нравstvennogo vospitaniya shkol'nikov* [Interrelation of design and moral education of schoolchildren]. *Dizayn i arkhitektura: sintez teorii i praktiki* [Design and architecture: synthesis of theory and practice]. Collection of scientific tr., Krasnodar, 24–27 Apr. 2017 Krasnodar: Kuban State University, 2017, pp. 177–181.
- [3] Dolzhenkova M.I., Apazhikhova N.V. *Opyt organizatsii letnego ozdorovitel'nogo otdykha podrostkov v evropeyskikh i severoevropeyskikh lageryakh* [Experience in organizing summer recreation for teenagers in European and North European camps]. *Vestnik Tambovskogo un-ta. Ser.: Gumanitarnye nauki* [News Tambov Univ. Ser.: Humanities], 2017, no. 5 (169), pp. 68–75.
- [4] SanPiN 1.2. 3685–21 «Gigienicheskie normativy i trebovaniya k obespecheniyu bezopasnosti i (ili) bezvrednosti diya cheloveka faktorov sredy obitaniya» *Ofitsial'nyy internet-portal pravovoy informatsii* [Russian sanitary rules and regulations. SanPiN 1.2. 3685–21 «Hygienic standards and requirements for ensuring the safety and (or) harmlessness of environmental factors for humans». Official Internet portal of legal information], 2021, 998 p.
- [5] *Bioraznoobrazie goroda Voronezha* [Biodiversity of the city of Voronezh]. Ed. O.P. Negrobov. Voronezh: Izd-vo Voronezhskogo gosudarstvennogo universiteta [Publishing House of Voronezh State University], 2004, 98 p.
- [6] Gur'eva E.I., Prokof'eva N.V., Korostelev A.G. *Uchenie o prirodnnykh landshtafakh* [The doctrine of natural landscapes]. *Arkhitectura i arkhitekturnaya sreda: voprosy istoricheskogo i sovremennogo razvitiya: mater. Mezhdunarodnoy nauchno-prakticheskoy konferentsii* [Architecture and architectural environment: issues of historical and modern development]. Materials International Scientific and Practical Conference, in 2 volumes, Tyumen, April 22–23, 2022. Ed. A.B. Khramtsov. Tyumen: Tyumenskiy industrial'nyy universitet [Tyumen Industrial University], 2022, pp. 200–203.
- [7] Kartashova N.P., Gur'eva E.I. *Sostoyaniye i ustoychivost' nasazhdeniy g. Voronezha (na primere bul'vara Kol'tovskiy)* [The state and stability of plantings in Voronezh (on the example of Koltsovsky Boulevard)]. *Izvestiya vysshikh uchebnykh zavedeniy. Severo-Kavkazskiy region. Tekhnicheskie nauki* [News of higher educational institutions. The North Caucasus region. Technical Sciences], 2008, no. 3 (145), pp. 124–126.
- [8] *Metodika sistemnykh issledovaniy lesoagrarnykh landshtafov* [Methods of systematic research of forest-agrarian landscapes]. Moscow: VASHNIL Publishing House, 1985, 112 p.
- [9] Kasparzhak A., Erokhin S., Eel'maa Yu., Kolesnikov I. *Artek 2.0. Perezagruzka. Kontseptsiya razvitiya mezhdunarodnogo detskogo tsentra «Artek»* [Concept for the development of the international children's center «Artek»], Russia, Republic of Crimea, Yalta, town. Gurzuf, 2014, 26 p.
- [10] Kruglyak V.V., Gur'eva E.I. *Drevovodstvo* [Arboriculture]. Voronezh: VGLTA Publishing House, 2011, 144 p.
- [11] Zemskova O.V., Semenov V.S. *Innovatsionnyy material dlya dizayna parkovoy zony goroda* [Innovative material for the design of the city park area]. *Perspektivy nauki* [Prospects of Science], 2020, no. 2 (125), pp. 42–46.

- [12] Teodoronsky V.S. *O metodakh vizual'no-landshaftnoy otsenki territoriy pri sozdanii ob'etov landschaftnoy arkhitektury* [Visual landscape areas assessment techniques when creating objects of landscape architecture]. *Lesnoy vestnik / Forestry Bulletin*, 2021, vol. 25, no. 2, pp. 57–63. DOI: 10.18698/2542-1468-2021-2-57-63
- [13] *Metodicheskoe rukovodstvo i tekhnicheskie usloviya po rekonstruktsii gorodskikh zelenykh nasazhdeniy* [Methodological guidelines and technical conditions for the reconstruction of urban green spaces]. Moscow: MGUL, 2001, 58 p.
- [14] Bazhenov A.V. *Planirovochnyye predposylki ratsional'nogo prirodopol'zovaniya goroda (na primere srednikh gorodov TsChR)* [Planning prerequisites for rational natural use of the city (on the example of medium-sized cities of the Central Asian Republic)]. Dis. Cand. Architecture, 18.00.04. Moscow, 1984, 170 c.
- [15] Benuzh A.A. *Etapy razvitiya ekologicheskogo arkhitekturno-stroitel'nogo proektirovaniya v Rossii* [Stages of development of ecological architectural and construction design in Russia]. Development stages of ecological architectural and construction design in Russia. *Nedvizhimost': ekonomika, upravlenie* [Development stages of ecological architectural and construction design in Russia. Real estate: economics, management], 2021, no. 1, pp. 49–52.
- [16] Bol'shakov A.G. *Gradostroitel'naya organizatsiya landschafta kak faktor ustoychivogo razvitiya territorii* [Urban planning organization of the landscape as a factor of sustainable development of the territory]. Dis. Dr. Architecture, 18.00.01. Irkutsk, 2003, 424 p.
- [17] Makarov V.Z. *Teoriya i praktika landschaftno-ekologicheskikh issledovaniy krupnykh gorodov s primeneniem GIS-tekhnologiy* [Theory and practice of landscape and environmental studies of large cities using GIS technologies]. Dis. Dr. Sci. (Geographical), 25.00.23. St. Petersburg, 2001, 44 p.
- [18] Chursina L.V. *Formirovaniye gorodskikh sotsial'nykh prostranstv s ispol'zovaniem informatsionnykh tekhnologiy* [Formation of urban social spaces using information technologies]. *Architecture and Modern Information Technologies* [Architecture and Modern Information Technologies], 2021, no. 1 (54), pp. 236–247.
- [19] Prokopenko V.V., Ganzha O.A. *K voprosu o metodakh otsenki pokazatelya komfortnosti landschaftno-rekreatsionnykh territoriy krupneyshikh gorodov (na primere goroda Volgograda)* [On the issue of methods for assessing the comfort index of landscape and recreational territories of the largest cities (on the example of the city of Volgograd)]. *Vestnik Volgogradskogo gosudarstvennogo arkhitekturno-stroitel'nogo universiteta. Seriya: Stroitel'stvo i arkhitektura* [Bulletin of the Volgograd State University of Architecture and Civil Engineering. Series: Construction and Architecture], 2015, iss. 40 (59), pp. 73–88.
- [20] Kravchenko E.V., Budagov I.V., Kravchenko E.S. *Ob uchete ekologicheskikh faktorov pri planirovanii ispol'zovaniya gorodskikh zemel'* [On the consideration of environmental factors in the planning of urban land use]. *Nauka. Tekhnika. Tekhnologii (politehnicheskiy vestnik)* [Nauka. Technic. Technologies (Polytechnic Bulletin)], 2013, no. 3, pp. 116–117.
- [21] Konsulova H.A. *Printsipy formirovaniya arkhitekturnoy sredy shkol'nykh zdaniy s uchetom ee vospitatel'nogo vozdeystviya* [Principles of the formation of the architectural environment of school buildings, taking into account its educational impact]. Dis. Cand. Architecture. Kiev, 1989, 188 p.
- [22] Lebedev V.V. *Kompleks pionerskikh lagerey sanatornogo tipa na 1920 mest v Anape. «Obshchestvennye zdaniya» (TsNTI po grazhdanskomu stroitel'stvu i arkhitekture)* [A complex of sanatorium-type pioneer camps for 1920 places in Anapa. «Public Buildings» (Central Research Institute for Civil Engineering and Architecture)]. Ref. collection, 1977, pp. 15–18.
- [23] Pozharskaya K.N., Zhdanova E.I., Lysakova D.D. *Funktsional'noe zonirovaniye territorii detskikh ozdorovitel'nykh lagerey kak element blagoustroystva* [Functional zoning of the territory of children's health camps as an element of landscaping]. XII Mezhdunarodnyy molodezhnyy forum «Obrazovanie. Nauka. Proizvodstvo» [XII International Youth Forum «Education. Science. Production»]. Materials of the forum, Belgorod, October 01–20, 2020. Belgorod: Belgorod State Technological University named after V.G. Shukhov, 2020, pp. 590–593.
- [24] Simonds J. *Landschaft i arkhitektura* [Landscape and architecture]. Moscow: Stroyizdat, 1965, 193 p.
- [25] Zalesskaya L.S. *Landschaftnaya arkhitektura* [Landscape architecture]. Moscow: Stroyizdat, 1979, 237 p.
- [26] Nefedov V.A. *Landschaftnyy dizayn i ustoychivost' sredy* [Landscape design and environmental sustainability]. St. Petersburg: Polygraphist, 2002, 295 p.
- [27] Burakov R.A., Ovchinnikov I.G. *Razrabotka i analiz variantov proekta transportno-peshekhodnogo peresecheniya gorodskikh ulits v krupnom gorode* [Development and analysis of project options for a transport and pedestrian intersection of city streets in a large city]. *Vestnik evraziyskoy nauki* [Bulletin of Eurasian Science], 2021, v. 13, no. 2, p. 5.
- [28] Krashenninnikov A.V. *Kognitivnaya urbanistika: arkhetyipy i prototipy gorodskoy sredy* [Cognitive urbanism: archetypes and prototypes of the urban environment]. Moscow: Kurs, 2020, 209 p.
- [29] Fedorov V.V., Khanygin D.A., Ovcharova A.Zh., Korotaeva Z.V. *Traditsii i innovatsii v arkhitekturnom obrazovanii: sreda kak mekhanizm kul'turnoy pamyati* [Traditions and innovations in architectural education: the environment as a mechanism of cultural memory]. *Rol' innovatsionnoy deyatel'nosti v obespechenii kachestva obrazovaniya* [The role of innovation in ensuring the quality of education]. Ed. V.B. Petropavlovsk, 2015, pp. 86–93.
- [30] Shunel'ko E.V. *Mnogokomponentnaya bioindikatsiya gorodskikh transportno-selitebnykh landschaftov* [Multicomponent bioindication of urban transport and residential landscapes]. Diss. Cand. Sci. ([Biol.], 03.00.16. Voronezh, 2000, 22 p.
- [31] Ivanova N.V., Dubov I.A., Nazarov K.R., Muradov I.S. *Proektirovaniye neallergennoy ozeleneniya urbanizirovannykh territoriy* [Designing non-allergenic landscaping of urbanized territories]. *Vestnik Volgogradskogo gosudarstvennogo arkhitekturno-stroitel'nogo universiteta. Seriya: Stroitel'stvo i arkhitektura* [Bulletin of the Volgograd State University of Architecture and Civil Engineering. Series: Construction and Architecture], 2021, no. 4 (85), pp. 230–242.
- [32] Sergeeva K.A. *Fiziologicheskies i biokhimicheskie osnovy zimostoykosti drevesnykh rasteniy* [Physiological and biochemical bases of winter hardiness of woody plants]. Moscow: Nauka, 1971, 174 p.
- [33] Anuchin N.P. *Lesnaya taksatsiya* [Forest taxation]. Moscow: Lesnaya industry, 1982, 512 p.

- [34] Lakin G.F. *Biometriya* [Biometrics]. Moscow: [Higher School], 1990, 350 p.
- [35] Vorob'eva L.A., Lopukhina O.V., Salpagarova I.A. *Teoriya i praktika khimicheskogo analiza pochv* [Theory and practice of soil chemical analysis]. Moscow: Geos, 2006, 400 p.
- [36] Shimanyuk A.P. *Dendrologiya* [Dendrology]. Moscow: Lesnaya prom-st' [Forest industry], 1967, 334 p.
- [37] Goryshina T.K. *Ekologiya rasteniy* [Plant ecology]. Moscow: Vysshaya shkola [Higher school], 1979, 368 p.
- [38] Ul'yanova O.A. *Ispol'zovanie drevesnoy kory i iseolitov pri vyrashchivanii dekorativnykh kul'tur* [The use of wood bark and zeolites in the cultivation of ornamental crops]. *Agrokhimiya* [Agrochemistry], 2002, no. 7, pp. 47–55.
- [39] Azhgikhin S.G., Denisenko A.A., Truboba V.V. *Osobennosti funktsional'nogo zonirovaniya pri proektirovanii detskikh lagerey* [Features of functional zoning in the design of children's camps]. *Sinergiya nauk* [Synergy of Sciences], 2017, no. 18, pp. 1294–1298.
- [40] Gal'perin L.Yu. *Solnechnyy pionerskiy gorodok* [Sunny pioneer town. In the book. Scientific and design works (LENZNIEP)], collection III I, L., 1966, pp. 173–179.
- [41] MDC «Artek». Available at: <https://artek.org/> (accessed 06.22.2023).
- [42] *Obrazovatel'nyy kompleks «Tochka budushchego» v Irkutske* [The educational complex «Point of the Future» in Irkutsk]. Available at: <https://archi.ru/projects/world/15318/obrazovatelnyi-kompleks-tochkabudushegov-irkutske> (accessed 06.22.2023).
- [43] *Obrazovatel'nyy tsentr dlya odarennykh detey «Sirius»* [Sirius Educational Center for Gifted Children]. Available at: <https://archi.ru/projects/russia/14368/obrazovatelnyicentr-dlya-odarennykh-deteisirius> (accessed 06.22.2023).
- [44] Ivanova G.I. *Printsipy formirovaniya arkhitekturno-prostranstvennoy sredy s uchetom osobennostey vozrastnogo vospriyatiya* [Principles of the formation of an architectural and spatial environment taking into account the peculiarities of age perception]. Dis. Cand. Architecture. Moscow: 1979, 165 p.
- [45] Geyl Ya. *Goroda dlya lyudey* [Cities for people]. Moscow: Alpina Publisher, 2012, 276 p.
- [46] Frolov A.K. *Okruzhayushchaya sreda krupnogo goroda i zhizn' rasteniy v nem* [The environment of a large city and the life of plants in it]. St. Petersburg: Nauka, 1996, 328 p.

Authors' information

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

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

Dyakonova Anastasia Andreevna — Student of the Voronezh State Technical University, nastya.dyakonova.2000@gmail.com

Received 05.02.2025.

Approved after review 25.03.2025.

Accepted for publication 03.04.2025.

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

ИНГИБИТОРЫ КОРРОЗИИ НА ОСНОВЕ СОЕДИНЕНИЙ РАСТИТЕЛЬНОГО ПРОИСХОЖДЕНИЯ

Г.Л. Олиференко^{1✉}, А.К. Грибанова¹, А.Н. Иванкин¹,
Р.К. Вагапов², А.В. Устюгов³

¹МГТУ им. Н.Э. Баумана (Мытищинский филиал), Россия, 141005, Московская обл., г. Мытищи, ул. 1-я Институтская, д. 1

²ООО «Научно-исследовательский институт природных газов и газовых технологий — Газпром ВНИИГАЗ», Россия, 142717, Московская обл., г.о. Ленинский, п. Развилка, ул. Газовиков, зд. 15, стр. 1

³ФГБОУ ВО «МИРЭА — Российский технологический университет» (РТУ МИРЭА), Россия, 119454, г. Москва, Проспект Вернадского, д. 78

oliferenko2@inbox.ru

Представлены материалы исследований по выбору ингибиторов коррозии на основе экстрактов коры древесины. Определены оптимальные условия получения экстрактов из коры сосны и коры ели. Водные экстракты коры сосны и коры ели изучены в качестве ингибиторов кислотной коррозии стали марки Ст3. Коррозионные испытания образцов стали проведены в условиях, моделирующих промышленную соляно-кислотную промывку и очистку варочного и теплообменного оборудования от накипи и отложений в целлюлозно-бумажной промышленности. Установлена высокая защитная эффективность предложенных зеленых ингибиторов.

Ключевые слова: коррозия металлов, ингибиторы коррозии, экологически безопасные зеленые ингибиторы, экстракты коры древесины

Ссылка для цитирования: Олиференко Г.Л., Грибанова А.К., Иванкин А.Н., Вагапов Р.К., Устюгов А.В. Ингибиторы коррозии на основе соединений растительного происхождения // Лесной вестник / Forestry Bulletin, 2025. Т. 29. № 3. С. 156–168. DOI: 10.18698/2542-1468-2025-3-156-168

Одной из самых распространенных проблем мировой экономики во многих отраслях является коррозия металлов, которая оказывает влияние как на оборудование, так и на производство в целом [1]. В связи с этим исследование коррозионных процессов и разработка методов защиты металлов от коррозии относятся к актуальным научно-техническим задачам. Кроме того, коррозия металлов приводит к огромным убыткам, поэтому разрешение существующей проблемы является важной задачей экономики [2]. Основным ущерб, причиняемый коррозией, заключается не только в потере металла как такового, но и в огромной стоимости изделий, разрушаемых коррозией. Истинные убытки от коррозии нельзя определить, оценив только прямые потери, в частности, стоимость разрушившейся конструкции, стоимость замены оборудования, затраты на мероприятия по защите от коррозии. Еще больший ущерб составляют косвенные потери — простой оборудования при замене разрушенных вследствие коррозии деталей и узлов, утечка продуктов, нарушение технологических процессов [1, 2].

Особое значение проблема коррозии металлов приобретает в таких отраслях, как химическое производство, теплоэнергетика, нефтегазовая промышленность, в которых оборудование функционирует при высоких значениях температуры и давления, а также в агрессивной среде [1–3]. Внутренней коррозии значительно подвергаются объекты транспортировки природного сырья (газопроводы и нефтепроводы), оборудование предприятий топливно-энергетического комплекса, химической и нефтехимической, лесной, целлюлозно-бумажной (ЦБП), гидролизной и лесохимической промышленности [3–5].

Такое технологическое оборудование предприятий химической переработки древесины, как варочные котлы и подогреватели варочного щелока для производства целлюлозы, реакторы для гидролиза древесины, реторты для пиролиза древесины, трубы и детали печной арматуры, теплообменники, испарители и другое при длительной эксплуатации подвергается коррозии под воздействием той или иной агрессивной среды (паров, газов, щелока, растворов кислот) [6–8].

Например, используемые для сульфатной варки целлюлозы моно- и биметаллические котлы (корпус из котельной стали марки 20К, защитный плакирующий слой из аустенитной

нержавеющей стали марки 10X18H10T или марки 10X17H13M2T) при длительной эксплуатации под воздействием щелока, парогазов и ингибированной соляной кислоты, применяемой для промывки котлов подвергаются коррозии — возникают потемнения, питтинги, язвы, растрескивания, развивается коррозия сварных швов и околошовных зон [7, 8]. Кроме того, нарушение устойчивого пассивного состояния обусловлено различными технологическими факторами варки целлюлозы — скачками температуры, давления и изменениями состава варочных растворов, выявление которых затруднено. Как известно, относительно простой в начале варки состав варочных растворов значительно усложняется к концу варок [7]. Производственные помещения варочных отделов, отбельных производств ЦБП также загрязнены агрессивными газами (SO_2 , Cl_2 и др.). Конденсация влаги на стальных конструкциях усиливает их коррозионное воздействие [9, 10]. Установлено, что активирующее воздействие на коррозию котельных марок стали в белом щелоке оказывают гидросульфид- (HS^-), сульфид- (S^{2-}), гидроксид-ионы (OH^-), а ингибиторный эффект проявляют силикат-ионы (SiO_3^{2-}) при концентрации 0,2...2 г/л; карбонат-ионы (CO_3^{2-}) уменьшают, а сульфит-ионы (SO_3^{2-}) с концентрацией 0,06...2,5 г/л влияют на скорость коррозии в малой степени. Хлорид-ионы совместно с тиосульфат- и сульфат-ионами активируют питтинговую коррозию аустенитной котельной стали марки 10X18H10T, причем влияние хлоридов в 4–5 раз сильнее [7, 10].

Самым агрессивным с точки зрения коррозии металлов является кислый сульфитный способ варки целлюлозы [8]. Установлено, что в этом случае основным агрессивным компонентом в технологических средах ЦБП является диоксид серы SO_2 [8].

В гидролизном производстве коррозионная активность технологической среды обусловлена преимущественно присутствием кислот (H_2SO_4 , HCl) и образующимися продуктами гидролиза [7, 11]. Причиной коррозии оборудования гидролизной промышленности может стать диоксид углерода CO_2 как один из продуктов гидролитического расщепления целлюлозы. В водном растворе диоксид углерода может находиться в растворенной форме, а также в виде недиссоциированных молекул угольной кислоты, гидрокарбонат-ионов (HCO_3^-) и карбонат-ионов (CO_3^{2-}). В этом случае вследствие электрохимического взаимодействия с поверхностью металла протекает так называемая уголекислотная коррозия [4].

Нагревание древесины без доступа кислорода приводит к ее термическому разложению

(пиролизу) с образованием разнообразных газообразных, жидких и твердых продуктов [12, 13]. При охлаждении эти продукты можно подразделить на водный слой (содержит метанол и уксусную кислоту) и древесную смолу, в состав которой входят спирты, фенолы, органические кислоты и др. Неконденсируемые газы содержат монооксид углерода (CO), диоксид углерода, метан, небольшие количества других углеводородов и водород. При пиролизе трубы печей, детали печной арматуры пиролизных установок, реторты пиролиза подвергаются газовой коррозии в результате химического взаимодействия с металлом [13]. В частности, в присутствии диоксида углерода при повышенных значениях температуры и давления происходит обезуглероживание стали и обеднение ее другими компонентами [1, 14]. Диоксид углерода оказывается опасным даже для никеля, особенно в присутствии сернистого газа и сероводорода. При высоких значениях температуры с диоксидом углерода также энергично взаимодействуют молибден и ниобий [1].

На нефтегазовых объектах, в трубопроводах проблемы коррозионного характера часто возникают вследствие повышенного содержания диоксида углерода CO_2 [4, 5]. Углекислотная коррозия является одним из основных разрушающих факторов при эксплуатации стальных трубных изделий [4, 5, 15]. Основная опасность данного вида коррозии состоит в том, что она носит локальный характер: на общем фоне равномерного растворения металла выделяются отдельные участки с наиболее интенсивной коррозией, что приводит к образованию глубоких (и даже сквозных) питтингов или коррозионных язв [15, 16]. В результате уголекислотной коррозии на поверхности металлической стенки оборудования образуются твердые отложения карбоната железа (II) (FeCO_3), которые выполняют функцию барьерных элементов и препятствуют дальнейшему развитию коррозионного процесса [14]. Однако при недостаточной эффективности и сплошности пленки карбоната железа (II) FeCO_3 коррозионные поражения стали при наличии CO_2 носят локальный характер и проявляются в виде питтингов и язв различных размеров. Локальная коррозия в этих местах может достигать нескольких миллиметров в год. В связи с этим проблеме коррозионных рисков в результате уголекислотной коррозии (УКК) и борьбе ней уделяется повышенное внимание.

Агрессивным газом, провоцирующим кислотную коррозию, также является сероводород H_2S . Растворяясь в воде, он образует слабую кислоту, которая может вызвать точечную

коррозию при наличии кислорода или диоксида углерода и оказывает интенсивное разрушающее действие на конструкционные материалы (трубопроводы, оборудование и т. д.) [1, 17]. Сероводород обладает уникальными агрессивными свойствами и вызывает коррозионное повреждение оборудования в результате электрохимической, а возможно, и химической, коррозии и водородного охрупчивания [1, 17]. Сероводородная коррозия — одна из наиболее серьезных причин внутренней коррозии при эксплуатации оборудования в широком диапазоне сред и условий [17, 18]. Под воздействием коррозионно-активных жидких сред с компонентами сульфидов существует опасность преждевременного разрушения сосудов и аппаратов давления, резервуаров, трубопроводов [19]. Для случаев, когда при технологических процессах среда содержит значительное количество сероводорода, также используют термин «сероводородное растрескивание» [1]. Компоненты углеводородной фазы (бензин, пропан, этан и т. д.), повышая растворимость сероводорода H_2S , вызывают растрескивание в водной фазе на металлической стенке внутренней поверхности элементов конструкции или трубопроводов [17, 19].

Таким образом, разработка комплекса мероприятий по защите металлических изделий и конструкций является одной из актуальных научно-технических задач.

Известно, что эффективным и экономически целесообразным способом защиты металлов от коррозии является применение ингибиторов коррозии [20–22]. Ингибиторы коррозии представляют собой либо органические, либо неорганические химические вещества, которые добавляются в небольших количествах (0,01...1,0 г/л) в коррозионную среду, для того чтобы задержать или уменьшить процесс коррозии защищаемой поверхности [20, 23]. Ингибиторы обладают свойством создавать на поверхности металла очень тонкую пленку вследствие адсорбции ингибитора или вследствие образования с ионами металла труднорастворимых соединений, что обеспечивает защиту металла [22–25].

Эффективность ингибиторного способа защиты оценивается по двум показателям: 1) скорость коррозии (в присутствии ингибитора); 2) степень защиты металла [17, 20, 25]. Ингибитор взаимодействует исключительно с поверхностью металла, его количество по сравнению с общим составом агрессивной среды относительно невелико. Механизм действия ингибиторов сложен и индивидуален, в зависимости от условий применения, его невозможно

объяснить с помощью универсальной теории. В настоящее время действие ингибиторов объясняется преимущественно адсорбционной и пленочной теориями [5, 17]. Ингибитор физически или химически адсорбируется на поверхности металла с образованием ингибиторной пленки, от сил сцепления которой с поверхностью металла будет зависеть эффективность защиты от внутренней коррозии. На защитные свойства ингибиторов влияют конкретные условия эксплуатации, состав водной фазы, динамический фактор (наличие или отсутствие перемешивания), тип коррозии (углекислотный или сероводородный) и др. Поэтому определенное химическое соединение может быть ингибитором коррозии одного металла и, одновременно, в той же среде стимулировать коррозию другого металла [5, 17, 25].

В настоящее время изучено огромное количество органических и неорганических веществ, которые оказывают влияние на скорость коррождения металлов [20, 21, 23]. Находят применение преимущественно органические ингибиторы, поскольку они способны образовывать защитные пленки на поверхности металлов [26–29].

Эффективность ингибирующего действия большинства органических соединений определяется их адсорбционной способностью при контакте с поверхностью металла. Как правило, эта способность достаточно велика вследствие наличия в молекулах атомов или функциональных групп, обеспечивающих активное адсорбционное взаимодействие ингибитора с металлом. Такими активными группами могут быть азот-, серо-, кислород- и фосфорсодержащие группы, которые адсорбируются на металле благодаря донорно-акцепторным и водородным связям [20, 23].

Наиболее широко распространены ингибиторы на основе азотсодержащих соединений. Защитный эффект проявляют алифатические амины и их соли, аминоспирты, аминокислоты, азометины, анилины, гидразиды, имиды, акрилонитрилы, имины, азотсодержащие пятичленные (бензимидазолы, имидазолины, бензотриазолы и т. д.) и шестичленные (пиридины, хинолины, пиперидины и т. д.) гетероциклы. Нашли применение пираны, пирины, диоксаны, фенолы, циклические и линейные эфиры, эфиры аллиловых спиртов, бензальдегиды и бензойные кислоты, димочевины, спирты, фураны, диоксоланы, ацетали, диоксоцикланы, тиокрезол, меркаптаны (тиолы) и др. [20, 23].

К настоящему времени известны десятки индивидуальных веществ и смесей на их основе в качестве эффективных замедлителей кор-

розии, которые выявлены эмпирическим путем на основе прямых коррозионных испытаний. Таким образом, ассортимент химических веществ, снижающих скорость коррозии, довольно широк. Однако универсальные ингибиторы коррозии не найдены. В каждом конкретном случае наибольший эффект оказывает весьма ограниченное количество веществ [20, 30]. С этой точки зрения поиск новых эффективных ингибиторов составляет актуальную задачу, не теряющую свою значимость в настоящее время.

Кроме того, большинство ингибиторов токсичны и не совсем соответствуют требованиям, предъявляемым к стандартам охраны окружающей среды. Именно по этой причине в последние годы усилия исследователей направлены на разработку новых экологически чистых ингибиторов. Было установлено, что для снижения скорости коррозии можно использовать натуральные продукты, растения и их экстракты [30, 31]. Данное направление исследований называют зеленой химией, а вещества соответственно зелеными ингибиторами [30]. Природные вещества достаточно легкодоступны, производятся из возобновляемых источников и, что немаловажно, обладают низкой экологической нагрузкой.

Особо следует отметить, что источниками экологически чистых ингибиторов могут быть нетоксичные и возобновляемые растительные отходы [32–36].

На подавляющем большинстве деревообрабатывающих предприятий древесные отходы (опилки, стружку, кору и др.) вывозят в отвалы, которые загрязняют окружающую среду. Вместо того чтобы получать прибыль от использования древесных отходов, например коры как вторичного древесного ресурса, предприятие вынуждено тратить денежные средства на утилизацию и содержание площадей для хранения отходов, уборку мест отвалов [12, 13].

Известно, что древесное сырье имеет в своем составе множество полезных компонентов [12, 37]. Даже из древесных отходов (древесная зелень, опилки, стружки, кора) с помощью экстракции можно извлечь ценные вещества [12]. Таким образом, данное доступное невостребованное сырье становится ценным благодаря получаемым из него продуктам.

Особо значимым ресурсом, из которого можно получить целевые продукты, является древесная кора. Ассортимент экстрактивных веществ коры древесины чрезвычайно разнообразен: он представлен спиртами, фенолами, альдегидами, кетонами, карбоновыми кислотами, амидами, лактонами, лигнанами, хинонами, производными альфа- и гамма-пирона, восками

и жирами, терпенами и смоляными кислотами, глюкозидами, флаванолами, алкалоидами, дубильными веществами, белками и другими веществами, потенциально влияющими на коррозионные изменения металлов [13, 37].

Одним из важнейших компонентов экстрактивных веществ коры древесины являются танины (дубильные вещества) — группа водорастворимых веществ ароматического характера [37]. Танины (таниды, танины или танниды) — ароматические, полифенольные соединения с большим количеством гидроксильных групп и молекулярной массой от 500 до 20 000 а. е. м., которые обладают характерными вяжущими свойствами, что придает им отличные ингибиторные свойства. По общепринятой классификации их подразделяют на гидролизуемые и конденсированные [12, 37]. Гидролизуемые танины являются сложными эфирами моносахаридов, главным образом глюкозы, и фенилкарбоновых кислот (галловой, дигалловой, эллаговой и др.). Их, в свою очередь, подразделяют на галлотанины, которые при гидролизе дают галловую кислоту, и эллаготанины, дающие при гидролизе кроме галловой эллаговую кислоту или биогенетически родственные ей кислоты [12]. Конденсированные танины не способны к гидролизу с образованием более простых соединений. К ним относят разнообразные по строению полигидроксифенольные соединения — производные флаванолов-3, флавандиолов-3,4 и гидроксистильбенов [12].

Из литературных данных известно, что эффективность ингибирующих свойств растительных экстрактов тем выше, чем выше в них содержание танинов [34, 36]. Характерной особенностью полифенолов является сорбционная активность, обусловленная их способностью адсорбироваться на влажной поверхности металла посредством водородных связей, а также комплексообразующая способность [34]. Фенольные группировки танинов проявляют антиоксидантную активность, образуя с катионами железа (III) прочные комплексные соединения [34, 38, 39].

Экстракты танинов образуют таннатные пленки на железных и стальных поверхностях и предохраняют металл от коррозии [33, 40]. В технологии окрашивания раствор танинов наносят на чистую металлическую поверхность вместо предварительной обработки фосфатом. Для этих целей наиболее пригодны гидролизуемые танины, которые придают металлам большую устойчивость против атмосферных воздействий, чем конденсированные танины [40, 41].

Способность танинов образовывать прочные соединения с солями трехвалентного железа позволяет также использовать их в качестве «преобразователей ржавчины» перед покраской окисленных железных поверхностей [37].

Предполагается, что фенольные группировки танинов ингибируют коррозию металла за счет образования с катионом железа (III) прочного комплексного соединения подобно оксидной пленке [33, 34].

Цель работы

Цель работы — исследования по выбору ингибиторов коррозии на основе экстрактов коры древесины, как важное техническое решение не только в области защиты металлов от коррозии, но и проблемы утилизации многотоннажных отходов деревообрабатывающих предприятий.

Экспериментальная часть

Выбор оптимальных условий получения экстрактов. В качестве ингибиторов коррозии исследовались водные экстракты коры ели (*Picea abies*) и коры сосны (*Pinaceae*).

Использование в качестве экстрагента воды обусловлено высоким содержанием в коре веществ, экстрагируемых водой [37]. Также нами было установлено, что добавление этанола к экстрактам снижало их устойчивость при хранении, что нежелательно при использовании, например, в качестве ингибиторов коррозии.

Эффективность экстрагирования зависит от некоторых факторов [12]: вида сырья, степени его измельчения, температуры, продолжительности экстракции, соотношения количества экстрагента и массы сырья.

Температура является важнейшим фактором [12]: чем выше температура экстрагирования, тем больше скорость диффузии и тем больше извлекается танинов из коры, но и тем больше танины разлагаются (при температуре 180...200 °C они разлагаются почти полностью). Увеличение продолжительности экстрагирования повышает выход танинов. Однако чем больше его продолжительность, тем сильнее они разлагаются.

Для подтверждения технологических режимов и условий экстракции на основании научно-технической литературы и ранее проведенных нами исследований, были поставлены модельные опыты с навесками сухих образцов коры. Перед приготовлением экстрактов кору высушивали и измельчали до размеров частиц 3...10 мм, но не до состояния муки, так как в такой средней фракции содержится максималь-

ное количество дубильных веществ. Установлено, что из данной фракции очень хорошо выделяются танины при экстрагировании в аквасистемах, по сравнению с более крупной фракцией. Более мелкая фракция содержит много частиц песка, которые мешают отделению экстракта от коры [33]. Следует иметь в виду, что слой мелких частиц может стать довольно плотным, что ухудшает контакт частиц с окружающей жидкостью.

Экстракт готовили следующим образом. В колбу емкостью 500 мл помещали 20 г высушенной и измельченной коры и добавляли 200 мл дистиллированной воды. Колбу устанавливали в водяную баню и нагревали с обратным холодильником при 90...95 °C на электрической плитке в течение 1 ч, не доводя до кипения. Экстрагирование в данных условиях наиболее оптимально, поскольку при более высокой температуре структура танинов может необратимо разрушаться. А при длительном экстрагировании выделенные танины начинают обратно адсорбироваться на поверхности коры с частичным разложением [33, 42]. После отстаивания и охлаждения содержимого колбы водный экстракт отфильтровывали через плотный фильтр. Водный экстракт коры ели представлял собой прозрачную жидкость темно-коричневого цвета со специфическим приятным запахом. Экстракт коры сосны отличался более светлым оттенком, нежели экстракт ели, и также имел характерный приятный запах.

Определение концентрации экстрактов проводили по методу сухого остатка следующим образом [43, 44]. Экстракт в количестве 10 мл с помощью пипетки помещали в предварительно взвешенную фарфоровую чашку, упаривали и сушили при температуре 40...60 °C в сушильном шкафу, охлаждали в эксикаторе и взвешивали чашку с остатком на аналитических весах. Средняя концентрация экстракта сосны составляла 3,4 мг/мл, экстракта ели — 6 мг/мл.

При дальнейших испытаниях полученные экстракты добавляли в коррозионную среду в количестве 0,2...2 г/л (50...300 мл/л).

Изучение водных экстрактов коры древесины в качестве ингибиторов коррозии. Эффективность полученных экстрактов как ингибиторов коррозии оценивали по отношению к стали марки Ст3. В качестве коррозионной среды использовали 5%-й раствор соляной кислоты (HCl). Коррозионные испытания образцов стали проводили в условиях, моделирующих промышленную соляно-кислотную промывку и очистку варочного и теплообменного оборудования от накипи и отложений в ЦБП [7, 10].

Для оценки показателей коррозии был выбран гравиметрический метода анализа, основанный на определении изменения массы стальных образцов за время их пребывания в неингибированной и ингибированной испытательных агрессивных средах.

Испытания для определения массового показателя коррозии проводили в соответствии с требованиями ГОСТ 9. 908–85, время испытаний составляло от 8 до 168 ч [45]. Образцами для испытаний служили плоские образцы (пластины) размером 50×20×2 мм.

Металлические образцы перед опытом обезжиривали ацетоном, высушивали фильтровальной бумагой, выдерживали в эксикаторе, содержащем поглотитель влаги (прокаленный хлорид кальция CaCl_2) в течение 1 ч, затем взвешивали на аналитических весах.

По истечении времени выдержки в испытательной среде образцы извлекали, промывали в проточной воде, проводили внешний осмотр, отмечая вид продуктов коррозии и коррозионных повреждений.

Поверхность образцов освобождали от продуктов коррозии, промывали дистиллированной водой, протирали фильтровальной бумагой, выдерживали в течение 1 ч над поглотителем влаги в эксикаторе и повторно взвешивали. В каждом режиме проводили не менее двух параллельных испытаний в образцах и не менее трех для каждого испытания. Время испытания образцов в ингибированной и неингибированной испытательных средах было одинаковым.

По убыли массы находили количественные показатели коррозии: среднюю скорость коррозии, степень защиты или защитное действие от коррозии, ингибиторный эффект [7].

Скорость коррозии рассчитывали по формуле

$$K = \frac{\Delta m}{S \tau},$$

где K — скорость коррозии, г/(м²·ч);

Δm — уменьшение массы стального образца, г;

S — площадь поверхности образца, м²;

τ — время испытания, ч.

Защитную эффективность (в процентах) рассчитывали по формуле

$$Z = \frac{K_o - K_{\text{и}}}{K_o} 100 \%,$$

где Z — защитная эффективность, %;

K_o — скорость коррозии образцов в отсутствии ингибитора, г/(м²·ч);

$K_{\text{и}}$ — скорость коррозии образцов в присутствии ингибитора, г/(м²·ч).

Ингибиторный эффект γ показывает, во сколько раз ингибитор уменьшает скорость коррозии, и вычисляется по формуле

$$\gamma = \frac{K_o}{K_{\text{и}}}.$$

Серией опытов было показано, что оптимальная концентрация в коррозионной среде для экстракта коры сосны составляет 0,7...1,0 г/л, для экстракта коры ели — 0,8...1,5 г/л. Дальнейшее повышение концентрации ингибитора в коррозионной среде не приводило к увеличению степени защиты и не было целесообразным.

Результаты и обсуждение

Проведены гравиметрические исследования защитной эффективности экстрактов коры сосны и коры ели (табл. 1, 2).

Установлено, что выбранные растительные экстракты проявили хорошее ингибирующее действие. Степень защиты составила 86,4...87,4 % при использовании в качестве ингибитора кислотной коррозии экстракта коры сосны; 85,3...89,4 % — в случае использования экстракта коры ели. Скорость коррозии при оптимальной концентрации экстрактов снижалась в 8–9,5 раз. Полученные данные свидетельствуют о высокой защитной эффективности предложенных зеленых ингибиторов. Как известно, если $Z = 57...89$ % ($\gamma = 2,3...9,1$), ингибитор считается хорошим, при $Z \geq 90$ % ($\gamma \geq 10$) — превосходным [7].

Следует отметить, что образцы, выдержанные в растворе соляной кислоты без ингибитора, были покрыты рыхлыми, серо-бурыми продуктами коррозии, тогда как в растворах с добавкой растительных экстрактов — поверхность образцов не имела следов разрушений в течение всего периода исследования.

Проведено сравнение противокоррозионной активности изученных экстрактов коры (табл. 3), где для сравнения приведены данные по защитному действию широко известного ингибитора уротропина [7].

Механизм действия разработанных ингибиторов в значительной степени обусловлен хемосорбцией химически активных компонентов на поверхности металла и образованием пленки, которая изолирует эту поверхность от агрессивного воздействия среды. Компонентами растительных экстрактов, способными существенно влиять на коррозионный процесс, являются дубильные вещества (таннины), а также угле-

Т а б л и ц а 1

Гравиметрические исследования противокоррозионной активности экстракта коры сосны на образце стали марки Ст3 в 5%-й соляной кислоте HCl ($T = 298\text{ K}$, $\tau = 22\text{ ч}$)

Gravimetric studies of the anticorrosion activity of pine bark extract on St3 in 5 % HCl ($T = 298\text{ K}$, $\tau = 22\text{ h}$) of the anticorrosion activity of pine bark extract on St3 steel sample in 5% hydrochloric acid HCl ($T = 298\text{ K}$, $\tau = 22\text{ h}$)

Концентрация ингибитора C , г/л	Уменьшение массы образца Δm , г	Скорость коррозии K , г/(м ² ·ч)	Ингибиторный эффект γ	Защитная эффективность Z , %
Без ингибитора	0,0207	5,379122	—	—
0,17	0,0055	1,434388	3,75	73,33
0,34	0,0051	1,320548	4,07	75,45
0,51	0,0040	1,051913	5,11	80,44
0,68	0,0028	0,732876	7,34	86,38
0,85	0,0027	0,691686	7,78	87,14
1,02	0,0026	0,678074	7,93	87,39
1,19	0,0450	0,939875	5,72	82,53

Т а б л и ц а 2

Гравиметрические исследования противокоррозионной активности экстракта коры ели на образце стали марки Ст3 в 5%-й соляной кислоте HCl ($T = 298\text{ K}$, $\tau = 22\text{ ч}$)

Gravimetric studies of the anticorrosion activity of spruce bark extract on St3 in 5 % HCl ($T = 298\text{ K}$, $\tau = 22\text{ h}$)

Концентрация ингибитора C , г/л	Уменьшение массы образца Δm , г	Скорость коррозии K , г/(м ² ·ч)	Ингибиторный эффект γ	Защитная эффективность Z , %
Без ингибитора	0,0198	5,108548	—	—
0,3	0,0038	1,010335	5,06	80,22
0,6	0,0039	1,017111	5,026	80,09
0,8	0,0029	0,753597	6,78	85,25
1,0	0,0026	0,683743	7,47	86,62
1,2	0,0021	0,543755	9,39	89,36
1,5	0,0022	0,576456	8,86	88,72

воды, фенолы, аминокислоты, альдегиды [34]. Дубильные вещества — полифенолы (на долю фенольных гидроксильных групп приходится 15...30 % молекулярной массы) [36].

Характерная особенность полифенолов — сорбционная активность, обусловленная их способностью адсорбироваться на влажной поверхности металла посредством водородных связей, а также комплексообразующая активность, связанная с наличием в структуре гидроксильных и карбонильных групп, способных образовывать с катионами металла ионную или донорно-акцепторную связь [34]. Поскольку реакционноспособные группы находятся в орто-положении одна к другой, образующиеся при этом комплексы имеют хелатное строение и довольно устойчивы. Защита металла зависит от ориентации молекулы таннина относительно поверхности стали. При плоском размещении

могут образовываться устойчивые химические связи между гидроксильными группами таннина и атомами железа, тогда как при увеличении концентрации молекулы таннина размещаются перпендикулярно по отношению к поверхности образца и образуют темнофиолетовые легкоподвижные комплексные соединения с ионами железа. В этом случае при увеличении концентрации экстрактов растительных добавок степень защиты уменьшается, коррозионная среда приобретает фиолетовую окраску [34].

Предложенные в настоящей работе экстракты на основе растительного сырья являются экологически безопасными нетоксичными ингибиторами коррозии.

Следует отметить, что с экономической и экологической точек зрения экстракты растений — это отличная альтернатива синтетическим ингибиторам вследствие доступности и

Т а б л и ц а 3

**Противокоррозионная активность экстрактов коры сосны и коры ели
на образце стали марки Ст3 ($T = 298\text{ K}$, $\tau = 22\text{ ч}$)**

Anticorrosive activity of pine bark and spruce bark extracts on St3 ($T = 298\text{ K}$, $\tau = 22\text{ h}$)

Ингибитор	Концентрация ингибитора C , г/л	Скорость коррозии K , г/(м ² ·ч)	Ингибиторный эффект γ	Защитная эффективность Z , %
Без ингибитора	—	5,24	—	—
Уротропин	3,0	2,14	2,4	59,93
Экстракт коры сосны	1,0	0,68	7,7	87,39
Экстракт коры ели	1,2	0,54	9,7	89,36

биоразлагаемости. Растительные экстракты можно получить простыми способами с использованием доступных и дешевых растворителей, для них не требуется дополнительная очистка.

Отличительной особенностью процесса переработки коры является простота процесса ее подготовки, не требующая сложного и дорогостоящего оборудования, а также возможность использования как свежей, так и уже скопившейся в отвалах коры практически в неограниченных количествах.

Использование воды в качестве растворителя при экстрагировании сводит к нулю негативное воздействие на окружающую среду в отличие от других популярных ингибиторов коррозии, используемых в наши дни. Твердый остаток коры после экстракции является пористым углеродным материалом с высокой сорбирующей способностью — это его свойство используется для внесения азот- и фосфорсодержащих добавок, необходимых для производства качественных удобрений, а сам экстракт коры найдет свое применение в качестве замедлителя процесса разрушения металлических конструкций этого же предприятия.

Выводы

Использование промышленных древесных отходов для получения других продуктов обеспечит повышение степени использования исходного сырья и снижение материальных затрат на единицу выпускаемой продукции и, следовательно, ее себестоимость. При этом будет решена не только проблема более экономного использования сырья, вспомогательных материалов и энергоресурсов, но и проблема охраны окружающей среды. Кроме того, утилизация коры имеет большое экологическое и экономическое значение для предприятий химической переработки древесины. Окорка проводится на предприятиях ЦБП в ходе подготовки сырья. Ежегодные ресурсы коры

достигают 15...18 млн м³, значительная часть этого объема коры не находит сбыта и вывозится на свалки [12]. Предложенные ингибиторы коррозии (водные экстракты коры древесины) готовятся из дешевого и доступного сырья, производимого на территории РФ.

Список литературы

- [1] Кац Н.Г., Стариков В.П., Парфенова С.Н. Химическое сопротивление материалов и защита оборудования нефтегазопереработки. М.: Машиностроение, 2011. 436 с.
- [2] Пахомов В.С. Коррозия и защита теплообменного оборудования химических производств. Пенза: Изд-во ПЕНЗГТУ, 2013. 364 с.
- [3] Олиференко Г.Л., Иванкин А.Н., Устюгов А.В., Зарубина А.Н. Проблема коррозии технологического оборудования на предприятиях по химической переработке древесины (обзор) // Лесной вестник / Forestry Bulletin, 2021. Т. 25. № 3. С. 142–151. DOI: 10.18698/2542-1468-2021-3-142-151
- [4] Вагапов Р.К., Запечалов Д.Н., Ибатуллин К.А. Исследование коррозии объектов инфраструктуры газодобычи в присутствии CO₂ аналитическими методами контроля // Заводская лаборатория. Диагностика материалов, 2020. Т. 86. №10. С. 23–30.
- [5] Кантюков Р.Р., Запечалов Д.Н., Вагапов Р.К. Исследование коррозионной активности сред и стойкости используемых материалов в условиях присутствия агрессивного диоксида углерода // Известия высших учебных заведений. Черная металлургия, 2021. Т. 64. № 11. С. 793–801.
- [6] Замалетдинов И.И. Коррозия и защита металлов. Коррозия порошковых материалов. Пермь: Изд-во Пермского государственного технического университета, 2007. 188 с.
- [7] Коррозия и защита металлов и оборудования: методические указания / сост. Е.В. Школьников, И.Я. Киселев. СПб.: Изд-во СПбГЛТУ, 2014. 40 с.
- [8] Ермашева В.М. Коррозия нержавеющей стали в варочных средах целлюлозно-бумажной промышленности и технологические способы защиты от нее: дис. ... канд. хим. наук. Пермский университет. Пермь, 1996. 126 с.
- [9] Ананьева Г.Ф., Школьников Е.В., Ингибирующие добавки и коррозия котельной стали 20К // Бумажная промышленность, 1986. № 12. С. 26–27.

- [10] Школьников Е.В., Ананьева Г.Ф., Смирнов В.Д. Как снизить коррозию варочных котлов // Бумажная промышленность, 1988. № 12. С. 32–34.
- [11] Русских А.С. Разработка энергосберегающей технологии деполимеризации полисахаридов древесины: автореф. дис. ... канд. хим. наук. М., 1999. 21 с.
- [12] 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 / под ред. И.Н. Ковернинского. Архангельск: Изд-во Архангельского ГТУ, 2022. 347 с.
- [13] Комплексная химическая переработка древесины / сост. А.В. Буров, Р.Г. Алиев, Э.П. Терентьева и др. СПб.: Изд-во СПб ГТУРП, 2008. 61 с.
- [14] Вагапов Р.К., Михалкина О.Г. Исследование продуктов углекислотной коррозии методом рентгеновской дифракции // Заводская лаборатория. Диагностика материалов, 2022. Т. 88. № 9. С. 35–41.
- [15] Вагапов Р.К., Запечалов Д.Н., Ибатуллин К.А. Анализ воздействия основных факторов эксплуатации на коррозионную ситуацию на объектах добычи газа в присутствии диоксида углерода // Наука и техника в газовой промышленности, 2020. № 3 (83). С. 38–46.
- [16] Кантюков Р.Р., Запечалов Д.Н., Вагапов Р.К. Оценка опасности внутренней углекислотной коррозии по отношению к промысловым оборудованию и трубопроводам на газовых и газоконденсатных месторождениях // Безопасность труда в промышленности, 2021. № 2. С. 56–62.
- [17] Синютина С.Е., Вигдорович В.И. Современное состояние и проблема сероводородной коррозии металлов в растворах электролитов // Вестник ГТУ, 2002. Т. 7. Вып. 3. С. 319–328.
- [18] Томский И.С., Вагапов Р.К., Запечалов Д.Н. Оценка агрессивности добываемых сред при ингибировании от коррозии промысловых трубопроводов // Успехи в химии и химической технологии, 2021. Т. 35. № 5. С. 104–106.
- [19] Вагапов Р.К. Исследование наводороживания и коррозии стального оборудования и трубопроводов на объектах добычи H_2S -содержащего углеводородного сырья // Вопросы материаловедения, 2021. № 2 (106). С. 170–181. DOI: 10.22349/1994-6716-2021-106-2-170-181
- [20] Козлова Л.С., Сибилева С.В., Чесноков Д.В., Кутырев А.Е. Ингибиторы коррозии (обзор) // Авиационные материалы и технологии, 2015. № 2. С. 67–75.
- [21] Sheetal A., Singh A.K., Thakur S., Pani B., Singh M. Heterocyclic compounds as corrosion inhibitors for iron alloys in various industrial processes. A review // J. of Industrial and Engineering Chemistry, 2024, v. 130, no. 2, pp. 141–177. <https://doi.org/10.1016/j.jiec.2023.10.005>
- [22] Zamaletdinov I.I., Baryshnikov I.N. On the characteristic potentials of pitting corrosion of compact and powder steel // Protection of Metals and Physical Chemistry of Surfaces, 2017, v. 53, no. 7, pp. 1227–1234. DOI: 10.1134/S207020511707019X
- [23] Хайдарова Р.Г. Ингибиторы коррозии для защиты нефтепромыслового оборудования // Современные проблемы науки и образования, 2014. № 6. С. 1–8.
- [24] Фархутдинова А.Р., Мукатдисов Н.И., Елпидинский А.А., Гречехина А.А. Составы ингибиторов коррозии для различных сред // Вестник Казанского технологического университета, 2013. Т. 16. Вып. 4. С. 274–280.
- [25] Вигдорович В.И., Стрельникова К.О. Защитная эффективность системы «поверхностная пленка — ингибитор АМДОР ИК-7» в комбинированных сероводородно-углекислотных средах // Практика противокоррозионной защиты, 2012. № 2 (64). С. 4–12.
- [26] Chikhalikar A.S., Godbole E.P., Poerschke D.L. Approach for statistical analysis of oxide- and sulfate-induced hot corrosion of advanced alloys // Corrosion Science, 2023, v. 211, no. 2, p. 110892. <https://doi.org/10.1016/j.corsci.2022.110892>
- [27] Jafari H., Ameri E., Rezaeivala M., Berisha A. Experimental and theoretical studies on protecting steel against 0.5 M H_2SO_4 corrosion by new schiff base // J. of the Indian Chemical Society, 2022, v. 99, no. 9, p. 100665. <https://doi.org/10.1016/j.jics.2022.100665>
- [28] Fischer A., Telouk P., Wimmer M.A. The gross slip fretting corrosion mechanisms of biomedical ceramic-metal couples // Biotribology, 2023, v. 35–36, no. 12, p. 100252. <https://doi.org/10.1016/j.biotri.2023.100252>
- [29] Delavar H., Mostahsan A.J., Ibrahim H. Corrosion and corrosion-fatigue behavior of magnesium metal matrix composites for bio-implant applications. A review // J. of Magnesium and Alloys, 2023, v. 11, no. 4, pp. 1125–1161. <https://doi.org/10.1016/j.jma.2023.04.010>
- [30] Шипигузов И.А., Колесова О.В., Вахрушев В.В., Казанцев А.Л., Пойлов В.З., Лановецкий С.В., Черезова Л.А. Современные ингибиторы коррозии // Вестник ПНИПУ, 2016. № 1. С. 114–127.
- [31] 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>
- [32] Cheng H., Luo X., Wu X. Recent research progress on additive manufacturing of high-strength low-alloy steels: Focusing on the processing parameters, microstructures and properties // Materials Today Communications, 2023, v. 36, no. 8, p. 106616. <https://doi.org/10.1016/j.mtcomm.2023.106616>
- [33] Кузьмина И.Е. Разработка рецептуры преобразователя ржавчины на основе экстракта коры лиственницы. Северо-Якутск: Восточный федеральный университет им. М.К. Аммосова; Институт естественных наук, 2019. 64 с.
- [34] Савченко О.Н., Сизая О.И., Челябинова В.Н., Максименко А.А. Экстракты растительного сырья в ингибиторной защите стали // Физикохимия поверхности и защита материалов, 2018. Т. 54. № 3. С. 319–324. DOI: 10.7868/S0044185618030154
- [35] 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>
- [36] Паршутин В.В., Шолтоян Н.С., Сидельникова С.П., Коваль А.В., Булхак И.И., Болога О.А., Шофранский В.Н. Влияние водного экстракта плодов

- конского каштана на коррозию стали Ст3 в воде // Электронная обработка материалов, 2011. Т. 47. № 3. С. 90–99.
- [37] Кононов Г.Н. Дендрохимия. М.: МГУЛ, 2015. Т. 1. 480 с.
- [38] Verma C., Quraishi M.A., Alfantazi A., Rhee K.Y. Biodegradable synthetic polymers in sustainable corrosion protection. Present and future scenarios // Advanced Industrial and Engineering Polymer Research, 2023, v. 6, no. 10, pp. 407–435. <https://doi.org/10.1016/j.aiepr.2023.04.005>
- [39] Yoshimoto H., Fathona I.W., Yabuki A. Self-healing polymer coating with efficient delivery for alginates and calcium nitrite to provide corrosion protection for carbon steel // Colloids and Surfaces A: Physicochemical and Engineering Aspects, 2023, v. 662, no. 4, p. 130970. <https://doi.org/10.1016/j.colsurfa.2023.130970>
- [40] Экстрактивные вещества древесины и значение их в целлюлозно-бумажном производстве / под. ред. В.Е. Хиллиса. М.: Лесная пром-сть, 1965. 487 с.
- [41] Singhal T.S., Jain J.K. GMAW cladding on metals to impart anti-corrosiveness: Machine, processes and materials // Materials Today: Proceedings, 2020, v. 26, no. 2, pp. 2432–2441. <https://doi.org/10.1016/j.matpr.2020.02.518>
- [42] Тарасов С.М., Кононов Г.Н. Комплексная химическая переработка древесины. Технология лесохимических и гидролизных производств. М.: МГУЛ, 2016. 122 с.
- [43] Зарубина А.Н., Иванкин А.Н., Веревкин А.Н., Сердюкова Ю.В. Комплексная химическая переработка древесины. М.: МГУЛ, 2016. 37 с.
- [44] Оболенская А.В., Ельницкая З.П., Леонович А.А. Лабораторные работы по химии древесины и целлюлозы. М.: Экология, 1991. 320 с.
- [45] ГОСТ 9. 908–85. Единая система защиты от коррозии и старения. Металлы и сплавы. Методы определения показателей коррозии и коррозионной стойкости. Межгосударственный стандарт. М.: Изд-во стандартов, 1985. 79 с.

Сведения об авторах

Олиференко Галина Львовна✉ — канд. хим. наук, доцент, МГТУ им. Н.Э. Баумана (Мытищинский филиал), oliferenko2@inbox.ru

Грибанова Анастасия Константиновна — студент, МГТУ им. Н.Э. Баумана (Мытищинский филиал), boob1234@icloud.com

Иванкин Андрей Николаевич — д-р хим. наук, профессор, МГТУ им. Н.Э. Баумана (Мытищинский филиал), aivankin@bmstu.ru

Вагапов Руслан Кизитович — д-р техн. наук, начальник лаборатории защиты от атмосферной и внутренней коррозии КНТИЦ коррозионного мониторинга и защиты от коррозии, ООО «Научно-исследовательский институт природных газов и газовых технологий — Газпром ВНИИГАЗ», kizit@rambler.ru

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

Поступила в редакцию 14.02.2024.

Одобрено после рецензирования 22.11.2024.

Принята к публикации 24.02.2025.

CORROSION INHIBITORS BASED ON COMPOUNDS OF PLANT ORIGIN

G.L. Oliferenko¹✉, A.K. Gribanova¹, A.N. Ivankin¹,
R.K. Vagapov², A.V. Ustyugov³

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

²Scientific and Technical Center for Corrosion Monitoring and Corrosion Protection «Gazprom VNIIGAZ», 15, build. 1, Gazovikov st., 142717, Leninsky city district, settlement Razvilka, Moscow reg., Russia

³Russian Technological University RTU MIREA, 78, Vernadsky av., 119454, Moscow, Russia

oliferenko2@inbox.ru

The article studies the materials on corrosion inhibitors based on wood bark extracts. Optimal conditions for obtaining extracts from pine bark and spruce bark are determined. Aqueous extracts of pine bark and spruce bark have been studied as inhibitors of acid corrosion of St3 steel. Corrosion tests of steel samples were carried out under conditions modelling industrial salt-acid washing and cleaning of cooking and heat-exchange equipment from scale and deposits in the pulp and paper industry. High protective efficiency of the proposed «green inhibitors» has been established

Keywords: metal corrosion, corrosion inhibitors, environmentally friendly «green inhibitors», wood bark extracts

Suggested citation: Oliferenko G.L., Gribanova A.K., Ivankin A.N., Vagapov R.K., Ustyugov A.V. *Ingibitory korrozii na osnove soedineniy rastitel'nogo proiskhozhdeniya* [Corrosion inhibitors based on compounds of plant origin]. *Lesnoy vestnik / Forestry Bulletin*, 2025, vol. 29, no. 3, pp. 156–168.

DOI: 10.18698/2542-1468-2025-3-156-168

References

- [1] Katz N.G., Starikov V.P., Parfenova S.N. *Khimicheskoe soprotivlenie materialov i zashchita oborudovaniya neftegazopererabotki* [Chemical resistance of materials and protection of oil and gas processing equipment]. Moscow: Mashinostroenie, 2011, 436 p.
- [2] Pakhomov V.S. *Korroziya i zashchita teploobmennogo oborudovaniya khimicheskikh proizvodstv* [Corrosion and protection of heat exchange equipment of chemical industries: Monograph]. Penza: Izd-vo Penz. gos. tekhnol. un-ta [Penza State Technical University Publ.], 2013, 364 p.
- [3] Oliferenko G.L., Ivankin A.N., Ustyugov A.V., Zarubina A.N. *Problema korrozii tekhnologicheskogo oborudovaniya na predpriyatiyakh po khimicheskoy pererabotke drevesiny (obzor)* [Issue of technological equipment corrosion at chemical wood processing enterprises (review)]. *Lesnoy vestnik / Forestry Bulletin*, 2021, vol. 25, no. 3, pp. 142–151. DOI: 10.18698/2542-1468-2021-3-142-151
- [4] Vagapov R.K., Zapevalov D.N., Ibatullin K.A. *Issledovanie korrozii ob'ektov infrastruktury gazodobychi v prisutstvii CO₂, analiticheskimi metodami kontrolya* [Investigation of corrosion of gas production infrastructure facilities in the presence of CO₂ by analytical control methods]. *Zavodskaya laboratoriya. Diagnostika materialov* [Plant laboratory. Diagnostics of materials], 2020, v. 86, no. 10, pp. 23–30. DOI: 10.26896/1028-6861-2020-86-10-23-30
- [5] Kantyukov R.R., Zapevalov D.N., Vagapov R.K. *Issledovanie korroziionnoy aktivnosti sred i stoykosti ispol'zuemykh materialov v usloviyakh prisutstviya agressivnogo dioksida ugleroda* [Investigation of the corrosive activity of media and the resistance of materials used in the presence of aggressive carbon dioxide]. *Izvestiya vysshikh uchebnykh zavedeniy. Chernaya metallurgiya* [News of higher educational institutions. Ferrous metallurgy], 2021, v. 64, no. 11, pp. 793–801.
- [6] Zamaletdinov I.I. *Korroziya i zashchita metallov. Korroziya poroshkovykh materialov* [Corrosion and protection of metals. Corrosion of powder materials]. Perm: Izd-vo Perm. gos. tekhnol. un-ta [Perm State Technical University Publ.], 2007, 188 p.
- [7] Shkolnikov E.V., Kiselyov I.Ya. *Korroziya i zashchita metallov i oborudovaniya* [Corrosion and protection of metals and equipment]. St. Petersburg: SPbGLTU, 2014, 40 p.
- [8] Ermasheva V.M. *Korroziya nerzhavayushchikh staley v varochnykh sredakh tsellyulozno-bumazhnoy promyshlennosti i tekhnologicheskie sposoby zashchity ot nee* [Corrosion of stainless steels in cooking media of the pulp and paper industry and technological methods of protection against it]. Dis. Cand. Sci. (Chemical). Perm, Perm University, 1996, 126 p.
- [9] Ananyeva G.F., Shkolnikov E.V. *Ingibiruyushchie dobavki i korroziya kotel'noy stali 20K* [Inhibitory additives and corrosion of boiler steel 20K]. *Bumazhnaya promyshlennost'* [Paper industry], 1986, no. 12, pp. 26–27.
- [10] Shkolnikov E.V., Ananyeva G.F., Smirnov V.D. *Kak snizit' korroziyu varochnykh kotlov* [How to reduce the corrosion of digesters]. *Bumazhnaya promyshlennost'* [Paper industry], 1988, no. 12, pp. 32–34.
- [11] Russian A.S. *Razrabotka energosberegayushchey tekhnologii depolimerizatsii polisakharidov drevesiny* [Development of energy-saving technology for depolymerization of polysaccharides of wood]. Dis. Cand. Sci. (Chemical). Moscow, 1999, 21 p.

- [12] 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]. Ed. I.N. Koverninsky. Arkhangel'sk: Izd-vo Arkhangel'skogo GTU [Arkhangelsk State Technical University Publ.], 2022, 347 p.
- [13] Burov A.V., Aliyev R.G., Terentyeva E.P. *Kompleksnaya khimicheskaya pererabotka drevesiny* [Complex chemical processing of wood]. St. Petersburg: SPb GTURP, 2008, 61 p.
- [14] Vagapov R.K., Mikhalkina O.G. *Issledovanie produktov uglekislotoy korrozii metodom rentgenovskoy difraktsii* [Investigation of carbon dioxide corrosion products by X-ray diffraction method]. Zavodskaya laboratoriya. Diagnostika materialov [Plant laboratory. Diagnostics of materials], 2022, v. 88, no. 9, pp. 35–41. DOI: 10.26896/1028-6861-2022-88-9-35-41
- [15] Vagapov R.K., Zapevalov D.N., Ibatullin K.A. *Analiz vozdeystviya osnovnykh faktorov ekspluatatsii na korroziionnyu situatsiyu na ob'ektakh dobychi gaza v prisutstvi dioksida ugleroda* [Analysis of the impact of the main operational factors on the corrosive situation at gas production facilities in the presence of carbon dioxide]. Nauka i tekhnika v gazovoy promyshlennosti [Science and Technology in the Gas Industry], 2020, no. 3 (83), pp. 38–46.
- [16] Kantuykov R.R., Zapevalov D.N., Vagapov R.K. *Otsenka opasnosti vnutrenney uglekislotoy korrozii po otnosheniyu k promyslovym oborudovaniyu i truboprovodam na gazovykh i gazokondensatnykh mestorozhdeniyakh* [Assessment of the danger of internal carbon dioxide corrosion in relation to field equipment and pipelines at gas and gas condensate fields]. Bezopasnost' truda v promyshlennosti [Occupational Safety in Industry], 2021, no. 2, pp. 56–62.
- [17] Sinyutina S.E., Vigdorovich V.I. *Sovremennoe sostoyanie i problema serovodorodnoy korrozii metallov v rastvorakh elektrolitov* [The current state and problem of hydrogen sulfide corrosion of metals in electrolyte solutions]. Vestnik TGU [Bulletin of TSU], 2002, v. 7, no. 3, pp. 319–328.
- [18] Tomsky I.S., Vagapov R.K., Zapevalov D.N. *Otsenka agressivnosti dobyvaemykh sred pri ingibirovaniy ot korrozii promyslovyykh truboprovodov* [Assessment of the aggressiveness of extracted media during corrosion inhibition of field pipelines]. Uspekhi v khimii i khimicheskoy tekhnologii [Successes in Chemistry and Chemical Technology], 2021, v. 35, no. 5, pp. 104–106.
- [19] Vagapov R.K. *Issledovanie navodorozhivaniya i korrozii stal'nogo oborudovaniya i truboprovodov na ob'ektakh dobychi H₂S-soderzhashchego uglevodorodnogo syr'ya* [Investigation of flooding and corrosion of steel equipment and pipelines at production facilities of H₂S-containing hydrocarbon raw materials]. Voprosy materialovedeniya [Issues of Materials Science], 2021, no. 2 (106), pp. 170–181. DOI: 10.22349/1994-6716-2021-106-2-170-181
- [20] Kozlova L.S., Sibileva S.V., Chesnokov D.V., Kutryev A.E. *Ingibitory korrozii (obzor)* [Corrosion inhibitors (review)]. Aviatsonnyye materialy i tekhnologii [Aviation Materials and Technologies], 2015, no. 2, pp. 67–75.
- [21] Sheetal A., Singh A.K., Thakur S., Pani B., Singh M. Heterocyclic compounds as corrosion inhibitors for iron alloys in various industrial processes. A review // Journal of Industrial and Engineering Chemistry, 2024, v. 130, no. 2, pp. 141–177. <https://doi.org/10.1016/j.jiec.2023.10.005>
- [22] Zamaletdinov I.I., Baryshnikov I.N. On the characteristic potentials of pitting corrosion of compact and powder steel // Protection of Metals and Physical Chemistry of Surfaces, 2017, v. 53, no. 7, pp. 1227–1234. DOI: 10.1134/S207020511707019X.
- [23] Khaidarova R.G. *Ingibitory korrozii dlya zashchity neftepromyslovogo oborudovaniya* [Corrosion inhibitors for protection of oilfield equipment]. Sovremennyye problemy nauki i obrazovaniya [Modern Problems of Science and Education], 2014, no. 6, pp. 1–8.
- [24] Farkhutdinova A.R., Mukatdisov N.I., Elpidinsky A.A., Grechekhina A.A. *Sostavy ingibitorov korrozii dlya razlichnykh sred* [Compositions of corrosion inhibitors for various media]. Vestnik Kazanskogo tekhnologicheskogo universiteta [Bulletin of the Kazan Technological University], 2013, v. 16, no. 4, pp. 274–280.
- [25] Vigdorovich V.I., Strelnikova K.O. *Zashchitnaya effektivnost' sistemy «poverkhnostnaya plenka — ingibitor AMDOR IK-7» v kombinirovannykh serovodorodno-uglekislotoykh sredakh* [Protective effectiveness of the system «surface film inhibitor AMDOR IK-7» in combined hydrogen sulfide-carbon dioxide media]. Praktika protivokorroziionnoy zashchity [Practice of Anticorrosive Protection], 2012, no. 2 (64), pp. 4–12.
- [26] Chikhalikar A.S., Godbole E.P., Poerschke D.L. Approach for statistical analysis of oxide- and sulfate-induced hot corrosion of advanced alloys. Corrosion Science, 2023, v. 211, no. 2, p. 110892. <https://doi.org/10.1016/j.corsci.2022.110892>
- [27] Jafari H., Ameri E., Rezaeivala M., Berisha A. Experimental and theoretical studies on protecting steel against 0.5 M H₂SO₄ corrosion by new schiff base. J. of the Indian Chemical Society, 2022, v. 99, no. 9, p. 100665. <https://doi.org/10.1016/j.jics.2022.100665>
- [28] Fischer A., Telouk P., Wimmer M.A. The gross slip fretting corrosion mechanisms of biomedical ceramic-metal couples. Biotribology, 2023, v. 35–36, no. 12, p. 100252. <https://doi.org/10.1016/j.biotri.2023.100252>
- [29] Delavar H., Mostahsan A.J., Ibrahim H. Corrosion and corrosion-fatigue behavior of magnesium metal matrix composites for bio-implant applications. A review. J. of Magnesium and Alloys, 2023, v. 11, no. 4, pp. 1125–1161. <https://doi.org/10.1016/j.jma.2023.04.010>
- [30] Shipiguzov I.A., Kolesova O.V., Vakhrushev V.V., Kazantsev A.L., Poilov V.Z., Lanovetsky S.V., Cherezova L.A. *Sovremennyye ingibitory korrozii* [Modern corrosion inhibitors]. Vestnik PNIPU [Bulletin of PNRPU], 2016, no. 1, pp. 114–127.
- [31] 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>
- [32] Cheng H., Luo X., Wu X. Recent research progress on additive manufacturing of high-strength low-alloy steels: Focusing on the processing parameters, microstructures and properties. Materials Today Communications, 2023, v. 36, no. 8, p. 106616. <https://doi.org/10.1016/j.mtcomm.2023.106616>

- [33] Kuzmina I.E. *Razrabotka retseptury preobrazovatelya rzhavchiny na osnove ekstrakta kory listvennitsy* [Development of a rust converter formulation based on larch bark extract]. Severo-Yakutsk, Vostochnyy federal'nyy universitet im. M.K. Ammosova. Institut estestvennykh nauk [M.K. Ammosov Northeastern Federal University. Institute of Natural Sciences], 2019, 64 p.
- [34] Savchenko O.N., Sizaya O.I., Chelyabieva V.N., Maksimenko A.A. *Ekstrakty rastitel'nogo syr'ya v inhibitornoy zashchite stali* [Extracts of plant raw materials in the inhibitory protection of steel]. Fizikokhimiya poverkhnosti i zashchita materialov [Physicochemistry of the surface and protection of materials], 2018, v. 54, no. 3, pp. 319–324. DOI: 10.7868/S0044185618030154
- [35] Nav T.Z., Pempel 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>
- [36] Parshutin V.V., Sholtovoy N.S., Sidelnikova S.P., Koval A.V., Bulhak I.I., Bologa O.A., Shofransky V.N. *Vliyaniye vodnogo ekstrakta plodov konskogo kashtana na korroziyu stali St3 v vode* [Influence of aqueous extract of horse chestnut fruits on corrosion of steel ST3 in water]. Elektronnaya obrabotka materialov [Electronic Processing of Materials], 2011, v. 47, no. 3, pp. 90–99.
- [37] Kononov G.N. *Dendrokimiya* [Dendrochemistry] Moscow: Moscow State Forestry University Publ., 2015, v. 1, 480 p.
- [38] Verma C., Quraisi M.A., Alfantazi A., Rhee K.Y. Biodegradable synthetic polymers in sustainable corrosion protection. Present and future scenarios. *Advanced Industrial and Engineering Polymer Research*, 2023, v. 6, no. 10, pp. 407–435. <https://doi.org/10.1016/j.aiepr.2023.04.005>
- [39] Yoshimoto H., Fathona I.W., Yabuki A. Self-healing polymer coating with efficient delivery for alginates and calcium nitrite to provide corrosion protection for carbon steel // *Colloids and Surfaces A: Physicochemical and Engineering Aspects*, 2023, v. 662, no. 4, p. 130970. <https://doi.org/10.1016/j.colsurfa.2023.130970>
- [40] Hillis V.E. *Ekstraktivnye veshchestva drevesiny i znachenie ikh v tsellyulozno-bumazhnom proizvodstve* [Extractive substances of wood and their importance in pulp and paper production]. Moscow: Lesnaya promyshlennost' [Forest Industry Publ.], 1965, 487 p.
- [41] Singhal T.S., Jain J.K. GMAW cladding on metals to impart anti-corrosiveness: Machine, processes and materials. *Materials Today: Proceedings*, 2020, v. 26, no. 2, pp. 2432–2441. <https://doi.org/10.1016/j.matpr.2020.02.518>
- [42] Tarasov S.M., Kononov G.N. *Kompleksnaya khimicheskaya pererabotka drevesiny. Tekhnologiya lesokhimicheskikh i gidroliznykh proizvodstv* [Complex chemical processing of wood. Technology of forest chemical and hydrolysis production]. Moscow: MGUL, 2016, 122 p.
- [43] Zarubina A.N., Ivankin A.N., Verevkin A.N., Serdyukova Yu.V. *Kompleksnaya khimicheskaya pererabotka drevesiny* [Complex chemical processing of wood]. Moscow: MGUL, 2016, 37 p.
- [44] 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]. Moscow: Ecology, 1991, 320 p.
- [45] GOST RU 9. 908–85. *Edinaya sistema zashchity ot korrozii i stareniya. Metally i splavy. Metody opredeleniya pokazateley korrozii i korrozionnoy stoykosti. Mezhgosudarstvennyy standart* [A unified system of protection against corrosion and aging. Metals and alloys. Methods for determining corrosion indicators and corrosion resistance. Interstate standard]. Moscow: Standards Publ., 1985, 79 p.

Authors' information

Oliferenko Galina L'vovna✉ — Cand. Sci. (Chem.), Associate Professor of the BMSTU (Mytishchi branch), oliferenko2@inbox.ru

Gribanova Anastasiya Konstantinovna — student of the BMSTU (Mytishchi branch), boob1234@icloud.com

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

Vagapov Ruslan Kizitovich — Dr. Sci. (Tech.), Head of the Laboratory of Protection against atmospheric and internal corrosion of the National Scientific and Technical Center for Corrosion Monitoring and Corrosion Protection of Gazprom VNIIGAZ, kizit@rambler.ru

Ustyugov Aleksandr Viktorovich — Cand. Sci. (Chem.), Associate Professor of the Department of Physical Chemistry named after Ya.K. Syrkin, of the «MIREA — Russian Technological University» (RTU MIREA), ustyugov.alexandr@mail.ru

Received 14.02.2024.

Approved after review 22.11.2024.

Accepted for publication 24.02.2025.

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

ЛОТОС-ЭФФЕКТ И РЕГУЛИРОВАНИЕ АДГЕЗИОННОЙ ПРОЧНОСТИ. ОБЗОР

Ю.М. Евдокимов[✉], А.В. Мещеряков, В.Ю. Прохоров, М.А. Гудков

ФГБОУ ВО «Академия Государственной противопожарной службы МЧС России» (Академия ГПС МЧС России), Россия, 129366, Москва, ул. Бориса Галушкина, д. 4

evdokur@mail.ru

Рассмотрен так называемый лотос-эффект, обнаруженный на природных объектах. Приведены многочисленные примеры по изменению адгезионной прочности в желаемую сторону с учетом названного эффекта. Показана возможность получения природоподобных искусственных поверхностей твердых тел в целях предотвращения нежелательных процессов обледенения и биообрастания — самолетов, морских судов, зданий и сооружений, электрических проводов, морских нефтевышек для добычи нефти и даже растений, в частности, от ледяных дождей.

Ключевые слова: лотос-эффект, адгезия, адгезионная прочность, смачивание, гидрофильность, гидрофобность, супергидрофобность

Ссылка для цитирования: Евдокимов Ю.М., Мещеряков А.В., Прохоров В.Ю., Гудков М.А. Лотос-эффект и регулирование адгезионной прочности. Обзор // Лесной вестник / Forestry Bulletin, 2025. Т. 29. № 3. С. 169–180. DOI: 10.18698/2542-1468-2025-3-169-180

Работ, посвященных исследованию адгезионных явлений [1–15], в том числе с учетом лотос-эффекта, имеющего место в природе, опубликовано немало [16–49]. Впервые особенности лотос-эффекта, связанного с крайне низкой смачиваемостью поверхности описали немецкие ботаники [24], хотя о подобных свойствах листьев лотоса (и не только) было известно давно. Они показали, что поверхность листа лотоса покрыта микроскопическими выступами-бугорками (рис. 1, а) с огромным количеством нановолосков, ориентированных случайным образом. Эти нановолоски полые внутри («наномакароны») имеют внешний диаметр около 100 нм и внутренний около 50 нм. Кроме того, листья покрыты восковым слоем кутины (кутикулы), вырабатываемым железами растения, что создает уникальную иерархическую наноструктуру поверхности листа.

Авторы работы [24] объяснили водоотталкивающие и самоочищающиеся свойства подобных поверхностей, приписав супергидрофобность нано- и микрометрическим восковым текстурам на поверхности. Впоследствии материаловеды разработали бесчисленное количество синтетических супергидрофобных поверхностей, что привело к лучшему пониманию механизма смачивания, адгезии и трения.

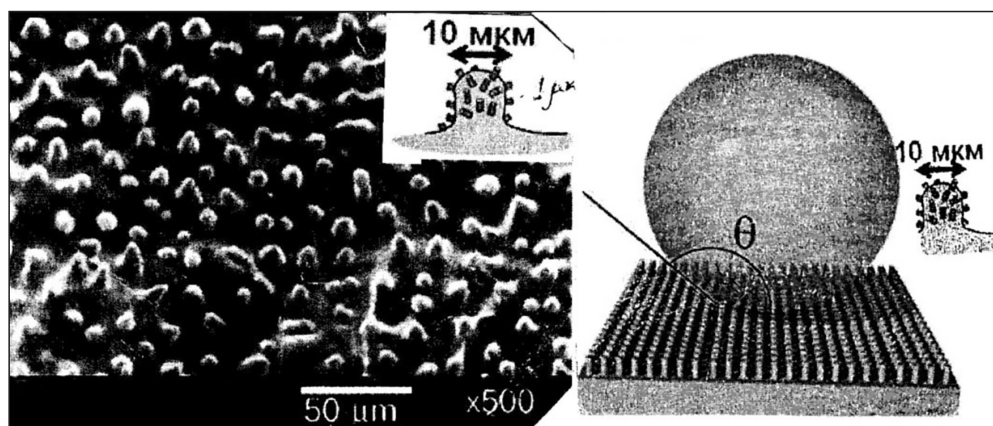
Цель работы

Цель работы — подробное рассмотрение и анализ причин проявления лотос-эффекта на самых различных объектах; разработка рекомендаций по практическому приложению результатов работы в различных технических устройствах и технологиях.

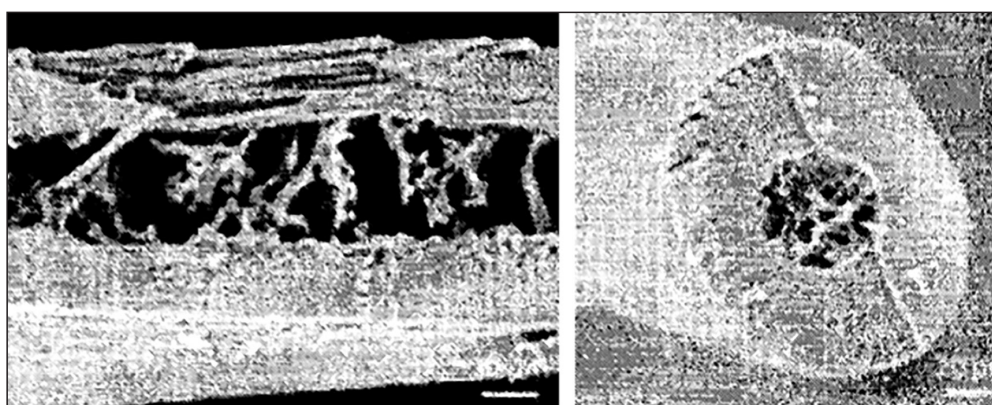
Результаты и обсуждение

Количество растений и иных объектов, которым присущ лотос-эффект, стремительно расширялось. В частности, настурция, листья сальвии, капусты, эвкалипта, араукарии, тростник обыкновенный имеют особенности структуры, позволяющей управлять жидкостным рулевым направленным движением. Подобные водоотталкивающие свойства присущи перьям водоплавающих птиц — гусей, уток, бакланов, папуасских пингвинов, а также полому волосу белого медведя, некоторым насекомым, например, стрекозам, цикадам, бабочкам, водомеркам (лапки) с огромным количеством волосков с минимальной площадью контакта, пористой поверхности «кувшина» непентеса, жукам из пустыни Намиб, водяным жукам и другим живым организмам (рис. 2–5) [4, 10, 15, 23–28, 31–34, 37, 39, 42–45].

С учетом лотос-эффекта предложены рекомендации и получены водоотталкивающие супер- и омнифобные материалы на основе



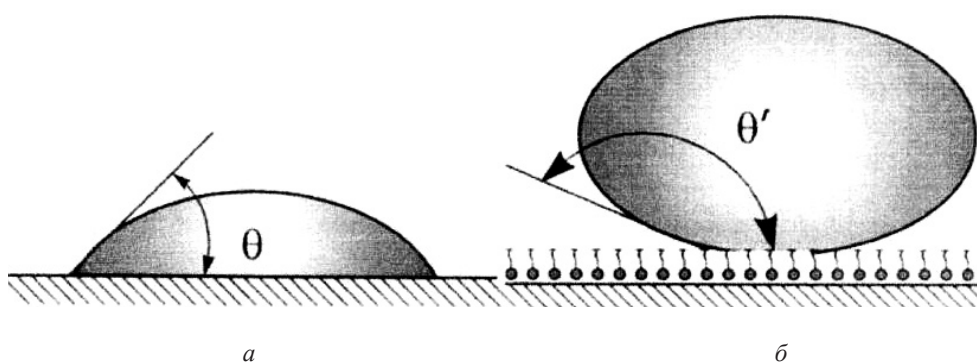
a



б

Рис. 1. Поверхность листа лотоса под электронным микроскопом (а) и структура полого волоса (б) белого медведя: слева — продольный разрез, справа — торцевой

Fig. 1. Lotus leaf surface under electron microscope (a) and structure of polar bear hollow hair (б): left — longitudinal section, right — end section



a

б

Рис. 2. Капля воды на поверхности твердого тела: на гладкой поверхности (а) наблюдается хорошее смачивание и растекание капли по поверхности; при наличии большого количества часто расположенных выступов — столбиков (б) на поверхности, капля воды не смачивает поверхность, что видно по величине угла смачивания (при малых углах смачивание лучше)

Fig. 2. A drop of water on the surface of a solid body: on a smooth surface (a) there is good wetting and spreading of the drop on the surface; in the presence of a large number of frequently located protrusions — columns (б) on the surface, the drop of water does not wet the surface, which can be seen from the size of the wetting angle (at small angles wetting is better)

тефлона и других полимерных материалов, покрытия на их основе, наноструктурированные покрытия, устойчивые к обледенению, самоочищающиеся поверхности (стекло, к примеру), а также новые технологии для защиты корпусов самолетов, судов от обледенения и биообрастания различными микроорганизмами. Многие материалы с необычной структурой (омнифобные) получены заимствованием (*inspired*) у природы, в частности у строения листьев сальвинии (*Salvinia*), некоторых видов водяных папоротников с высокой воздухоудерживающей способностью, что вдохновило ученых на разработку природоподобных (бионических) материалов и технологий, нашедших использование при разделении масел (керосин, газойль, моторное масло) и нефти от воды, борьбе с запотеванием, загрязнениями в трубах, обеспечивают полезную стойкость к коррозии, снижение адгезии уже образовавшихся ледяных отложений на поверхности конструкционных элементов и аппаратуры.

Суть понижения адгезионной прочности лежит в замене сильных взаимодействий в системе адгезив — подложка (субстрат) на более слабые. Однако это не всегда удается ввиду широкого спектра взаимодействий, которые могут иметь место на границе раздела адгезив — подложка (ковалентные, ионные, донорно-акцепторные, межмолекулярные, водородные связи, силы Казимира и др. [1–4, 7–12, 16, 20, 27–30, 33, 37–39], избавиться от которых непросто. Как следует из рис. 3, на некоторых участках все же проявляется сцепление (адгезия), впоследствии подобные участки получили название «поцелуйчики» (*to kiss, kisses*).

Теоретическая адгезионная прочность, обусловленная только слабыми дисперсионными силами (например, при адгезии полиэтилена к стали), может достигать 370 МПа при равновесном расстоянии принятом за 0,4 нм [48]. Последние данные [29] с привлечением кривой Ленарда — Джонса подтверждают подобный порядок сил. Из школьного курса известно, к примеру, что работа адгезии W_a ртути к стеклу при температуре 293 К при краевом угле смачивания 130° и поверхностном натяжении ртути 475 мДж/м^2 по уравнению Дюпре Юнга составит: $475 (1 + \cos 130) = 475 (1 - 0,64) = 171 \text{ мДж/м}^2$, что является очень малой величиной. Легко показать, что растекания ртути (при $f < 0$) нет, так как коэффициент растекания $f = W_a - W_k = 171 - (2 \cdot 475) = -779 \text{ мДж/м}^2$, где W_k — работа когезии.

В то же время любая капля жидкости в невесомости будет сферической с углом смачивания около $\theta = 180^\circ$. Это происходит и с каплями

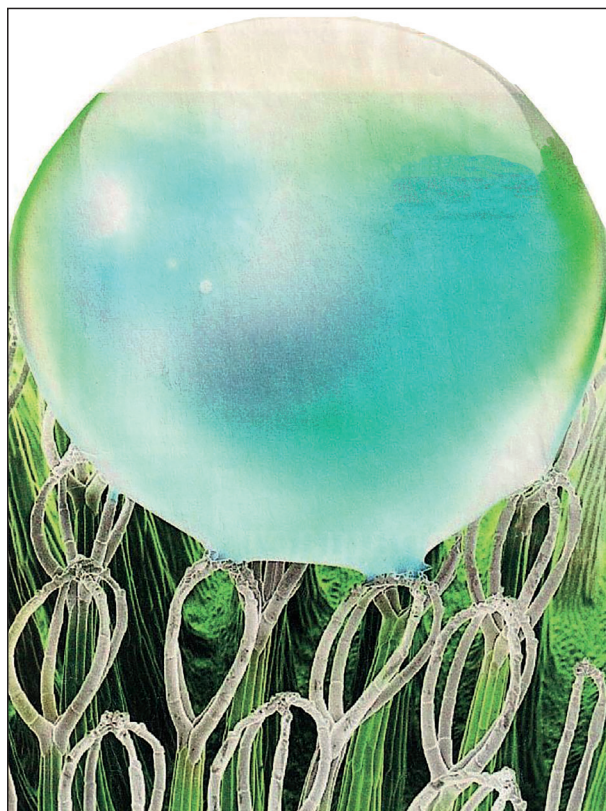


Рис. 3. Супергидрофобия водного папоротника *Molesta Salvinia* с венчиковидной поверхностной структурой, покрытой восковыми кристаллами, что позволяет им удерживать воздух и оставаться сухими под водой [39]

Fig. 3. Superhydrophobia of the aquatic fern *Molesta salvinia* with a corolla-shaped surface structure covered with wax crystals, which allows them to retain air and remain dry under water [39]

воды на поверхности листа лотоса, хотя строго говоря, краевой угол смачивания будет меньше указанной величины за счет сминания капли под действием собственной массы.

В работах О. Виноградовой и соавт. [33, 36] представлены уникальные характеристики супергидрофобных поверхностей, благодаря которым можно управлять движением жидкостей в микроканалах и получать очень скользкие поверхности, что описано также в работе [28]. Смачивающие и гидродинамические свойства супергидрофобных поверхностей связаны с наличием газа в полости текстуры, поэтому состояние Касси предпочтительнее по сравнению с состоянием Венцеля в большинстве случаев. Переход из состояния Касси в состояние Венцеля (ПКВ) подробно изучен [33, 36] (рис. 6) с самых различных позиций как и исследования по измерению прочности адгезии льда к супергидрофобным покрытиям [1, 7, 18–23, 25–28, 30–32, 34–35, 37–41].

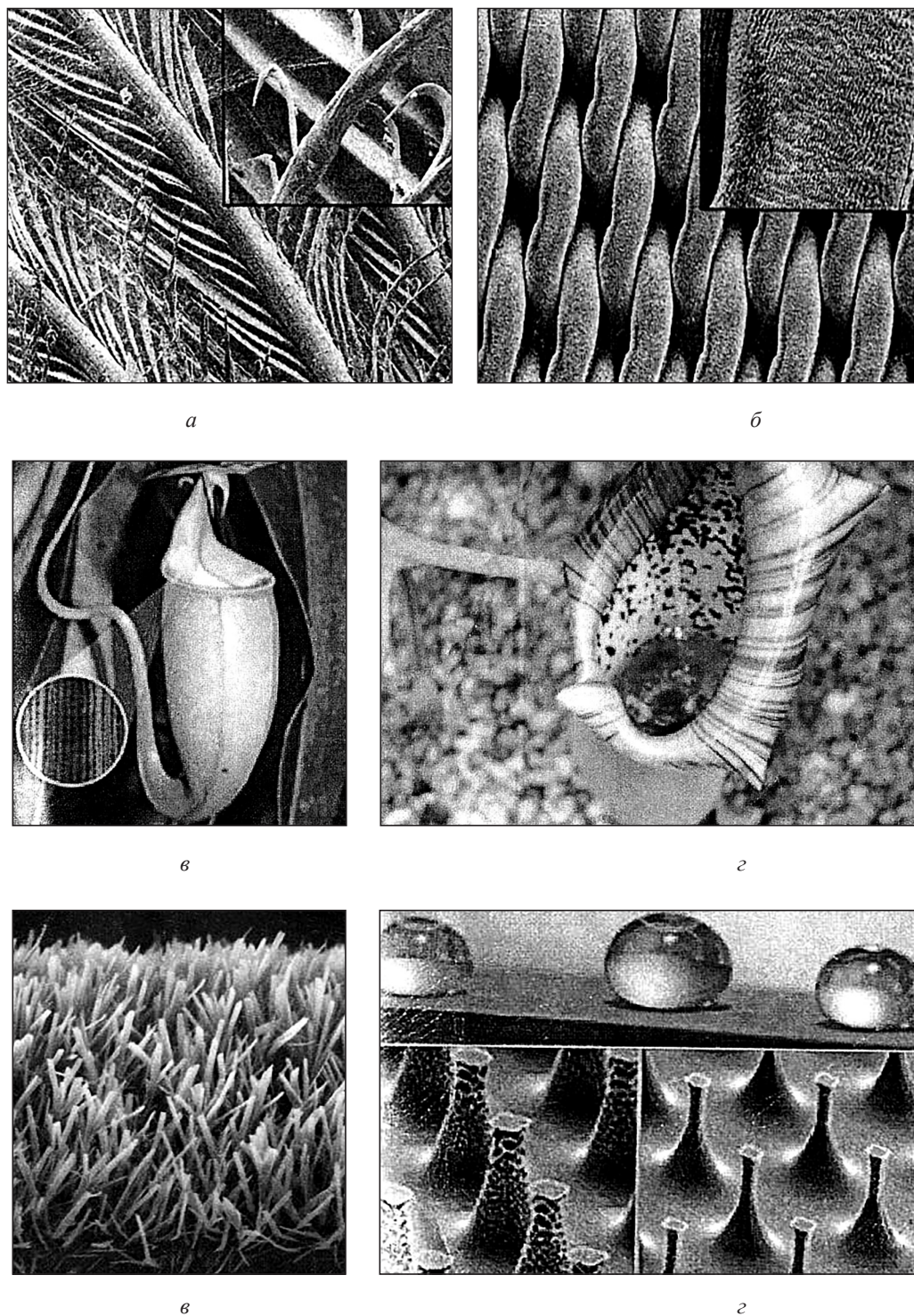
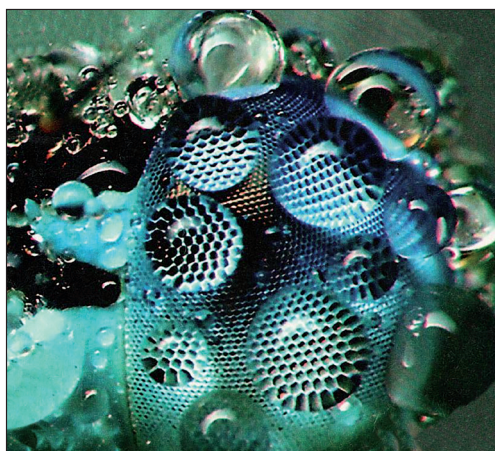
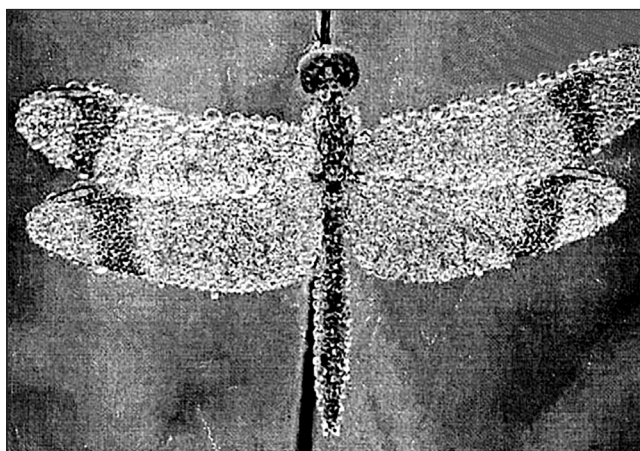


Рис. 4. Микроструктура пера пингвина (а) и имитирующая ее проволочная ткань, покрытая мельчайшими канавками (б); цветок непентеса кувшинчатого (the *Nepenthes*) (с), нанорельеф поверхности которого (д) обеспечивает идеальное соскальзывание севших на него насекомых; искусственный «лес пептидов», полученный учеными Израиля, поверхность которого (е) остается чистой в течение нескольких лет и искусственная несмачиваемая поверхность (е), полученная способом литографии (разработки Adler-Abramovich et al. в Тель-Авивском Университете [27])

Fig. 4. Microstructure of a penguin feather (a) and its imitating wire cloth covered with tiny grooves (b); the *Nepenthes* lily flower (c), whose nano-relief surface (d) ensures perfect slipping of insects that land on it; an artificial «forest of peptides» obtained by scientists in Israel, the surface of which (e) remains clean for several years and an artificial non-wetting surface (e) obtained by lithography (developed by Adler-Abramovich et al. at Tel Aviv University [27])



а



б

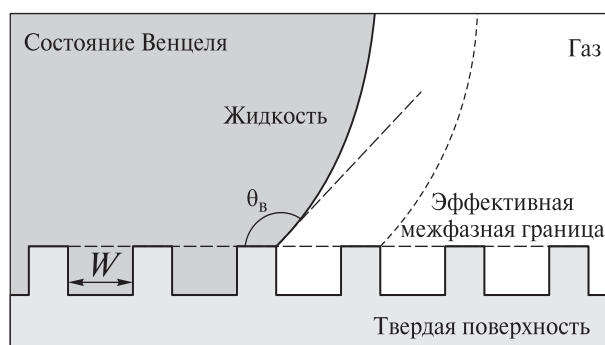
Рис. 5. Фасеточные глаза стрекозы (а), как и сама стрекоза (б) не смачиваются водой (росой). Снимок польского фотографа Мирослава Свитека (Miroslaw Swietek) [4, 25]. Сквозь капли воды хорошо видны увеличенные фасеты

Fig. 5. The facet eyes of a dragonfly (а) as well as the dragonfly itself (б) are not wetted by water (dew). Image by Polish photographer Miroslaw Swietek [4, 25]. The enlarged facets are clearly visible through the water droplets

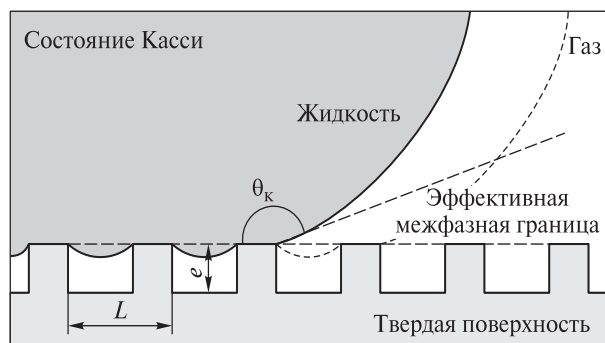
Стало известно о синтетических наноструктурированных поверхностях, сочетающих бактерицидные и бактериовыделяющие свойства, благодаря изучению крыльев однолетней цикады *Neotibicen pruinosus*, которые отталкивают воду и предотвращают распространение бактерий на поверхности. Исследования [42] получили структуры «наностолбов» литографией наноприптинга при комнатной температуре (293 К) на воздухе. Вертикально ориентированные наностержни (PS nanopillars на основе кремния — PDMS) могут уничтожить до 95 % бактерий в течение 3 ч (рис. 7).

Для лучшего понимания сцепления льда с различными подложками полезно лишний раз обратиться к природным секретам, связанным с адгезионными процессами, желательны на объектах, которые имеют место в конкретных условиях. Однако сотни работ различных авторов полностью не решили проблемы обледенения (и биообрастания), которые не утратили актуальность и в настоящее время. Причин достаточно. Многие составы для защиты от обледенения или биообрастания имеют высокую цену, токсичны для людей, обитателей морей и океанов, характеризуются трудоемкостью производства, требуют постоянного обновления и т. п.

Каковы же основные причины обледенения и биообрастания? Это — высокая адгезионная способность в системе адгезив — подложка, которая достигается при хорошей смачиваемости поверхностей твердых тел водой или иными



а



б

Рис. 6. Пример действия состояния Венцеля (а) и Касси — Бакстера (б): W — расстояние между канавками (столбиками); L — среднее расстояние между соседними стенками канавок

Fig. 6. Example of the action of the Wenzel (а) and Cassie — Baxter (б) condition: W — distance between grooves (columns); L — average distance between neighbouring walls of grooves

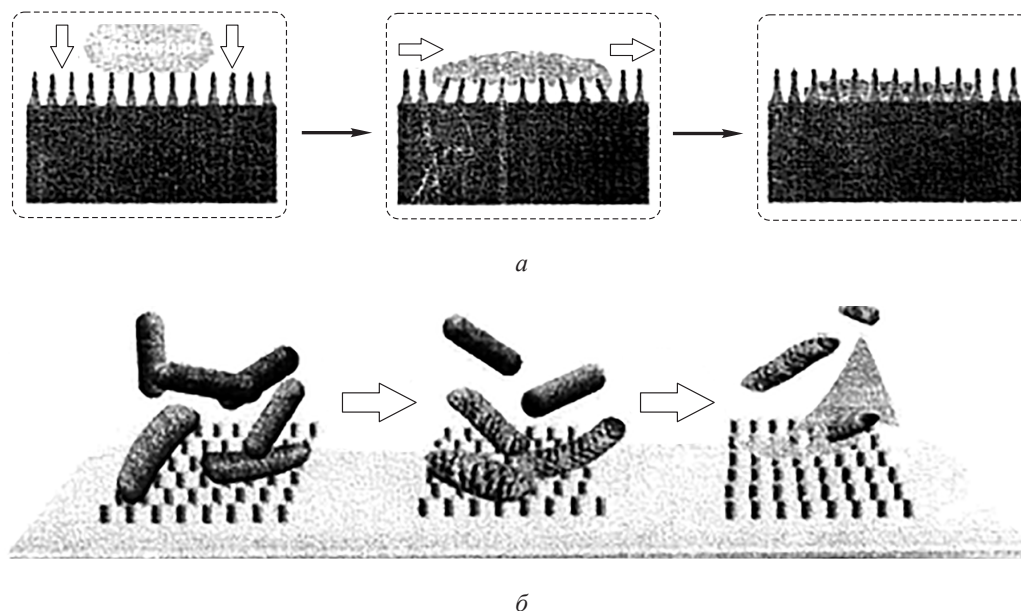


Рис. 7. Изображение наностолбиков (схематично), расположенных на крыльях цикады (а) и механизм (схематично) действия по уничтожению бактерий (б): показано поэтапное достижение контакта бактерий с поверхностью крыльев цикады (слева — направо). Хорошо видно прокалывание бактерий столбиками (иглочками), что приводит к гибели бактерий [42]

Fig. 7. Image of nanocolumns (schematically) located on cicada wings (а) and the mechanism (schematically) of action to kill bacteria (б): the step-by-step achievement of bacteria contact with the surface of cicada wings is shown (from left to right). The piercing of bacteria by the columns (needles), which leads to the death of bacteria, is clearly visible [42]

жидкостями, высоким поверхностным натяжением, оптимальном рельефе поверхности (шероховатость и иные показатели). Вследствие сложной иерархии структуры поверхности может возникнуть ситуация с наличием гидрофильных областей на гидрофобной в целом поверхности твердого тела. Поскольку лед сам является адгезивом, сцепляющим твердые тела при низких температурах, то иногда возможно некоторое понижение адгезионной прочности по торцам за счет процессов сублимации ледяной прослойки, что следует иметь в виду.

Соответственно, для устранения обледенения и биообрастания важно учитывать рельеф поверхности, использовать защитные покрытия с высокими значениями краевых углов смачивания (более $160...170^\circ$) при учете ряда других характеристик, к примеру, иерархической структуры поверхности твердых тел (в частности, грибовидной, типа «нанолеса» или «нанотравы» из углеродных нанотрубок, иных волокон, знания о которых позволяют создавать материалы с искусственной гидрофобностью).

Что касается поверхности твердых тел, то можно отметить крайние случаи — абсолютно гладкая поверхность (подобно ювенильной свежезасохшей поверхности слюды)

и поверхность с «грубой» шероховатостью, в неровностях которой находятся пузырьки воздуха, которые трудно удалить. Они приводят к снижению адгезионной прочности и работы адгезии. Если бы поверхность листа лотоса была гладкой, то любые загрязнения удерживались бы на ней достаточно долго вследствие высокой площади контакта. В связи с этим необходимо выбирать оптимальные варианты структуры поверхности (на основе проведенных экспериментов, анализа всевозможных моделей, литературных данных).

Некоторые факторы, способствующие снижению адгезионной прочности льда с поверхностью при приложении сдвиговой нагрузки, рассмотрены в работах [29, 33–36]. В частности, показано, что разрушение контакта между льдом и супергидрофобным покрытием происходит по смешанному вязкоупругому механизму. При этом качественно оценено и влияние квазижидкого слоя, и эффекта Ребиндера на понижение сдвиговой адгезионной прочности. Результаты экспериментов указывают на потенциальное ускорение сбрасывания льда при увеличении скорости изменения сдвиговых напряжений. Кроме прочего, гидрофобные покрытия защищают металлы от коррозии. Так, сотрудники Института физической химии и электрохимии

имени А.Н. Фрумкина (ИФХЭ) РАН [33–36] смоделировали коррозию сплава алюминия и магния и проверили свои выкладки экспериментально, предварительно обработав сплав лазером для создания микрошероховатой поверхности, на которую впоследствии нанесли фторированные покрытия, придавшие сплаву химическую гидрофобность (угол смачивания водой составлял 171...174°). На такой поверхности маленькие капельки воды собирались в форме шариков, которые легко скатывались, если поверхность наклонить на 2...3 градуса. Описано и действие антикоррозионного эффекта [33, 35, 36].

Сотрудники Зоологического института Университета Христиана Альбрехта [25] в Киле (Германия) изучали процессы обледенения непосредственно на поверхности растений, произрастающих в Антарктиде с использованием Cryo-SEM-криомикроскопа, позволяющего получать изображения при температуре до минус 140 °С), предположив, что у некоторых дикорастущих растений в ходе эволюции выработалась естественная защита от обледенения. Авторы показали, что структура поверхности листьев также выполняет важную защитную функцию при низких значениях температуры наряду с химическими процессами в клетке или содержании антифриза. Тонкие волоски (трихомы) и восковой слой на листьях являются эффективными приспособлениями для предотвращения или контроля обледенения непосредственно на поверхности листа. Если слой льда образуется непосредственно на кутикуле, клетки растения, вероятнее всего, замерзнут. Ученые обнаружили антиобледенительную восковую стратегию растений, произрастающих за Южным полярным кругом. *Deschampsia antarctica*, одно из двух растений, растущих в Антарктиде имеет даже двойную защиту с заметным эпикуткулярным восковым покрытием, состоящим из двух наложенных слоев с обеих сторон листа, что надежнее защищает от обледенения, вредных УФ-излучений и обезвоживания. Показано, что кристаллы льда образуются только на тонких трихомах листьев маргаритки многолетней (*Bellis perennis*), к примеру, при необледеневшей самой поверхности листа. Авторы считают, что изучение взаимодействия с водой на поверхности самих листьев поможет при разработке «антиобледенительных» поверхностей.

Другими объектами, достойными изучения, могут быть перья папуасских пингвинов и мех белого медведя с необычной водоотталкивающей структурой (см. рис. 1, в, рис. 4, а), которые также обладают свойствами лотос-эффекта (или эффекта лепестка, иногда так называют).

Первую структуру (поверхность) воспроизвели с помощью тканой проволоочной сетки, обработанной лазером. Мех белого медведя с полыми волосинками-волокнами изучен подробнее. Волосинки остаются «сухими» (свободными ото льда), так как из-за наличия воздуха в них проникновение воды затруднено. Эти полые волокна можно уподобить микрокапиллярам, закрытым с одного конца — для таких объектов законы Пуазейля и Джюрини не работают [4]. Поэтому мех белого медведя, как и перья водоплавающих птиц не испаряют воду, а буквально «стряхивают» ее благодаря резкому перепаду давления при выныривании или выходе из воды. На основе подобного так называемого «спонтанного выпотевания» разработаны некоторые ткани для рубашек с водоотталкивающим эффектом нового типа, которые можно мгновенно высушить при встряхивании после стирки.

Ученые из Национального Университета Тайваня [49] выяснили, что кристаллы льда медленно растут и быстро тают вдоль прямых линий на микроканавчатых поверхностях. Они проконтролировали динамику образования и роста кристаллов льда, манипулируя шероховатостью поверхности, и выяснили, что V-образная поверхность обладает лучшими противообледенительными свойствами среди других изученных поверхностей. Эти исследования открыли двери другим исследователям, разрабатывающим новые искусственные поверхности для защиты от обледенения.

Проведен анализ [40] гидрофобно-гидрофильных свойств антиобледенительных органосиликатных покрытий прецезионными методами атомно-силовой микроскопии с оценкой адгезионных свойств покрытий на основе кремнийорганических соединений. Показана неоднородность распределения по поверхности образца участков с различными адгезионными свойствами. Как правило, адгезионная прочность льда к различным подложкам зависит от температуры и шероховатости: чем ниже температура и грубее шероховатость, тем выше адгезионная прочность, хотя нельзя это утверждать однозначно [22].

С другой стороны, лотос-эффект присущ и лапкам геккона, покрытым миллионами волоконцев (щетинков), которые могут самоочищаться от загрязнений [4, 44, 45] за счет существенной несмачиваемости материала щетинок (кератина). Этот факт также препятствует слипанию самих щетинок за счет капиллярного взаимодействия между ними. Для оценки угла смачивания поверхности используются уравнения Венцеля — Дерягина, связывающие

углы смачивания на шероховатых и гладких поверхностях через коэффициент шероховатости [1], из чего следует, что шероховатость лиофильных поверхностей улучшает их смачивание (косинус угла смачивания повышается), а смачиваемость лиофобных поверхностей при наличии шероховатости ухудшается. В модели Касси принимается во внимание воздух, задерживаемый под каплей, что лучше учитывает особенности смачивания поверхности ворсистых материалов. Из этой модели следует, что ворсинки делают гидрофобные поверхности более гидрофобными, а гидрофильные — более гидрофильными. В связи с этим для повышения водоотталкивающих свойств ворсистой поверхности нужно выбирать гидрофобный материал. Пример с лапками геккона показывает [44], что они работают и как адгезивы (сила сцепления лапок с твердой поверхностью стекла достигает 10 Н/см^2 и более) и в то же время обладают эффектом самоочищения от загрязнений, связанного с нарушением адгезионной прочности в системе лапка геккона — загрязняющие материалы, т. е. на основе лотос-эффекта можно объяснить и регулирование адгезионной прочности в желаемую сторону.

Перспективными направлениями можно считать создание адгезивов функционального назначения, гибридных с использованием разветвленных функциональных металло-силоксановых олигомеров с формированием материалов типа взаимопроникающих сеток, многослойных липких лент на различных основах, которые можно по форме вырезать непосредственно под тот узел, который требуется (работы в этом направлении ведутся во Всероссийском институте авиационных материалов (ВИАМ) и ФГБУН «Институт элементоорганических соединений имени А.Н. Несмеянова Российской академии наук»).

В настоящее время созданы геккон-подобные материалы (работы ФГБУН «Институт проблем технологии микроэлектроники и особо чистых материалов Российской академии наук», г. Черноголовка, МО) на основе полиамида с помощью электронно-лучевой литографии и сухого травления в кислороде. Таким образом, на пленке полиамида получены волоски длиной 2 мкм, диаметром 0,5 мкм и расстоянием между волосками 1,6 мкм с силой притяжения, приходящейся на один волосок, около 70 нН. Один квадратный сантиметр такой поверхности притягивается с силой 3Н, что сравнимо с аналогичными показателями для геккона [44]. При использовании гибкого основания волосков эффективность прикрепления материала повышается на три порядка по сравнению со

случаем, когда основание твердое. Множество подобных искусственных «адгезивов» получено и зарубежными исследователями, что подробно анализируется в работе [4].

Силу адгезионного притяжения загрязнений (шаровидная частичка) к плоской поверхности можно оценить как $f = AR/6D^2$, где R — радиус шара, D — расстояние от шара до поверхности, A — константа Гамакера, зависящая только от типа материалов шара и поверхности, для большинства материалов имеет значение порядка 10^{-19} Дж [44] (есть некоторые различия при оценке этой силы в модели ДМТ (Дерягин — Муллер — Топоров) адгезии и модели ДКР (Джонсон — Кендалл — Робертс) [1]).

Приведенные подходы могут оказаться полезными при освоении Арктической зоны Российской Федерации, разработке способов борьбы с тромбообразованием, обледенением самолетов, крыш домов, линий электропередач и даже деревьев и кустарников (вспомним о ледяных дождях), биообрастанием судов, морских нефтевышек, разливами нефти при аварии нефтяных танкеров, управлении смачиваемостью, очистке воды от различных загрязнений (масел, бензина, сырой нефти).

Выводы

Результатом анализа проявления лотос-эффекта на различных объектах стал ряд рекомендаций по созданию искусственных поверхностей, стойких к обледенению и обрастанию микроорганизмами, что позволяет уменьшить нанесение вреда сельскохозяйственным культурам, повысить эффективность работы панелей солнечных батарей, улучшить очистку воды при разливе нефти из-за аварий нефтетанкеров за счет управления смачиваемостью, грамотно бороться с проблемами обледенения и биообрастания.

Список литературы

- [1] Дерягин Б.В., Кротова Н.А., Смилга В.П. Адгезия твердых тел. М.: Наука, 1973. 280 с.
- [2] Bikerman I.I. The science of adhesion. N.Y.; London: Academic Press, 1968, 349 p.
- [3] Evdokimov Yu.M., Fedorov M.S. Methods of Adhesiometry of Adhesive Bonds // Polymer Science, Series D, 2012, v. 5, no. 1, pp. 20–26.
- [4] Евдокимов Ю.М. Адгезия. От макро- и микроуровня к наносистемам. М.: МГУЛ, 2011. 208 с.
- [5] Берлин А.А., Басин В.Е. Основы адгезии полимеров. М.: Химия, 1974. 392 с.
- [6] Де Жен П., Бадос Ж. Хрупкие объекты. М.: Мир, 2000. 188 с.
- [7] Вакула В.Л., Притыкин Л.М. Физическая химия адгезии полимеров. М.: Химия, 1984. 222 с.

- [8] Москвитин Н.И. Физико-химические основы процессов склеивания и прилипания. М.: Лесная промышленность, 1974. 101 с.
- [9] Вильнав Ж.-Ж. Клеевые соединения. М.: Техносфера, 2007. 384 с.
- [10] Зимон А.Д. Адгезия пыли и порошков. М.: Химия, 1978. 431 с.
- [11] Кинлок Э. Адгезия и адгезивы. Наука и технология. М.: Мир, 2001. 484 с.
- [12] Аронович Д.А. Анаэробные адгезивы: состав, свойства, применение. Н. Новгород: ИП Гладкова Оксана Викторовна, 2024. 444 с.
- [13] Kendal K. Thin — film peeling — the elastic term // *J. Phys.*, D 8, 1975, pp. 1449–1453.
- [14] Biscof C., Possart W. Adhesion — Theoretische und experimentelle Grundlagen. Berlin: Akademie Verlag, 1983. 609 p.
- [15] Бионика 2022: сб. статей II Междунар. науч.-практ. конф., 23–24 декабря 2022, г. Москва. М.: Ассоциация технических университетов, 2023. 285 с.
- [16] Israelachvili J. Intermolecular and Surface Forces. London: Academic Press, 1992. 296 p.
- [17] Мазно Н. Наука о льде. М.: Мир, 1988. 231 с.
- [18] Адамсон А.У. Физическая химия поверхностей. М.: Мир, 1979. 568 с.
- [19] Абрамзон А.А. Возьмем за образец лист лотоса // *Химия и жизнь*, 1982. № 11. С. 38–40.
- [20] Кондрашов С.В. Исследование адгезии льда к наномодифицированным полиуретановым покрытиям // *Материалы Всерос. науч.-техн. конф. «Термопластичные материалы и функциональные покрытия»*, 23 апреля 2019 г. М.: Изд-во Всероссийского научно-исследовательского института авиационных материалов Национального исследовательского центра «Курчатовский институт», 2019. С. 118–126.
- [21] Лебедев Г.А., Трипольников В.П. Разработка способов и технологических приемов разрушения атмосферных наледей взрывами // *Проблемы Арктики и Антарктики*, 2009. № 1(81). С. 80–85.
- [22] Бузик В.М., Каблов Б.Н. Арктическое материаловедение. Вып. 3. Томск: Издательский Дом Томского государственного университета, 2018. 44 с.
- [23] Гегузин Я.Е. Капля. М.: Наука. 1977. 176 с.
- [24] Barthlott W., Neinhuis C. Purity of the sacred lotus, or escape from condensation in biological Surface // *Planta*, 1997, v. 202, pp. 1–8.
- [25] Gorb S.N., Gorb E.V. Anti-icing strategies of plant surfaces: the ice formation on leaves visualized by Cryo-SEM experiment // *The Science of Nature*, 2022, v. 109, article 24.
- [26] McGorty R., Fung J., Kaz D., Manoharan V.N. Colloidal self-assembly at an interface // *Materials Today*, 2010, v. 13, no. 6, pp. 34–38.
- [27] Agbenyega J. A window that washes itself: Nanotechnology. DOI:10.1016/S1369-7021(10)70025-0
- [28] Малкин А.Я., Патлажан С.А., Куличихин В.Г. Физико-химические явления, приводящие к скольжению жидкости по твердой поверхности // *Успехи химии*, 2019. № 88(3). С. 319–349.
- [29] Muller M., Hrabec P., Choteborsky R., Herak D. Evaluation of factors influencing adhesive bond strength // *Res. Agr. Eng.*, 2006, v. 52, pp. 30–37.
- [30] Hong X., Gao X., Jiang L. Application of superhydrophobic Surface with High Adhesive Force in No Lost Transport of Superparamagnetic Microdroplet // *J. Am. Chem. Soc.*, 2007, v. 129 (6), pp. 1478–1479.
- [31] Li X., Bista P., Stetten A.Z., Bonart H. Spontaneous charging affects the motion of sliding drops // *Nature Physics*, v. 18(6), pp. 1–7. DOI:10.1038/s41567-022-01563-6
- [32] Шилова О.А., Халаман В.В., Нгуен В.Чи., Кондратенко Ю.А., Глебова И.Б., Соколов Г.С., Вошников В.И., Полетаев К.А., Кочина Т.А. Влияние состава и состояния поверхности противообрастающих покрытий на степень биообрастания по результатам климатических морских испытаний в тропиках и около полярного круга // *Химия для биологии, медицины, экологии и сельского хозяйства: сб. тезисов докладов 3 Междунар. симпозиума ISCHEM-2024*, 5–7 июня 2024 г. Санкт-Петербург: Лема, 2024. С. 34–35.
- [33] Vinogradova O.I., Dubov A.L. Superhydrophobic textures of microfluidics // *Mendelev Commun.*, 2012, v. 19, pp. 229–237.
- [34] Bing W., Wang H., Tian L., Zhao J., Jin H., Du W., Ren L. Small Structure, Large effect: Functional Surfaces inspired by Salvinia Leaves, 2021, v. 2, iss. 9, p. 2100079. <https://doi.org/10.1002/ssr.202100079>
- [35] Boinovich L.B., Emelyanenko A.M. Recent progress in understanding the anti-icing behavior of materials // *Adv. Colloid Interface Sci.*, 2024, v. 323, p. 103057. <https://doi.org/10.1016/j.cis.2023.103057>
- [36] Belyaev A.V., Vinogradova O.I. Electro-osmosis on Anisotropic Superhydrophobic Surface // *Phys. Rev. Letters*, 2011, v. 107, p. 098301 (1–4).
- [37] Gu Z., Li S., Zhang F., Wang Sh. Understanding Surface Adhesion in Nature: A Peeling Model // *Adv. Sci.*, 2016, v. 3, p. 1500327. DOI: 10.1002/adv.201500327
- [38] Kestelman V.N., Jevdokimov J.M. Einige neue Gesichtspunkte zu Adhäsionsbeziehungen // *Plaste und Kautschuk*, 1992, v. 39, no. 10, pp. 345–346.
- [39] Barthwal S., Uniyal S., Barthwal S. Nature-Inspired Superhydrophobic Coating Materials: Drawing Inspiration from Nature for Enhanced Functionality // *Micro machines*, 2024, v. 15(3), p. 391. DOI: 10.3390/mi15030391
- [40] Новиков И.А. Исследование особенностей гидрофобно-гидрофильных свойств антиобледенительных покрытий методами АСМ // *Наука настоящего и будущего: сб. материалов конф. X науч.-практ. конф. с междунар. участием для студентов, аспирантов, молодых ученых*, т. 1, Санкт-Петербург, 19–20 мая 2022 г.: Изд-во СПбГЭТУ «ЛЭТИ», 2022. С. 108–111.
- [41] Huang G., Yengannagari A.R., Matsumori K., Patel P., Datla A., Trindade K., Amarsanaa E., Zhao T., Köhler U., Busko D., Richards B.S. Radioactive cooling and in door light management and self-cleaning polymer based metamaterial // *Nature Communications*, 2024, v. 15 (1), article number 3798. DOI: 10.1038/s41467-024-48150-2
- [42] Salatto D., Huang Z., Benziger P.T., Carrillo J.-M. Structure-based Design of Dual Bactericidal and Bacteria-Releasing Nanosurfaces // *ACS Appl. Mater. Interfaces*, 2023, v. 15, iss. 2, pp. 3420–3432. <https://doi.org/10.1021/acsami.2cx18121>
- [43] Кричевский Г.Е. Учимся мудрости у природы. М.: Сам полиграфист, 2015. 151 с.
- [44] Чашухин В.Г. Движение миниатюрного робота в ограниченном пространстве: дис. ... канд. физ.-мат. наук. Учреждение Российской академии наук Ин-

- ститута проблем механики им. А.Ю. Ишлинского РАН. М., 2008.
- [45] Нажипкызы М., Мансуров З.А. Супергидрофобные материалы и покрытия: обзор // Горение и плазмохимия, 2020. № 18. С. 163–189.
- [46] Евдокимов Ю.М., Мещеряков А.В., Русских Д.В. Проблемы Арктического материаловедения (адгезия) // Клеи. Герметики. Технологии, 2022. № 11. С. 39–42. DOI: 10.31044/1813-7008-2022-0-4-39-42
- [47] Евдокимов Ю.М., Прохоров В.Ю., Гудков М.А., Бамба Э.Ж. Адгезия на ювенильных и подобных контактах // Современные достижения в области клеев и герметиков: материалы, сырье, технологии: сб. трудов Тезисы докладов IV Междунар. науч.-техн. конф., 26–28 сентября 2023 года, Дзержинск. Нижний Новгород: ИП Гладкова Оксана Викторовна, 2023, с. 265–267.
- [48] Kraus D., Manson J. Adhesion of polyethylene and poly-styrene to steel // Polymer JU. Sci., 1951, v. 6, p. 625.
- [49] Lo C-W, Sahoo V., Lu M-C. Control of Ice Formation // ACS Nano, February 28, 2017, v. 11, iss. 3, pp. 2665–2674. DOI:10.1021/acsnano.6b07348

Сведения об авторах

Евдокимов Юрий Михайлович — канд. хим. наук, профессор, ФГБОУ ВО «Академия Государственной противопожарной службы МЧС России» (Академия ГПС МЧС России), evdokur@mail.ru

Мещеряков Алексей Викторович — начальник Учебно-научного комплекса, ФГБОУ ВО «Академия Государственной противопожарной службы МЧС России» (Академия ГПС МЧС России), malviktrp@gmail.ru

Прохоров Виктор Юрьевич — канд. техн. наук, профессор, ФГБОУ ВО «Академия Государственной противопожарной службы МЧС России» (Академия ГПС МЧС России), prohorovv@yandex.ru

Гудков Максим Андреевич — канд. техн. наук, доцент, ФГБОУ ВО «Академия Государственной противопожарной службы МЧС России» (Академия ГПС МЧС России), gudokmaksim@yandex.ru

Поступила в редакцию 29.08.2024.

Одобрено после рецензирования 21.01.2025.

Принята к публикации 10.04.2025.

LOTUS EFFECT AND ADHESION STRENGTH ADJUSTMENT. OVERVIEW

Yu.M. Evdokimov[✉], A.V. Meshcheryakov, V.Yu. Prohorov, M.A. Gudkov

State Fire Academy of EMERCOM of Russia, 4, Boris Galushkina st., 129366, Moscow, Russia

evdokur@mail.ru

The so-called lotus effect found on natural objects is considered. Numerous examples are given to change the adhesion strength in the desired direction, considering the effect mentioned. The possibility of obtaining nature-like artificial surfaces of solid bodies in order to prevent undesirable processes of icing and biofouling — aircraft, marine vessels, buildings and structures, electrical wires, offshore oil rigs for oil extraction and even plants from icy rains is shown.

Keywords: lotus-effect, adhesion, adhesion strength, wetting, hydrophilicity, hydrophobicity, superhydrophobicity

Suggested citation: Evdokimov Yu.M., Meshcheryakov A.V., Prokhorov V.Yu., Gudkov M.A. *Lotos-effekt i regulirovanie adgezionnoy prochnosti. Obzor* [Lotus effect and adhesion strength adjustment. Overview]. Lesnoy vestnik / Forestry Bulletin, 2025, vol. 29, no. 3, pp. 169–180. DOI: 10.18698/2542-1468-2025-3-169-180

References

- [1] Deryagin B.V., Krotova N.A., Smilga V.P. *Adgeziya tverdykh tel* [Adhesion of solids]. Moscow: Nauka, 1973, 280 p.
- [2] Bikerman I.I. The science of adhesion Joints. N.Y.; London: Academic Press, 1968, 349 p.
- [3] Evdokimov Yu.M., Fedorov M.S. Methods of Adhesiometry of Adhesive Bonds. Polymer Science, Series D, 2012, v. 5, no. 1, pp. 20–26.
- [4] Evdokimov Yu.M. *Adgeziya. Ot makro- i mikrourovniya k nanosistemam* [Adhesion. From macro- and microlevels to nanosystems]. Moscow: MSFU, 2011, 208 p.

- [5] Berlin A.A., Basin V.E. *Osnovy adgezii polimerov* [Basics of polymer adhesion]. Moscow: Khimiya [Chemistry], 1974, 392 p.
- [6] De Gennes P., Bados J. *Khrupkie ob'ekty* [Fragile objects]. Moscow: Mir, 2000, 188 p.
- [7] Vakula V.L., Pritykin L.M. *Fizicheskaya khimiya adgezii polimerov* [Physical chemistry of polymer adhesion]. Moscow: Khimiya [Chemistry], 1984, 222 p.
- [8] Moskvitin N.I. *Fiziko-khimicheskie osnovy protsessov skleivaniya i prilipaniya* [Physicochemical foundations of gluing and adhesion processes]. Moscow: Lesnaya prom-st' [Forest Industry], 1974, 101 p.
- [9] Vilnave J.-J. *Kleevye soedineniya* [Adhesive connections]. Moscow: Tekhnosfera, 2007, 384 p.
- [10] Zimon A.D. *Adgeziya pyli i poroshkov* [Adhesion of dust and powders]. Moscow: Khimiya [Chemistry], 1978, 431 p.
- [11] Kinlok E. *Adgeziya i adgezivy. Nauka i tekhnologiya* [Adhesion and adhesives. Science and technology]. Moscow: Mir, 2001, 484 p.
- [12] Aronovich D.A. *Anaerobnye adgezivy: sostav, svoystva, primeneniye* [Anaerobic adhesives: composition, properties, application]. N. Novgorod: Gladkova O.V., 2024, 444 p.
- [13] Kendal K. Thin — film peeling — the elastic term // J. Phys., D 8, 1975, pp. 1449–1453.
- [14] Biscof C., Possart W. Adhesion — Theoretische und experimentelle Grundlagen. Berlin: Akademie Verlag, 1983, 609 p.
- [15] *Bionika 2022: sb. statey II Mezhdunarodnoy nauchno-prakticheskoy konferentsii* [Bionika 2022: collection of scientific papers. articles of the II International Scientific and Practical Conference], December 23–24, 2022. Moscow: Association of Technical Universities, 2023, 285 p.
- [16] Israelachvili J. *Intermolecular and Surface Forces*. London: Academic Press, 1992, 296 p.
- [17] Maeno N. *Nauka o l'de* [Science of Ice]. Moscow: Mir, 1988, 231 p.
- [18] Adamson A.U. *Fizicheskaya khimiya poverkhnostey* [Physical Chemistry of Surfaces]. Moscow: Mir, 1979, 568 p.
- [19] Abramzon A.A. *Voz'mem za obrazets list lotosa* [Let's Take a Lotus Leaf as a Sample]. *Khimiya i zhizn'* [Chemistry and Life], 1982, no. 11, pp. 38–40.
- [20] Kondrashov S.V. *Issledovanie adgezii l'da k nanomodifitsirovannym poliuretanovym pokrytiyam* [Study of Ice Adhesion to Nanomodified Polyurethane Coatings]. Mater. Vserossiyskoy NG konferentsii «Termoplastichnye materialy i funktsional'nye pokrytiya» [Proc. All-Russian NG Conference «Thermoplastic Materials and Functional Coatings»], April 23, 2019. Moscow: All-Russian Research Institute of Aviation Materials, National Research Center «Kurchatov Institute», 2019, pp. 118–126.
- [21] Lebedev G.A., Tripol'nikov V.P. *Razrabotka sposobov i tekhnologicheskikh priemov razrusheniya atmosferykh naleyey vzryvami* [Development of methods and technological techniques for the destruction of atmospheric ice by explosions]. *Problemy Arktiki i Antarktiki* [Problems of the Arctic and Antarctic], 2009, no. 1 (81), pp. 80–85.
- [22] Buzik V.M., Kablov B.N. *Arkticheskoe materialovedenie. Vyp. 3. Tomsk: Izdatel'skiy Dom Tomskogo gosudarstvennogo universiteta* [Arctic Materials Science]. Iss. 3. Tomsk: Publishing House of Tomsk State University, 2018, 44 p.
- [23] Geguzin Ya.E. *Kaplya* [Kaplya]. Moscow: Science, 1977, 176 p.
- [24] Barthlott W., Neinhuis C. Purity of the sacred lotus, or escape from condensation in biological Surface. *Planta*, 1997, v. 202, pp. 1–8.
- [25] Gorb S.N., Gorb E.V. Anti-icing strategies of plant surfaces: the ice formation on leaves visualized by Cryo-SEM experiment. *The Science of Nature*, 2022, v. 109, article 24.
- [26] McGorty R., Fung J., Kaz D., Manoharan V.N. Colloidal self-assembly at an interface. *Materials Today*, 2010, v. 13, no. 6, pp. 34–38.
- [27] Agbenyega J. A window that washes itself: Nanotechnology. DOI:10.1016/S1369-7021(10)70025-0
- [28] Malkin A.Ya., Patlazhan S.A., Kulichikhin V.G. *Fiziko-khimicheskie yavleniya, privodyashchie k skol'zheniyu zhidkosti po tverdogy poverkhnosti* [Physicochemical phenomena leading to liquid sliding on a solid surface]. *Uspekhi khimii* [Uspekhi Khimii], 2019, no. 88(3), pp. 319–349.
- [29] Muller M., Hrabe P., Chotoborsky R., Herak D. Evaluation of factors influencing adhesive bond strength. *RES. AGR. ENG.*, 2006(1), v. 52, pp. 30–37.
- [30] Hong X., Gao X., Jiang L. Application of superhydrophobic Surface with High Adhesive Force in No Lost Transport of Superparamagnetic Microdroplet. *J. Am. Chem. Soc.*, 2007, v. 129 (6), pp. 1478–1479.
- [31] Li X., Bista P., Stetten A.Z., Bonart H. Spontaneous charging affects the motion of sliding drops. *Nature Physics*, v. 18(6), pp. 1–7. DOI:10.1038/s41567-022-01563-6
- [32] Shilova O.A., Khalaman V.V., Nguen V.Chi., Kondratenko Yu.A., Glebova I.B., Sokolov G.S., Voshchikov V.I., Poletaev K.A., Kochina T.A. *Vliyanie sostava i sostoyaniya poverkhnosti protivobrazstayushchikh pokrytiy na stepen' bioobrazstaniya po rezul'tatam klimaticheskikh morskikh ispytaniya v tropikakh i okolo polyarnogo kruga* [Influence of the composition and surface condition of antifouling coatings on the degree of biofouling based on the results of climatic sea tests in the tropics and near the Arctic Circle]. *Khimiya dlya biologii, meditsiny, ekologii i sel'skogo khozyaystva: sb. tezisov dokladov 3 Mezhdunarodnogo simpoziuma ISCHEM-2024* [Chemistry for biology, medicine, ecology and agriculture: collection of scientific papers]. Abstracts of the 3rd International Symposium ISCHEM-2024, June 5–7, 2024. St. Petersburg: Lema, 2024, pp. 34–35.
- [33] Vinogradova O.I., Dubov A.L. Superhydrophobic textures for microfluidics. *Mendelev Commun*, 2012, v. 19, pp. 229–237.
- [34] Bing W., Wang H., Tian L., Zhao J., Jin H., Du W., Ren L. Small Structure, Large effect: Functional Surfaces inspired by Salvinia Leaves, 2021, v. 2, iss. 9, p. 2100079. <https://doi.org/10.1002/sstr.202100079>
- [35] Boinovich L.B., Emelyanenko A.M. Recent progress in understanding the anti-icing behavior of materials. *Adv. Colloid Interface Sci.*, 2024, v. 323, p. 103057. <https://doi.org/10.1016/j.cis.2023.103057>

- [36] Belyaev A.V., Vinogradova O.I. Electro-osmosis on Anisotropic Superhydrophobic Surface. *Phys.Rev. Letters*, 2011, v. 107, p. 098301 (1–4).
- [37] Gu Z., Li S., Zhang F., Wang Sh. Understanding Surface Adhesion in Nature: A Peeling Model. *Adv. Sci.* 2016, v. 3, p. 1500327. DOI: 10.1002/advs.201500327
- [38] Kestelman V.N., Jevdokimov J.M. Einige neue gtsichtspunkte zu adhasionsbeziehungen. *Plaste und kautschuk*, 1992, v. 39, no. 10, pp. 345–346.
- [39] Barthwal S., Uniyal S., Barthwal S. Nature-Inspired Superhydrophobic Coating Materials: Drawing Inspiration from Nature for Enhanced Functionality. *Micromachines*, 2024, v. 15(3), p. 391. DOI: 10.3390/mi15030391
- [40] Novikov I.A. *Issledovanie osobennostey gidrofobno-gidrofil'nykh svoystv antiobledenitel'nykh pokrytiy metodami ASM* [Study of the Features of Hydrophobic-Hydrophilic Properties of Anti-Icing Coatings by AFM Methods]. *Nauka nastoyashchego i budushchego: sb. materialov konferentsii Kh nauchno-prakticheskaya konferentsiya s mezhdunarodnym uchastiem dlya studentov, aspirantov, molodykh uchenykh* [Science of the Present and the Future: Conference Proceedings, X Scientific and Practical Conference with International Participation for Students, Postgraduates, and Young Scientists], v. 1, NSB X, St. Petersburg, May 19–20 (21), 2022. St. Petersburg: ETU «LETI», 2022, pp. 108–111.
- [43] Krichevskiy G.E. *Uchimsya mudrosti u prirody* [Learning Wisdom from Nature]. Moscow: Sam Polygraphist, 2015, 151 p.
- [44] Chashchukhin V.G. *Dvizhenie miniatyurnogo robota v ogranichenom prostranstve* [Movement of a miniature robot in a limited space]. Dis. Cand. Sci. (Phys. and Mathematics). Institution of the Russian Academy of Sciences, Institute for Problems in Mechanics named after A.Yu. Ishlinsky, Russian Academy of Sciences, Moscow, 2008.
- [45] Nazhipkyzy M., Mansurov Z.A. *Supergidrofobnye materialy i pokrytiya: obzor* [Superhydrophobic materials and coatings: a review]. *Gorenie i plazmokhimiya* [Combustion and Plasma Chemistry], 2020, no. 18, pp. 163–189.
- [46] Evdokimov Yu.M., Meshcheryakov A.V., Russkikh D.V. *Problemy Arkticheskogo materialovedeniya (adgeziya)* [Problems of Arctic Materials Science (adhesion)]. *Klei. Germetiki. Tekhnologii* [Adhesives. Sealants. Technologies], 2022, no. 11, pp. 39–42. DOI: 10.31044/1813-7008-2022-0-4-39-42
- [47] Evdokimov Yu.M., Prokhorov V.Yu., Gudkov M.A., Bamba E.Zh. *Adgeziya na yuvenil'nykh i podobnykh kontaktakh* [Adhesion on juvenile and similar contacts]. *Sovremennye dostizheniya v oblasti kleev i germetikov: materialy, syr'e, tekhnologii: sb. trudov Tezisy dokladov IV Mezhdunarodnoy nauchno-tekhnicheskoy konferentsii* [Modern achievements in the field of adhesives and sealants: materials, raw materials, technologies: collection of works Abstracts of the IV International Scientific and Technical Conference], September 26–28, 2023, Dzerzhinsk. Nizhny Novgorod: Gladkova O.V., 2023, pp. 265–267.
- [48] Kraus D., Manson J. Adhesion of polyethylene and poly-styrene to steel. *Polymer JU. Sci.*, 1951, v. 6, p. 625.
- [49] Lo C-W, Sahoo V., Lu M-C. Control of Ice Formation // *ACS Nano*, February 28, 2017, v. 11, iss. 3, pp. 2665–2674. DOI:10.1021/acsnano.6b07348

Authors' information

Evdokimov Yuriy Mikhaylovich✉ — Cand. Sci. (Chem.), Professor of the State Fire Academy of EMERCOM, evdokur@mail.ru

Meshecheryakov Aleksey Viktorovich — Head of Department of Process of Fire, State Fire Academy of EMERCOM, malviktp@gmail.ru

Prokhorov Viktor Yur'evich — Cand. Sci. (Tech.), Professor of the State Fire Academy of EMERCOM, prohorovv@yandex.ru

Gudkov Maksim Andreevich — Cand. Sci. (Tech.), Associate Professor of the State Fire Academy of EMERCOM, Moscow, gudokmaksim@yandex.ru

Received 29.08.2024.

Approved after review 21.01.2025.

Accepted for publication 10.04.2025.

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

ПАРАМЕТРИЧЕСКАЯ ОПТИМИЗАЦИЯ ПОЛУЧЕНИЯ ПРОДОВОЛЬСТВЕННОЙ ПРОДУКЦИИ С УЧЕТОМ ОСОБЕННОСТЕЙ ХАРАКТЕРИСТИК ВРЕМЕННЫХ РЯДОВ

М.Н. Барсукова[✉], Я.М. Иваньо, И.А. Ковадло, В.В. Цыренжапова

ФГБОУ ВО «Иркутский государственный аграрный университет имени А.А. Ежевского», Россия, 664038, Иркутская обл., муниципальный район Иркутский, сельское поселение Молодежное, пос. Молодежный, здание 1/1

margarita1982@bk.ru

Рассмотрено моделирование характеристик временных рядов, связанных с получением продовольственной продукции, на основе статистических методов. Проанализированы характеристики временных рядов, разделенные на три группы по динамико-стохастическим свойствам: 1) характеристики временных рядов, описываемые значимыми многоуровневыми трендами со значимыми коэффициентами регрессионных выражений; 2) характеристики временных рядов, обладающие более высоким рассеянием чем характеристики первой группы; 3) характеристики временных рядов, являющиеся случайными, или обладающие значимыми низкими коэффициентами автокорреляции, например, климатические и экологические. Приведены выявленные статистические закономерности рассмотренных характеристик. Предложен алгоритм стохастической оптимизации параметрической задачи производства продукции в условиях перехода значений характеристик временных рядов модели в события.

Ключевые слова: моделирование временных рядов, вероятность, задача параметрического программирования, продовольственная продукция

Ссылка для цитирования: Барсукова М.Н., Иваньо Я.М., Ковадло И.А., Цыренжапова В.В. Параметрическая оптимизация получения продовольственной продукции с учетом особенностей характеристик временных рядов // Лесной вестник / Forestry Bulletin, 2025. Т. 29. № 3. С. 181–193. DOI: 10.18698/2542-1468-2025-3-181-193

Учитывая изменчивость климата [1], влияние множества факторов на аграрное производство и заготовку дикоросов, а также условия развития новых технологий, актуальность приобрело решение задач управления деятельностью сельскохозяйственных товаропроизводителей и заготовителей с помощью моделирования временных рядов [2–6] и использования закономерностей их изменчивости для оптимизации производства сельскохозяйственной продукции и заготовки дикоросов.

В работах [7–11] приведены прикладные модели математического программирования с детерминированными, неопределенными параметрами и экспертными оценками для решения задач планирования деятельности сельскохозяйственных организаций и заготовителей пищевой дикорастущей продукции в Иркутской области, которыми воспользуемся в данном исследовании.

При анализе динамики производственно-экономических, экологических и климатических характеристик, входящих в состав моделей

математического программирования, в отдельную группу с учетом иерархической структуры временных рядов можно выделить характеристики, обладающие динамико-стохастическими свойствами. Выделение последовательностей локальных минимумов и максимумов во временных рядах отражено в работе [12]. В развитие этой идеи в статье [4] предложено в случае наличия значимых трендов всего ряда и последовательностей локальных минимумов и максимумов осуществлять многоуровневый прогноз на многолетнюю перспективу и оценивать события — уровни ряда, располагающиеся выше тренда локальных максимумов и ниже тренда локальных минимумов, с помощью вероятностных распределений.

Анализируя таким способом разные характеристики, можно определить свойства их изменчивости для использования при моделировании производства продовольственной продукции с помощью экстремальных задач. В зависимости от особенностей характеристик временных рядов, входящих в состав моделей, используются соответствующие оптимизационные модели: параметрические, стохастические и смешанные.

Материалы и методы

В параметрической оптимизации большое значение имеют теоретические работы, в которых выделены разные составляющие временных рядов [4, 12, 13], дана оценка их стационарности [14] и иерархической структуре [15], представлены интеллектуальный анализ [16], прогнозирование характеристик в условиях повышенной неопределенности [17], оптимизация различных сторон экономической деятельности при принятии компромиссных решений [18–20] и неполной информации [21].

При построении оптимизационных математических моделей получения продовольственной продукции необходим комплекс данных о производственно-экономических [22, 23], природно-климатических [24–26], экологических, пищевых дикорастущих ресурсах [10, 11], промысловых диких животных и др. Большое значение имеет учет вероятных рисков, связанных с разнообразием направлений производственной деятельности [27–29]. Помимо моделирования неблагоприятных ситуаций имеет смысл моделировать производство аграрной продукции в благоприятных условиях для оценки потенциала товаропроизводителя [30].

Цель работы

Цель работы — выделение групп характеристик временных рядов в соответствии со стохастическими свойствами для их использования в оптимизационных моделях производства аграрной продукции для планирования в зависимости от разных условий осуществления деятельности товаропроизводителей.

Результаты и обсуждение

При моделировании, построении законов распределения вероятностей, моделей математического программирования нами использованы методы математического моделирования, приведенные в работах [20, 31–35].

К производственным характеристикам развития растениеводства относятся валовый сбор продукции и урожайность сельскохозяйственных культур, а животноводства — численность поголовья скота и птицы, продуктивность сельскохозяйственных животных и валовое производство продукции [7]. Экономические характеристики отображают конечный результат финансовой деятельности сельскохозяйственных предприятий, эффективность производства: объем и стоимость валовой и товарной продукции; производительность труда; средне-

годовой заработок одного работника; себестоимость продукции растениеводства и животноводства; величина фондоотдачи; уровень рентабельности; прибыль [5, 6, 9].

На деятельность производителей и заготовителей продовольственной продукции оказывают влияние природно-климатические условия: географическое положение предприятия, особенности изменчивости факторов тепла и влагообеспеченности сельскохозяйственных растений, высота местности, экспозиция склона. Объем производимой и заготавливаемой продукции зависит от таких гидрометеорологических факторов, как температура воздуха и почвы, осадки, испарение, расходы воды рек, а также от экстремальных событий, с которыми связан возможный значительный ущерб, наносимый сельскохозяйственным товаропроизводителям [1, 12].

Экологические характеристики отражают уровень негативного влияния на окружающую среду как природных, так и антропогенных факторов. К ним относятся следующие показатели: концентрация вредных примесей в воздушной, водной и почвенной среде; объем выбросов вредных частиц и газов; уровень излучения; падеж животных вследствие эпидемий, пандемий и болезней, потери урожая от повреждения вредителями и по причине болезней сельскохозяйственных растений и др. Эрозия почвы, абразионные явления размыва берегов, затопления и подтопления территорий также оказывают негативное влияние на деятельность товаропроизводителей.

Причины многих экологических процессов связаны с гидрометеорологическими факторами. В частности, эрозионные процессы в большой степени обусловлены ураганами и ливнями.

Модели, разработанные с помощью математического программирования, отражают производственную деятельность товаропроизводителей в сельском хозяйстве и заготовку пищевой дикорастущей продукции, характеризуясь большим числом неопределенных коэффициентов при неизвестных целевой функции и ограничений [10, 11]. Для снятия неопределенности характеристик следует выявить их свойства, для того чтобы получить математические модели для описания трендов, авторегрессионных, факторных, циклических и смешанных зависимостей в соответствии с критериями точности и адекватности.

Поскольку при управлении производством продовольственной продукции следует учитывать динамику различных сторон деятельности товаропроизводителей и заготовителей,

то опыт статистической обработки большого числа характеристик временных рядов [4, 7, 22, 27, 29] дает возможность разделения их по динамико-стохастическим свойствам на несколько групп.

Первая группа объединяет характеристики, временные ряды которых описываются значимыми многоуровневыми трендами со значимыми коэффициентами регрессионных выражений. Другими словами, весь временной ряд и последовательности нижних и верхних уровней, выделенные в нем по локальным экстремумам [4], характеризуются значимыми регрессионными выражениями в соответствии со статистическими критериями. К таким характеристикам можно отнести урожайность сельскохозяйственных культур, трудозатраты на производство единицы продукции, количество сельскохозяйственных животных, их продуктивность и др.

Для оптимизации производства аграрной продукции применяют задачу параметрического программирования в виде:

$$f^l = \sum_{j \in J} c_j^l(t) x_j \rightarrow \max(\min), \quad (1)$$

$$\sum_{j \in J} a_{ij}^l(t) x_j \leq (\geq) b_i^l(t), (i \in I), (l \in L), \quad (2)$$

$$x_j \geq 0, \quad (3)$$

где f^l — целевая функция;

$c_j^l(t)$ — прибыль или затраты на единицу произведенной продукции вида j на уровне l , зависящие от времени t , изменяющегося в пределах значений $[\alpha, \beta]$;

$a_{ij}^l(t)$ — коэффициенты при неизвестных x_j , описывающие удельные ресурсы;

$b_i^l(t)$ — вид ресурса предприятия;

I — количество видов ресурсов;

L — число уровней ряда, характеризующее усредненные, благоприятные и неблагоприятные условия деятельности.

Для описания прибыли (или затрат) на единицу произведенной продукции $c_j^l(t)$, коэффициентов $a_{ij}^l(t)$ и вида ресурса $b_i^l(t)$ применяются линейные и нелинейные выражения, что связано с внешними условиями производства, иными технологиями, продолжительностью деятельности предприятия и другими факторами.

Задача (1)–(3) позволяет определять оптимальные планы объема производства аграрной продукции исходя из прогностических значений, полученных с помощью регрессионных выражений.

Так, на основе многоуровневых трендовых моделей, решена задача оптимизации объема

производства растениеводческой продукции в Эхирит-Булагатском районе Иркутской области. В частности, определено, что доход как критерий оптимальности для некоторых усредненных условий при использовании логистической и асимптотической функций за период 2023–2025 гг. может варьировать от 252,5 до 280,6 млн руб. Наблюдается тенденция увеличения посевных площадей ежегодно на 2 % в рассмотренном районе, что приведет к повышению значения целевой функции в 2025 г. относительно уровня 2022 г. на 11,1 %, а объем производимой продукции растениеводства возрастет на 10,3 %. Для благоприятных условий критерий оптимальности за рассматриваемый период увеличится — от 283,8 до 309,4 млн руб. Тенденция возрастания объема производства растениеводческой продукции в случае неблагоприятных условий несколько иная — рост дохода и объема производства в 2025 г. относительно 2022 г. соответствует 8,2 %. При неблагоприятных условиях значение критерия оптимальности за 2023–2025 гг. будет изменяться в пределах 204,2–223,8 млн руб. Потери дохода относительно усредненных значений могут составить 19,1–20,3 %, а объем производства может сократиться на 19,6–20,7 %.

Предложенная экстремальная задача (1)–(3) имеет ограниченное использование, поскольку модели, связанные с управлением производством аграрной продукции в рамках агрохолдингов, муниципальных образований, агроландшафтных районов, включают в себя некоторые неопределенные характеристики. Тем не менее, решение этой задачи частично снимает неопределенность, что дает возможность лучше описывать ситуации деятельности отдельных товаропроизводителей в разных условиях.

Вторая группа характеристик временных рядов обладает более высоким рассеянием по отношению к первой группе. Здесь не все последовательности характеристик временных рядов, рассматриваемых в виде иерархических структур, описываются значимыми трендами (табл. 1).

Согласно полученным результатам тренд всего ряда не обладает удовлетворительной точностью, поскольку коэффициент детерминации R^2 ниже 0,50 (см. табл. 1). Вместе с тем последовательности верхних и нижних уровней ряда характеризуются значимыми регрессионными выражениями в соответствии с расчетными значениями коэффициентов R^2 , F -критерия Фишера и t -критерий Стьюдента. Уровень значимости расчетных значений F -критерия Фишера для уравнений нижнего и верхнего уровня соответствует 0,022 и 0,045. Несколько

Т а б л и ц а 1

Статистическая оценка многоуровневых трендов урожайности картофеля в Заларинском районе и заготовки дикорастущих ягод в Иркутской области

Statistical assessment of multi-level trends in potato yields in the Zalarinsky district and procurement of wild berries in the Irkutsk region

Последовательность	Уравнение	Коэффициент детерминации R^2	F -критерий Фишера	t -критерий Стьюдента
Урожайность картофеля в Заларинском районе (ц/га), по данным 1996–2021 гг.				
Весь ряд	$v = \frac{178,8}{1 + e^{-0,105t}}$	0,49	24,3	–4,92
Нижние уровни	$v_{н.у} = \frac{155,1}{1 + e^{-0,173t}}$	0,77	20,2	–4,49
Верхние уровни	$v_{в.у} = \frac{178,8}{1 + e^{-0,197t}}$	0,54	7,1	–2,66
Заготовка дикорастущих ягод (т) в Иркутской области, по данным 1961–1991 гг.				
Весь ряд	$v = 543,3 - 466,1e^{-0,0668t}$	0,40	20,1	–4,48
Верхние уровни	$v_{в.у} = 543,3 - 269,2e^{-0,113t}$	0,61	17,0	–4,12
Нижние уровни	$v_{н.у} = 364,5 - 287,3e^{-0,0793t}$	0,34	5,2	–2,28

меньше эти показатели для t -критерия Стьюдента — 0,017 и 0,038.

В такую группу характеристик могут входить наряду с урожайностью сельскохозяйственных культур и трудозатратами на производство единицы продукции заготовка некоторых видов дикоросов (см. табл. 1), некоторые биологические характеристики, например, динамика популяции грызунов, вредителей сельскохозяйственных культур. Уровни значимости расчетных значений F -критерия Фишера и t -критерия Стьюдента для уравнения регрессии верхнего уровня соответствуют 0,0021 и 0,0017.

Приведенные многоуровневые модели можно использовать при моделировании производства аграрной продукции и заготовки дикорастущей продукции с неопределенными характеристиками.

Характеристики с динамико-стохастическими свойствами позволяют использовать задачи параметрического программирования с вероятностными величинами для оптимизации производства продовольственной продукции:

$$f^p = \sum_{j \in J} c(t)_j^p x_j \rightarrow \max(\min), \quad (4)$$

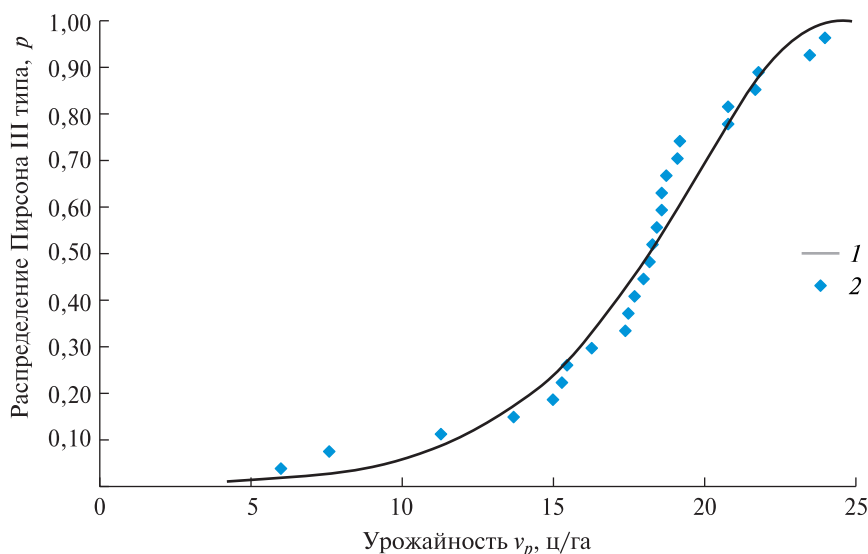
$$\sum_{j \in J} a(t)_{ij}^p x_j \leq (\geq) b(t)_i^p, (i \in I), (l \in L), \quad (5)$$

$$x_j \geq 0. \quad (6)$$

В задаче (4)–(6) коэффициенты $c(t)_j^p$, $a(t)_{ij}^p$ и правая часть $b(t)_i^p$ представляют собой динамико-стохастические характеристики, связанные с параметром t , изменяющимся в пределах значений $[\alpha, \beta]$, и вероятностью p . Решением задачи будут оптимальные значения целевой функции f^p , связанные с параметром t и вероятностью p , которым соответствуют оптимальные планы.

Таким образом, если одну часть характеристик модели можно описать трендами, а другую — законами распределения вероятностей с учетом динамики, то в этом случае может быть использована динамико-стохастическая модель [12]. Поскольку значения последовательности отклонений фактических значений от значений тренда могут быть положительными и отрицательными, а выборка обладает разной асимметрией, для ее адекватного описания применимо распределение Пирсона III типа, подробно описанное в работах [32, 33].

Рассмотрим применение задачи (4)–(6) для оптимизации зерновых культур, картофеля и овощей в Зиминском районе Иркутской области. Используя многоуровневые трендовые модели, найдем прогностические значения урожайности сельскохозяйственных культур для рассматриваемого района, за исключением биопродуктивности овса, которая представляет собой случайную выборку, описываемую распределением Пирсона III типа в соответствии с критерием согласия Колмогорова и свойствами функции для уровня значимости 0,05. При оптимиза-



Распределение Пирсона III типа для урожайности овса (1) по данным Зиминского района Иркутской области (2) за 1996–2021 гг.
Pearson type III distribution for oat yield (1) according to data from the Ziminsky district of the Irkutsk region (2) for 1996–2021

Т а б л и ц а 2

Статистические параметры вероятностного распределения Пирсона III типа для событий урожайности пшеницы и картофеля, по данным Заларинского района Иркутской области за 1996–2021 гг.

Statistical parameters of the Pearson type III probability distribution for wheat and potato yield events according to data from the Zalarinsky district of the Irkutsk region for 1996–2021

Культура	Модель	Среднее значение, ц/га	Среднее квадратическое отклонение, ц/га	Усредненные потери, ц/га	Год редкого события	Вероятность p	Потери
Пшеница	Динамико-стохастическая	0,94	3,15	2,9	2005	0,047	4,85
Картофель	Распределение Пирсона III типа	139	19,6	—	1997	0,0086	78,3
	Динамико-стохастическая	6,18	24,0	17,3	2008	0,0093	36,1

ции объемов производства овса урожайность на каждом уровне иерархии ряда принята в виде среднего значения. Для всех уровней ряда (усредненные условия) среднее значение равно 17,4 ц/га, что соответствует вероятности 0,423. Что касается последовательностей нижних (неблагоприятные условия) и верхних (благоприятные условия) уровней, то их средние значения составляют 13,3 и 21,0 ц/га, что соответствует вероятностям 0,161 и 0,20 (рисунок).

На основе решения задачи (4)–(6) доходы от деятельности сельскохозяйственных товаропроизводителей в растениеводстве Зиминского района в 2024 и 2025 гг. могут достигнуть в усредненных условиях 441,1 и 451,5 млн руб. Для неблагоприятных условий значения це-

левой функции в эти годы будут значительно ниже — 372,8 и 380,9 млн руб. (15,1...15,6 % по доходам и 17,3...17,8 % по объемам производства продукции). В благоприятных условиях смоделированные доходы в 2024 и 2025 гг. равняются 463,5 и 473,4 млн руб., а объем производства относительно 2022 г. может увеличиться на 4,4 и 6,6 %.

Перейдем к третьей группе, в которую входят климатические и некоторые экологические характеристики, временные ряды которых являются случайными или обладают значимыми низкими коэффициентами автокорреляции (табл. 2).

Расчет по динамико-стохастической модели (см. табл. 2) отражает распределение разностей исходных значений и значений трендов

последовательностей нижних уровней. В этих случаях редкие события, влекущие за собой значительные потери урожайности, наблюдались в 2005 и 2008 гг. Потери биопродуктивности пшеницы относительно усредненных неблагоприятных условий составили 4,85, а картофеля — 36,1 ц/га. Вероятности этих событий p соответствуют 0,047 и 0,0093.

В случае непредсказуемости изменения характеристик, входящих в модель оптимизации получения продовольственной продукции, для моделирования можно использовать экстремальную задачу (4)–(6), исключив из нее символ l , характеризующий три последовательности исходных рядов:

$$f^p = \sum_{j \in J} c_j^p x_j \rightarrow \max(\min), \quad (7)$$

$$\sum_{j \in J} a_{ij}^p x_j \leq (\geq) b_i^p, (i \in I), (l \in L), \quad (8)$$

$$x_j \geq 0. \quad (9)$$

На основе задачи (7)–(9) можно получить распределение критерия оптимальности и соответствующие его значениям оптимальные планы. Так, при оптимизации производства аграрной продукции необходимо учитывать риски, связанные с климатическими и техногенными процессами [30]. Экстремальные явления наносят значительный ущерб товаропроизводителям. Как следствие этого фиксируется сильная пространственно-временная вариация урожайности сельскохозяйственных культур, поэтому предприятиям следует планировать работу таким образом, чтобы минимизировать риски.

Рассмотрим стохастическую модель с учетом трендов, описывающую ситуацию перехода значений характеристик в события [4]. Приведем алгоритм решения такой задачи на примере производства растениеводческой продукции в Нукутском районе Иркутской области.

На первом этапе в рядах характеристик модели выделяются многоуровневые тренды. Затем по разности фактических данных и значений трендов нижних уровней временных рядов формируются выборки, отрицательные значения которых соответствуют уровням, отнесенным к неблагоприятным событиям [4]. Значение, соответствующее переходу положительных разностей к отрицательным величинам, назовем критическим уровнем. Событие, определяющее наименьшую отрицательную разность, отнесем к редким значениям, при котором наблюдаются наибольшие потери урожайности. Каждому событию соответствует вероятность, полученная на основании закона

распределения, в качестве которого использовано распределение Пирсона III типа.

При отсутствии трендов строится закон распределения характеристики ряда. Для определения критических уровней можно использовать статистические критерии или физические отметки, выше или ниже которых наблюдаются неблагоприятные события. В частности, при оценке урожайности сельскохозяйственной культуры v критическим считается значение не выше $0,8\bar{v}$, где $\bar{v}$ — средняя величина ряда характеристики.

На следующем этапе формируется задача математического программирования с учетом полученных характеристик, часть из которых являются постоянными, а другая — вероятностными величинами. Затем осуществляется решение задачи, соответствующей некоторой усредненной вероятности.

Целевая функция параметрической задачи с вероятностными характеристиками ориентирована на максимум доходов сельскохозяйственных предприятий муниципального района

$$f = \sum_{s \in S} c_s^l x_s \rightarrow \max, \quad (10)$$

при следующих условиях:

1) ограниченности производственных ресурсов

$$\sum_{s \in S} a_{zs}^l x_s \leq A_z^l, z \in Z, \quad (11)$$

2) ограниченности размера растениеводческой отрасли

$$\underline{n}_r \sum_{s \in S} (1 + \beta_s) x_s \leq \bar{n}_r, r \in R, \quad (12)$$

3) заданному объему конечной продукции

$$\sum_{s \in S} v_{qs}^{lp}(t) x_s \geq V_q^l, q \in Q, \quad (13)$$

4) определенного количества вносимых удобрений и средств защиты растений

$$\sum_{s \in S} b_{ms}^l x_s \leq B_m^l, m \in M, \quad (14)$$

5) неотрицательности переменных

$$x_s \geq 0, \quad (15)$$

где x_s — искомая переменная, площадь культуры s или вида кормовых угодий;

l — номер уровня тренда (усредненные условия — 1, благоприятные условия — 2, неблагоприятные условия — 3);

c_s^l — доход от производства единицы s -культуры или вида кормовых угодий;

a_{zs}^l — расход ресурса z на единицу площади культуры s или вида кормовых угодий;

A^l — наличие ресурса z -вида;
 V^l — гарантированный (обязательный) объем
 производства продукции вида q ;
 $\bar{n}, \underline{n}$ — максимальная и минимальная воз-
 можная площадь культур группы r ;
 $v_{qs}^{lp}(t)$ — выход товарной продукции q -вида с
 единицы площади культуры s ;
 p — вероятность события, связанная с уров-
 нем тренда;
 t — время, характеризующее многолетний
 период с начальным и конечным значениями
 $[\tau_1, \tau_2]$;

β_s — коэффициент, учитывающий площадь
 семенных посевов для культуры s ;

b_{ms}^l — расход удобрений вида m и средств
 защиты на единицу площади культуры s или
 кормовых угодий;

B_m^l — необходимый объем удобрений вида m .

При этом функция $v_{qs}^{lp}(t)$ может быть описана
 линейным, степенным и логистическим выра-
 жениями при условиях значимости уравнений
 регрессии и коэффициентов этих уравнений по
 F -критерию Фишера и t -критерию Стьюдента
 (табл. 3, 4).

Символы p_s^{kp} и p_a^{kp} представляют собой эм-
 пирические и аналитические вероятности, по-
 лученные на основе закона распределения Пир-
 сона III типа по выборкам, сформированным
 как разности фактических значений рядов и
 значений последовательностей нижних уров-
 ней ($l = 3$). Эмпирические вероятности опреде-
 лялись по формуле

$$p_s^{kp} = \frac{d}{N+1}, \quad (16)$$

где d — порядковый номер ранжированного
 ряда;

N — число значений ряда.

Кроме вероятностей в табл. 3 и 4 приведены:
 — количество событий, выделенных по трен-
 дам последовательностей минимальных значе-
 ний (нижних уровней) $v_{н.у}$;

— выражения трендов всего ряда (v) и ниж-
 них уровней ($v_{н.у}$);

— критерии, описывающие значимость вы-
 ражений и коэффициентов;

— урожайность, соответствующая критиче-
 скому уровню;

Т а б л и ц а 3

**Эмпирические и аналитические вероятности событий, соответствующих
 критическим уровням урожайности сельскохозяйственных культур,
 полученных на основе трендов и законов распределения вероятностей
 по данным Нукутского района Иркутской области за 1996–2021 гг.**

**Empirical and analytical probabilities of events corresponding to critical levels of agricultural crop yields,
 based on trends and laws of probability distribution according to data from the Nukutsk district
 of the Irkutsk region for 1996–2021**

Культура	Характеристики						
	Эмпириче- ская вероят- ность критического уровня p_s^{kp}	Аналитиче- ская вероят- ность критическо- го уровня p_a^{kp}	Число событий	Выражение тренда ряда урожайности сельскохозяйствен- ной культуры, ц/га	Коэф- фициент детерми- нации R^2	F -критерий Фишера	t -критерий Стьюдента
Свекла	0,347	0,425	8	$v = \frac{276}{1 + e^{-0,133t}}$	0,55	25,6	–5,1
				$v_{н.у} = \frac{231,9}{1 + e^{-0,248t}}$	0,65	9,3	–3,1
Морковь	0,261	0,165	6	$v = 7,91t + 111,1$	0,65	36,9	6,0
				$v_{н.у} = 6,61t + 110,8$	0,75	12,0	3,5
Капуста	0,217	0,177	5	$v = 8,24t + 118,3$	0,73	54,9	7,4
				$v_{н.у} = 8,89t + 83,6$	0,80	20,2	4,5
Картофель	0,130	0,105	3	$v = 60,9t^{0,240}$	0,79	75,7	8,7
				$v_{н.у} = 51,4t^{0,278}$	0,96	85,5	9,2
Пшеница	0,222	0,176	6	$v = 8,15t^{0,270}$	0,38	14,7	3,8
				$v_{н.у} = 6,45t^{0,273}$	0,70	11,5	3,4
Ячмень	0,292	0,293	7	—	—	—	—
Овес	0,296	0,212	8	$v = 4,72t^{0,434}$	0,45	19,6	4,4
				$v_{н.у} = 2,30t^{0,610}$	0,76	18,9	4,4

Т а б л и ц а 4

**Критические значения урожайности сельскохозяйственных культур
и вероятные потери, по данным Нукутского района Иркутской области
за 1996–2021 гг.**

**Critical values of agricultural yields and probable losses according to data from
the Nukutsk district of the Irkutsk region for 1996–2021**

Сельско- хозяйственная культура	Урожайность для критического уровня, ц/га	Потери относи- тельно тренда всего ряда, ц/га	Потери относи- тельно тренда нижних уровней, ц/га	Минимальная урожайность, ц/га
Свекла	123	24,4	7,3	106,2
Морковь	173,5	40,5	23,3	122,9
Капуста	258,1	25	3,3	108,7
Картофель	95,2	10,8	2,3	54,0
Пшеница	6,0	2,2	0,5	5,6
Ячмень	12,8	3,3	0,3	8,8
Овес	10,8	3,6	0,2	9,7

Т а б л и ц а 5

**Оптимальные решения детерминированной задачи
параметрического программирования и задачи
параметрического программирования с вероятностными
характеристиками (среднее $P_a^{\text{сп}} = 0,188$) для Нукутского района
Иркутской области**

**Optimal solutions of a deterministic parametric programming problem and a
parametric programming problem with probabilistic characteristics
(average $P_a^{\text{сп}} = 0,188$) for the Nukutsky district of the Irkutsk region**

Культура	Характеристики	Объем, т	
		Детерминированная модель	Стохастическая модель
Пшеница	x_1	11612,9	6940,1
Ячмень	x_2	9754,4	5425,2
Овес	x_3	5743,7	3462,6
Картофель	x_4	2991,7	2739,3
Капуста	x_5	379,6	356,6
Морковь	x_6	227,0	224,8
Целевая функция, тыс. руб.		346 042,6	197187,4

– наименьшие события (минимальная урожайность за многолетний период);

– потери урожайности относительно усредненного значения (v) и тренда нижних уровней ($v_{\text{н.у.}}$).

Получены результаты реализации двух вариантов модели — детерминированной, основанной на значениях урожайности v , рассчитанных для усредненных условий ($l = 1$), и стохастической, соответствующей критическим уровням рядов урожайности сельскохозяйственных культур (табл. 5).

Для детерминированной задачи доходы почти на 43 % превышают аналогичную характери-

стику стохастической задачи. При этом объем производства продукции в первом случае на 45 % выше, чем объем во втором случае.

Выводы

На основе динамико-стохастических свойств характеристик временных рядов выделены три вида многоуровневых моделей для оптимизации производства продовольственной продукции.

Первая модель позволяет планировать производство продукции на краткосрочную и среднесрочную многолетнюю перспективу,

учитывая усредненные, благоприятные и неблагоприятные условия для производственных процессов.

Вторая модель ориентирована на решение задачи многолетнего планирования в разных условиях деятельности сельскохозяйственного товаропроизводителя и заготовителя дикоросов с учетом вероятностной оценки некоторых производственно-экономических характеристик временных рядов.

Третья модель отражает ситуацию производства продовольственной продукции в условиях влияния на производственные процессы экстремальных событий, что позволяет оценивать риски при планировании.

Предложенные модели апробированы на данных муниципальных районов Иркутской области.

Исследование выполнено при финансовой поддержке Российского научного фонда, грант № 24-21-00502.

Список литературы

- [1] Ксенофонов М.Ю., Ползиков Д.А. К вопросу о влиянии климатических изменений на развитие сельского хозяйства России в долгосрочной перспективе // Проблемы прогнозирования, 2020. № 3(180). С. 82–92.
- [2] Багров М.Б. Прогнозирование динамики сельского хозяйства по временным рядам // Инновационные технологии как основа развития аграрного образования и АПК региона, Тверь, 01–03 июня 2010 года, Изд-во Тверской государственной сельскохозяйственной академии. Т. 2. Тверь: Тверская государственная сельскохозяйственная академия, 2010. С. 151–152.
- [3] Вайс А.А. Особенности применения регрессионных уравнений при прогнозировании урожайности дикорастущих ягодников // Плодоводство, семеноводство, интродукция древесных растений, 2019. Т. 22. С. 26–30.
- [4] Иванько Я.М., Петрова С.А. Об одном алгоритме выделения аномальных уровней временного ряда для оценки рисков // Актуальные вопросы аграрной науки, 2022. № 42. С. 48–57.
- [5] Писсинато Б., Вилан К.Э.Ф., Бобровская Т.В., Перейра А.Г. Использование временных рядов и новых информационных технологий для прогнозирования показателей сельскохозяйственного производства // Высокопроизводительные вычислительные системы и технологии, 2021. Т. 5, № 1. С. 284–291.
- [6] Касимова Т.М. Исследование и прогнозирование динамики показателей сельского хозяйства региона на основе моделей временных рядов и рядов динамики // Фундаментальные исследования, 2018. № 12–1. С. 113–118.
- [7] Бублик М.Б. Стратегическое планирование в сельском хозяйстве: сущность, преимущества, совершенствование // Научный вестник государственного образовательного учреждения Луганской Народной Республики «Луганский национальный аграрный университет», 2018. № 1. С. 54–61.
- [8] Булатов В.П., Федурин Н.И. Математическое моделирование развития и функционирования региональных систем // Инфокоммуникационные и вычислительные технологии и системы: Материалы Всерос. конф. Улан-Удэ. 2003. Ч. 1. С. 12–16.
- [9] Агибалов А.В., Терновых К.С. Экономико-математическое моделирование как инструмент стратегического планирования развития сельских территорий // АПК: экономика, управление, 2022. № 7. С. 11–20.
- [10] Тусков А., Ефимов И., Ефимов П. Математические модели и информационные технологии в Агропромышленный комплекс региона // Вестник Атырауского университета имени Х. Досмухамедова, 2023. Т. 69, № 2. С. 63–73.
- [11] Ivanyo Ya.M., Petrova S.A. Optimization models of food processing wild-growing products with expert assessments // Critical infrastructures: contingency management, intelligent, agent-based, cloud computing and cyber security (IWCI 2019), proceedings of the VI-th International Workshop. Melentiev Energy Systems Institute of Siberian Branch of the Russian Academy of Sciences, 2019, pp. 108–113.
- [12] Дружинин И.П., Смага В.Р., Шевнин А.Н. Динамика многолетних колебаний речного стока. М.: Наука, 1991. 176 с.
- [13] Волков А.В., Шиков С.А., Темаева О.О. Алгоритм долговременного контроля путем выделения трендовой, периодической и случайной составляющих временных рядов // Научно-технический вестник Поволжья, 2020. № 8. С. 32–35.
- [14] Заяц О.А., Рогачев А.Ф. Выявление стационарности временных рядов урожайности методами теории случайных процессов // Новые направления в решении проблем АПК на основе современных ресурсосберегающих, инновационных технологий: Материалы Междунар. науч.-практ. конф., посвященной 65-летию Победы в Великой Отечественной войне, Волгоград, 26–28 января 2010 года. Т. 4. Волгоград: Изд-во Волгоградского государственного аграрного университета, 2010. С. 222–225.
- [15] Личко К.П., Романюк М.А., Маркин М.М. Оптимизация систем ведения сельского хозяйства // Вестник Московской государственной академии делового администрирования. Серия: Экономика, 2012. № 6(18). С. 141–151.
- [16] Кравец А.Г., Сальникова Н.А. Предсказательное моделирование трендов технологического развития // Известия Санкт-Петербургского государственного технологического института (технического университета), 2020. № 55 (81). С. 103–108.
- [17] Нестеренко Е.А., Киселев М.В. Новый взгляд на проблемы экономического прогнозирования в условиях неопределенности // Вестник Саратовского государственного социально-экономического университета, 2019. № 3 (77). С. 164–167.
- [18] Шеин Е.В., Русанов А.М., Милановский Е.Ю. Математические модели некоторых почвенных характеристик: обоснование, анализ, особенности использования параметров моделей // Почвоведение, 2013. № 5. С. 595
- [19] Теньковская Л.И. Методология оптимизации внутренних и внешних факторов сельского хозяйства // Инновационная наука, 2016. № 2–2. С. 111–116.

- [20] Роднина Н.В. Методологические особенности прогнозирования регионального АПК на современном этапе: проблемы, решения // АПК: экономика, управление, 2021. № 10. С. 72–79.
- [21] Юдин Д.Б. Математические методы управления в условиях неполной информации. М.: Советское радио, 1974. 400 с.
- [22] Иваньо Я.М., Барсукова М.Н., Петрова С.А. Об одной модели оптимизации производства аграрной продукции в благоприятных и неблагоприятных внешних условиях // Информационные и математические технологии в науке и управлении, 2020. № 3 (19). С. 73–85.
- [23] Абдуллаев Р.А., Мевлют И.Ш. Моделирование в системе управления производственными ресурсами в сельском хозяйстве // Ученые записки Крымского инженерно-педагогического университета, 2018. № 3 (61). С. 9–15.
- [24] Барсукова М.Н., Иваньо Я.М., Столопова Ю.В., Петрова С.А. Задача параметрического программирования с моделями прогнозирования урожайности сельскохозяйственных культур // Прикладная информатика, 2021. Т. 16. № 6 (96). С. 131–143.
- [25] Бирюкова Н.В., Завьялова А.В. Математическое моделирование в сельском хозяйстве // Мир Инноваций, 2022. № 2. С. 40–44.
- [26] Полковская М.Н. Планирование производства растениеводческой продукции с учетом изменчивости урожайности сельскохозяйственных культур // Вестник ИРГСХА, 2024. № 122. С. 49–57.
- [27] Снежко И.И. Цифровая модель агропромышленного хозяйства: инновационный подход к улучшению управления и производства в сельском хозяйстве // Сборник трудов, приуроченных к 77-й Всерос. студенческой науч.-практ. конф., посвященной 150-летию со дня рождения Алексея Григорьевича Дояренко, Москва, 12–14 марта 2024 года. М.: Изд-во Российского государственного аграрного университета, 2024. С. 140–142.
- [28] Березина А.В. Особенности идентификации внешних производственных рисков // Вестник Самарского государственного университета путей сообщения, 2010. Вып. 3 (9). С. 10–13.
- [29] Телегина Ж.А. Приоритетные инструменты управления производственными рисками в условиях цифровой трансформации сельского хозяйства // Экономика сельского хозяйства России, 2021. № 12. С. 19–25.
- [30] Абдуллаев Р.А., Мевлют И.Ш. Моделирование в системе управления производственными ресурсами в сельском хозяйстве // Ученые записки Крымского инженерно-педагогического университета, 2018. № 3(61). С. 9–15.
- [31] Гармаш А.Н., Орлова И.В., Федосеев В.В. Экономико-математические методы и прикладные модели. М.: Юрайт, 2022. 328 с.
- [32] Блохинов Е.Г. Распределение вероятностей величин речного стока. М.: Наука, 1974. 169 с.
- [33] Рождественский А.В. Оценка точности кривых распределения гидрологических характеристик. Л.: Гидрометеоздат, 1977. 270 с.
- [34] Заляжных В.В. Расширение области применения критерия Ирвина при обнаружении аномальных измерений // Вестник СибГУТИ, 2020. № 2(50). С. 95–100.
- [35] Усенко Л.Н. Роль статистики в создании методологии исследований в сельском хозяйстве России: от общинного хозяйства до цифровой экономики // Учет и статистика, 2019. № 2 (54). С. 9–15.

Сведения об авторах

Барсукова Маргарита Николаевна✉ — канд. техн. наук, доцент, ФГБОУ ВО «Иркутский государственный аграрный университет имени А.А. Ежевского», margarita1982@bk.ru

Иваньо Ярослав Михайлович — д-р техн. наук, профессор, ФГБОУ ВО «Иркутский государственный аграрный университет имени А.А. Ежевского», iymex@rambler.ru

Цыренжапова Валентина Вячеславовна — аспирант, ФГБОУ ВО «Иркутский государственный аграрный университет имени А.А. Ежевского», valyaigsha@mail.ru

Ковадло Илья Андреевич — аспирант, ФГБОУ ВО «Иркутский государственный аграрный университет имени А.А. Ежевского», kovadlo95@gmail.com

Поступила в редакцию 05.06.2024.

Одобрено после рецензирования 06.03.2025.

Принята к публикации 24.04.2025.

PARAMETRIC OPTIMISATION OF FOOD PRODUCTION TAKING INTO ACCOUNT TIME SERIES CHARACTERISTICS

M. Barsukova[✉], Ya.M. Ivan'o, I. Kovadlo, V. Tsyrenzhapova

Irkutsk State Agrarian University named after A.A. Ezhevsky, build. 1/1, 664038, Molodezhny settlement, Irkutsk district, Irkutsk reg., Russia

margarita1982@bk.ru

The article considers modeling of time series characteristics related to obtaining food products based on statistical methods. The analyzed characteristics of time series are divided into three groups by dynamic-stochastic properties: 1) characteristics of time series described by significant multilevel trends with significant coefficients of regression expressions; 2) characteristics of time series with higher dispersion than the characteristics of the first group; 3) characteristics of time series that are random or have significant low autocorrelation coefficients, for example, climatic and ecological ones. The revealed statistical patterns of the characteristics considered are presented. An algorithm for stochastic optimization of the parametric problem of food production under conditions of the transition of values of the time series characteristics of the model into events is proposed.

Keywords: time series modeling, probability, parametric programming problem, food products

Suggested citation: Barsukova M.N., Ivan'o Ya.M., Kovadlo I.A., Tsyrenzhapova V.V. *Parametricheskaya optimizatsiya polucheniya prodovol'stvennoy produktsii s uchetom osobennostey kharakteristik vremennykh ryadov* [Parametric optimisation of food production taking into account time series characteristics]. *Lesnoy vestnik / Forestry Bulletin*, 2025, vol. 29, no. 3, pp. 181–193. DOI: 10.18698/2542-1468-2025-3-181-193

References

- [1] Ksenofontov M.Yu., Polzikov D.A. *K voprosu o vliyaniy klimaticheskikh izmeneniy na razvitie sel'skogo khozyaystva Rossii v dolgosrochnoy perspective* [On the issue of the impact of climate change on the development of Russian agriculture in the long term]. *Problemy prognozirovaniya* [Problems of forecasting], 2020, no. 3(180), pp. 82–92.
- [2] Bagrov M.B. *Prognozirovaniye dinamiki sel'skogo khozyaystva po vremennym ryadam* [Forecasting the dynamics of agriculture using time series]. *Innovatsionnye tekhnologii kak osnova razvitiya agrarnogo obrazovaniya i APK regiona* [Innovative technologies as the basis for the development of agricultural education and the agro-industrial complex of the region], Tver, June 01–03, 2010. *Tverskaya gosudarstvennaya sel'skokhozyaystvennaya akademiya. T. 2. Tver'*: Tverskaya gosudarstvennaya sel'skokhozyaystvennaya akademiya, 2010, pp. 151–152.
- [3] Vays A.A. *Osobennosti primeneniya regressionnykh uravneniy pri prognozirovaniy urozhaynosti dikorastushchikh yagodnikov* [Features of the use of regression equations in predicting the yield of wild berries]. *Plodovodstvo, semenovodstvo, introduktsiya drevesnykh rasteniy* [Fruit growing, seed production, introduction of woody plants], 2019, t. 22, pp. 26–30.
- [4] Ivan'o Ya.M., Petrova S.A. *Ob odnom algoritme vydeleniya anomal'nykh urovney vremennogo ryada dlya otsenki riskov* [About one algorithm for identifying anomalous levels of a time series for risk assessment]. *Aktual'nye voprosy agrarnoy nauki* [Current issues of agricultural science], 2022, no. 42, pp. 48–57.
- [5] Pissinato B., Vian K.E.F., Bobrovskaya T.V., Pereyra A.G. *Ispol'zovanie vremennykh ryadov i novykh informatsionnykh tekhnologiy dlya prognozirovaniya pokazateley sel'skokhozyaystvennogo proizvodstva* [Using time series and new information technologies for forecasting agricultural production indicators]. *Vysokoproizvoditel'nye vychislitel'nye sistemy i tekhnologii* [High-performance computing systems and technologies], 2021, t. 5, no. 1, pp. 284–291.
- [6] Kasimova T.M. *Issledovanie i prognozirovaniye dinamiki pokazateley sel'skogo khozyaystva regiona na osnove modeley vremennykh ryadov i ryadov dinamiki* [Research and forecasting of the dynamics of regional agricultural indicators based on models of time series and dynamics]. *Fundamental'nye issledovaniya* [Fundamental Research], 2018, no. 12–1, pp. 113–118.
- [7] Bublik M.B. *Strategicheskoe planirovaniye v sel'skom khozyaystve: sushchnost', preimushchestva, sovershenstvovaniye* [Strategic planning in agriculture: essence, advantages, improvement]. *Nauchnyy vestnik gosudarstvennogo obrazovatel'nogo uchrezhdeniya Luganskoy Narodnoy Respubliki «Luganskiy natsional'nyy agrarnyy universitet»* [Scientific Bulletin of the State Educational Institution of the Luhansk People's Republic «Luhansk National Agrarian University»], 2018, no. 1, pp. 54–61.
- [8] Bulatov V.P., Fedurina N.I. *Matematicheskoe modelirovaniye razvitiya i funktsionirovaniya regional'nykh sistem* [Mathematical modeling of the development and functioning of regional systems]. *Materiyy Vserossiyskoy konferentsii «Infokommunikatsionnye i vychislitel'nye tekhnologii i sistemy»* [Proceedings of the All-Russian Conference «Infocommunication and Computing Technologies and Systems»]. Ulan-Ude, 2003, ch. 1, pp. 12–16.
- [9] Agibalov A.V., Ternovyykh K.S., Agibalov A.V., Ternovyykh K.S. *Ekonomiko-matematicheskoe modelirovaniye kak instrument strategicheskogo planirovaniya razvitiya sel'skikh territoriy* [Economic and mathematical modeling as a tool for strategic planning of rural development]. *APK: ekonomika, upravleniye* [AIC: economics, management], 2022, no. 7, pp. 11–20.
- [10] Tuskov A., Efimov I., Efimov P. *Matematicheskie modeli i informatsionnye tekhnologii v Agropromyshlennyy kompleks regiona* [Mathematical models and information technologies in the Agro-industrial complex of the region]. *Vestnik Atyrauskogo universiteta imeni Kh. Dosmukhamedova* [Bulletin of the Atyrau University named after H. Dosmukhamedov], 2023, t. 69, no. 2, pp. 63–73.

- [11] Ivanyo Ya.M., Petrova S.A. Optimization models of food processing wild-growing products with expert assessments. Critical infrastructures: contingency management, intelligent, agent-based, cloud computing and cyber security (IWCI 2019), proceedings of the VI-th International Workshop. Melentiev Energy Systems Institute of Siberian Branch of the Russian Academy of Sciences, 2019, pp. 108–113.
- [12] Druzhinin I.P., Smaga V.R., Shevnin A.N. *Dinamika mnogoletnikh kolebaniy rechnogo stoka* [Dynamics of long-term fluctuations in river flow]. Moscow: Nauka, 1991, 176 p.
- [13] Volkov A.V., Shikov S.A., Temaeva O.O. *Algoritm dolgovremennogo kontrolya putem vydeleniya trendovoy, periodicheskoy i sluchaynoy sostavlyayushchikh vremennykh ryadov* [Algorithm for long-term control by identifying trend, periodic and random components of time series]. Nauchno-tehnicheskii vestnik Povolzh'ya [Scientific and Technical Bulletin of the Volga Region], 2020, no. 8, pp. 32–35.
- [14] Zayats O.A., Rogachev A.F. *Vyyavlenie statsionarnosti vremennykh ryadov urozhaynosti metodami teorii sluchaynykh protsessov* [Detecting the stationarity of yield time series using the methods of the theory of random processes]. Novye napravleniya v reshenii problem APK na osnove sovremennykh resursosberegayushchikh, innovatsionnykh tekhnologiy: Materialy Mezhdunarodnoy nauchno-prakticheskoy konferentsii, posvyashchennoy 65-letiyu Pobedy v Velikoy Otechestvennoy voyne [New directions in solving problems of the agro-industrial complex based on modern resource-saving, innovative technologies: Proceedings of the International Scientific and Practical Conference dedicated to the 65th anniversary of Victory in the Great Patriotic War], Volgograd, January 26–28, 2010. T. 4. Volgograd: Volgogradskiy gosudarstvennyy agrarnyy universitet, 2010, pp. 222–225.
- [15] Lichko K.P., Romanyuk M.A., Markin M.M. *Optimizatsiya sistem vedeniya sel'skogo khozyaystva* [Optimization of agricultural systems]. Vestnik Moskovskoy gosudarstvennoy akademii delovogo administrirovaniya. Seriya: Ekonomikam [Bulletin of the Moscow State Academy of Business Administration. Series: Economics], 2012, no. 6(18), pp. 141–151.
- [16] Kravets A.G., Sal'nikova N.A. *Predskazatel'noe modelirovanie trendov tekhnologicheskogo razvitiya* [Predictive modeling of technological development trends]. Izvestiya Sankt-Peterburgskogo gosudarstvennogo tekhnologicheskogo instituta (tekhnicheskogo universiteta) [News of the St. Petersburg State Technological Institute (Technical University)], 2020, no. 55 (81), pp. 103–108.
- [17] Nesterenko E.A., Kiselev M.V. *Novyy vzglyad na problemy ekonomicheskogo prognozirovaniya v usloviyakh neopredelennosti* [A new look at the problems of economic forecasting in conditions of uncertainty]. Vestnik Saratovskogo gosudarstvennogo sotsial'no-ekonomicheskogo universiteta [Bulletin of the Saratov State Socio-Economic University], 2019, no. 3 (77), pp. 164–167.
- [18] Shein E.V., Rusanov A.M., Milanovskiy E.Yu. *Matematicheskie modeli nekotorykh pochvennykh kharakteristik: obosnovanie, analiz, osobennosti ispol'zovaniya parametrov modeley* [Mathematical models of some soil characteristics: justification, analysis, features of using model parameters]. Pochvovedenie [Soil Science], 2013, no. 5, p. 595.
- [19] Ten'kovskaya L.I. *Metodologiya optimizatsii vnutrennikh i vneshnikh faktorov sel'skogo khozyaystva* [Methodology for optimizing internal and external factors of agriculture]. Innovatsionnaya nauka [Innovative science], 2016, no. 2–2, pp. 111–116.
- [20] Rodnina N.V. *Metodologicheskie osobennosti prognozirovaniya regional'nogo APK na sovremennom etape: problemy, resheniya* [Methodological features of forecasting the regional agro-industrial complex at the present stage: problems, solutions]. APK: ekonomika, upravlenie [Agro-industrial complex: economics, management], 2021, no. 10, pp. 72–79.
- [21] Yudin D.B. *Matematicheskie metody upravleniya v usloviyakh nepolnoy informatsii* [Mathematical methods of control under conditions of incomplete information]. Moscow: Sovetskoe radio [Soviet Radio], 1974, 400 p.
- [22] Ivan'o Ya.M., Barsukova M.N., Petrova S.A. *Ob odnoy modeli optimizatsii proizvodstva agrarnoy produktsii v blagopriyatnykh i neblagopriyatnykh vneshnikh usloviyakh* [On one model for optimizing the production of agricultural products in favorable and unfavorable external conditions]. Informatsionnye i matematicheskie tekhnologii v nauke i upravlenii [Information and mathematical technologies in science and management], 2020, no. 3 (19), pp. 73–85.
- [23] Abdullaev R.A., Mevlyut I.Sh. *Modelirovanie v sisteme upravleniya proizvodstvennymi resursami v sel'skom khozyaystve* [Modeling in the production resource management system in agriculture]. Uchenye zapiski Krymskogo inzhenerno-pedagogicheskogo universiteta [Scientific notes of the Crimean Engineering and Pedagogical University], 2018, no. 3 (61), pp. 9–15.
- [24] Barsukova M.N., Ivan'o Ya.M., Stolopova Yu.V., Petrova S.A. *Zadacha parametricheskogo programmirovaniya s modelyami prognozirovaniya urozhaynosti sel'skokhozyaystvennykh kul'tur* [The problem of parametric programming with models for predicting the yield of agricultural crops]. Prikladnaya informatika [Applied Informatics], 2021, t. 16, no. 6 (96), pp. 131–143.
- [25] Biryukova N.V., Zav'yalova A.V. *Matematicheskoe modelirovanie v sel'skom khozyaystve* [Mathematical modeling in agriculture]. Mir Innovatsiy [World of Innovations], 2022, no. 2, pp. 40–44.
- [26] Polkovskaya M.N. *Planirovanie proizvodstva rastenievodcheskoy produktsii s uchedom izmenchivosti urozhaynosti sel'skokhozyaystvennykh kul'tur* [Planning the production of crop products taking into account the variability of agricultural crop yields]. Vestnik IrGSKhA [Bulletin of the Irkutsk State Agricultural Academy], 2024, no. 122, pp. 49–57.
- [27] Snezhko I.I. *Tsifrovaya model' agropromyshlennogo khozyaystva: innovatsionnyy podkhod k uluchsheniyu upravleniya i proizvodstva v sel'skom khozyaystve* [Digital model of agro-industrial economy: an innovative approach to improving management and production in agriculture]. Sbornik trudov, priurochennykh k 77-y vserossiyskoy studencheskoy nauchno-prakticheskoy konferentsii, posvyashchennoy 150-letiyu so dnya rozhdeniya Aleksey Grigor'evicha Doyarenko [Collection of papers dedicated to the 77th All-Russian student scientific and practical conference dedicated to the 150th anniversary of the birth of Aleksey Grigorievich Doyarenko]. Moscow, March 12–14. Moscow: Rossiyskiy gosudarstvennyy agrarnyy universitet, 2024, pp. 140–142.

- [28] Berezina A. V. *Osobennosti identifikatsii vneshnikh proizvodstvennykh riskov* [Features of identification of external production risks]. *Vestnik Samarskogo gosudarstvennogo universiteta putey soobshcheniya* [Bulletin of the Samara State University of Transport], 2010, v. 3 (9), pp. 10–13.
- [29] Telegina Zh.A. *Prioritetnye instrumenty upravleniya proizvodstvennymi riskami v usloviyakh tsifrovoy transformatsii sel'skogo khozyaystva* [Priority Tools for Managing Production Risks in the Context of Digital Transformation of Agriculture]. *Ekonomika sel'skogo khozyaystva Rossii* [Agricultural Economics of Russia], 2021, no. 12, pp. 19–25.
- [30] Abdullaev R.A., Mevlyut I.Sh. *Modelirovanie v sisteme upravleniya proizvodstvennymi resursami v sel'skom khozyaystve* [Modeling in the Production Resource Management System in Agriculture]. *Uchenye zapiski Krymskogo inzhenerno-pedagogicheskogo universiteta* [Scientific Notes of the Crimean Engineering and Pedagogical University], 2018, no. 3(61), pp. 9–15.
- [31] Garmash A.N., Orlova I.V., Fedoseev V.V. *Ekonomiko-matematicheskie metody i prikladnye modeli* [Economic and Mathematical Methods and Applied Models]. Moscow: Yurayt, 2022, 328 p.
- [32] Blokhinov E.G. *Raspredelenie veroyatnostey velichin rechnogo stoka* [Probability distribution of river flow values]. Moscow: Nauka, 1974, 169 p.
- [33] Rozhdestvenskii A.V. *Otsenka tochnosti krivyykh raspredeleniya gidrologicheskikh kharakteristik* [Assessment of the Accuracy of Distribution Curves of Hydrological Characteristics]. Leningrad: Gidrometeoizdat, 1977, 270 p.
- [34] Zalyazhnykh V.V. *Rasshirenie oblasti primeneniya kriteriya Irvina pri obnaruzhenii anomal'nykh izmereniy* [Expanding the scope of application of the Irwin criterion in detecting anomalous measurements]. *Vestnik SibGUTI* [Bulletin of SibSUTI], 2020, no. 2(50), pp. 95–100.
- [35] Usenko L.N. *Rol' statistiki v sozdanii metodologii issledovaniy v sel'skom khozyaystve Rossii: ot obshchinnogo khozyaystva do tsifrovoy ekonomiki* [The role of statistics in creating a research methodology in Russian agriculture: from communal farming to the digital economy]. *Uchet i statistika* [Accounting and statistics], 2019, no. 2 (54), pp. 9–15.

The study was financially supported by the Russian Science Foundation, grant no. 24-21-00502.

Authors' information

Barsukova Margarita Nikolaevna✉ — Cand. Sci. (Tech.), Associate Professor of the Irkutsk State Agrarian University named after A.A. Ezhevsky, margarita1982@bk.ru

Ivan'o Yaroslav Mikhaylovich — Dr. Sci. (Tech.), Professor of the Irkutsk State Agrarian University named after A.A. Ezhevsky, iymex@rambler.ru

Tsyrenzhapova Valentina Vyacheslavovna — pg. of the Irkutsk State Agrarian University named after A.A. Ezhevsky, valyaigsha@mail.ru

Kovadlo Il'ya Andreevich — pg. of the Irkutsk State Agrarian University named after A.A. Ezhevsky, kovadlo95@gmail.com

Received 05.06.2024.

Approved after review 06.03.2025.

Accepted for publication 24.04.2025.

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



Рослесхоз: повышение качества данных во ФГИС ЛК — приоритет 2025 года

Об этом шла речь на пленарном заседании V Всероссийского форума «Цифровая трансформация лесного комплекса» в г. Ульяновске

Заместитель руководителя Рослесхоза Вячеслав Спиренков в своем докладе отметил несколько ключевых моментов, связанных с работой системы.

Первое — повышение качества данных, внесенных во ФГИС Лесного комплекса. Сейчас начата работа по сверке границ, которые уже погружены в систему. Крайне важно, чтобы вся информация была приведена в соответствие и не было задвоений или неверно введенных данных.

Второе — уход от лишних отчетов и документов, которые при переходе в цифровое пространство — потеряли актуальность. Над этим будет продолжена серьезная работа. Необходимо упростить работу лесопользователей в системе, уйдя от дублирующей информации. ФГИС ЛК предполагает обновление данных на постоянной основе.

«Повторюсь, что без точного качественного учета лесов, оперативной и достоверной информации невозможно вести лесное хозяйство и когда система запускалась мы понимали, что столкнемся с рядом сложностей. Трудности уже устранены. Работу по приведению данных в соответствие мы ведем совместно с региональными лесными ведомствами. Кроме того, обновляем систему с учетом предложений и замечаний, как от субъектов, так и от лесного бизнеса. Здесь очень важно работать со всеми, кто ежедневно вносит данные во ФГИС ЛК. Хочу отметить, что сейчас в системе зарегистрировано 195 тыс. пользователей, в декабре 2024 г. — эта цифра достигала всего лишь 5 тыс.», — подытожил Вячеслав Спиренков.

Замглавы Рослесхоза также подчеркнул, что к концу 2025 г. на публичной лесной карте будут доступны все слои проведенного лесоустройства. Работа по расширению функционала слоев лесоустройства уже ведется.

«Работа с несколькими материалами лесоустройства — задача, которую нам лесопользователи озвучивают с 1 января, это очень важно. Переходный период от одного лесоустройства к другому лесоустройству — пока не бесшовный и очень здесь важно не потерять информацию, очень важно дать возможность понять лесопользователю, как перейти от одного лесоустройства к другому, как подавать документы в соответствии с одними или с другими данными. Все это в работе. Уже определенный функционал появился в системе», — сказал Вячеслав Спиренков.

Кроме того, ведется работа по подаче нового таксационного описания лесосеки, в котором будет возможно аннулировать ранее принятое таксационное описание лесосеки.

Еще одно ключевое направление в работе — это взаимодействие с другими информационными системами. Например, национальной системой пространственных данных (НСПД). Рослесхозом сейчас ведется взаимодействие с Росреестром в части перехода на единую карт-основу и унификации справочников объектов инфраструктуры.

Пресс-служба Рослесхоза